



Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

2 (42) ' 2017

Заснований
у 2007 році

Наукове періодичне видання,
в якому відображені результати
наукових досліджень з розробки та
удосконалення систем управління,
навігації та зв'язку у різних
проблемних галузях.

Засновник:
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

Адреса редакційної колегії:
Україна, 36011, м. Полтава,
Першотравневий проспект, 24

Телефон: +38 (066) 706-18-30
(консультації, прийом статей).

E-mail:
kozelnkova@ukr.net

Інформаційний сайт:
<http://www.pntu.edu.ua>

Реферативна інформація
зберігається: у загальнодержавній
реферативній базі даних
„Україніка наукова” та публікується
у відповідних тематичних серіях
УРЖ „Джерело”.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Голова:

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф., Україна)

Заступники голови:

ШЕФЕР Олександр Віталійович (канд. техн. наук, доц., Україна)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц., Україна)

Члени:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович (д-р техн. наук, проф., Ізраїль)

ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф (д-р техн. наук, проф., Польща)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КОРОБКО Богдан Олегович (канд. техн. наук, доц., Україна)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович (д-р техн. наук, проф., Німеччина)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф. Чехія)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф., Україна)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ПОПОВ Валентин Іванович (д-р фіз.мат. наук, проф., Латвія)

СТАНКУНАС Джонас (д-р техн. наук, проф., Литва)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ФРОЛОВ Євгеній Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ХОРОШКО Володимир Олексійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

Відповідальний секретар:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф., Україна)

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar

*Затверджений до друку науково-технічною радою Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка (протокол № 6 від 19 квітня 2017 року)*

*Занесений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук”, затвердженого наказом
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 25.01.2013 р., № 54*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

З М І С Т

НАВІГАЦІЯ

Калашиник М.А., Обідін Д.М. Функціональна стійкість пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту	4
Остроумов І.В. Оцінювання точності визначення лінії положення за парою далекомірною обладнання DME при вирішенні навігаційних задач	8
Шефер О.В. Аналіз закономірностей зміни властивостей електричного розряду, як запорука покращення якості функціонування радіонавігаційних систем	13

КОНТРОЛЬ ПОВІТРЯНОГО І КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Kozelkova E.S. Study general case of spacecraft system calculation with a given break-up	17
Могилатенко А.С., Данилов Ю.А., Павленко М.А. Разработка методов сжатия сообщений о воздушных объектах	19
Свид І.В., Обод А.І. Оцінка якості інформаційного забезпечення споживачів системи контролю повітряного простору ідентифікаційними системами	23

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

Басюк В.С. Системы силомоментного очувствления роботов	26
Бронніков А.І., Цимбал О.М., Сінотін А.М. Мехатроніка у освітньому та загальнонауковому контексті	30
Ихтияров А.Ю. Алгоритм определения положения в пространстве и поведения автономного мобильного робота, оснащенного минимальными аппаратными средствами	33
Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Разумов-Фризюк Є.А., Функендорф А.О. Моделі формалізації для вирішення задач автоматизації проектування конструкцій роботів з модульною структурою	36
Невлюдов И.Ш., Письменецкий В.А., Фролов А.В., Мовсєєєв Я.С. Автоматизированный программно-аппаратный измерительный комплекс	39
Новоселов С.П., Сычова О.В., Теслюк С.И., Гринченко И.Г. Анализ методов взаимодействия объектов промышленной автоматизации с использованием технологии Internet of Things	43
Петренко О.М., Любарський Б.Г., Глебова М.Л. Математична модель теплового стану тягових асинхронних двигунів трамвайних вагонів	46
Подорожняк А.О., Клименко А.М., Гончаров Д.В. Дослідження мікропроцесорної системи контролю температури серверної кімнати	51
Сільвестров А.М., Кривобок Г.І., Захарченко Р.В. Дослідження інтегрованого методу ідентифікації	55
Строкань О.В., Малкіна В.М. Моделирование аероіонного режима на об'єктах зі штучним середовищем існування	57
Филипенко О.І., Чала О.О., Відешин М.І. Технологічні дефекти виробництва кремнієвих підкладок для функціональних відбиваючих поверхонь МОЕМС-перемикачів	61
Шуляк М.Л. Обґрунтування вибору поверхні апроксимації для області функціонування транспортного агрегату, що задається радіус-векторами його прискорення	64

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

Барабаш О.В., Кіресенко В.В. Застосування методу кодування в процесі вирішення задачі синтезу структури системи передачі радіолокаційної інформації	68
Гусятин В.М., Гусятин М.В. Моделирование метода сферической интерполяции	71
Дубницький В.Ю., Кобылин А.М., Кобылин О.А. Применение латинского квадрата для определения характеристик вычислительного процесса, существенно влияющих на неопределённость результата вычислений основных типов экономических индексов	76
Коваленко А.И., Широкоплетева М.С. Числовые интерпретации алгебры понятий	81
Лецинская И.А. Контроль однозначности понятий и их формирование по методу сравнения	85
Лысенко И.В., Бородавка В.В. Разработка теоретико-числового тулбокса для системы математики MATLAB	89

КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА

Дегтярьова Л.М., Ляшевський В.Г. Практичні прийоми та керівні принципи розробки комплексів інформаційної безпеки	94
Певнєв В.Я., Цуранов М.В. Збільшення швидкості передачі як засіб протидії кібератакам	98

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Дяченко В.А., Михаль О.Ф. Моделирование процесса диалогового обучения интеллектуальных самоорганизующихся систем	102
Епифанов А.С. Показатели для оценивания функциональной целостности мобильных распределенных систем	108
Замула А.А., Морозов В.Л., Семченко Д.А. Информационные технологии синтеза производных систем сигналов для приложений современных информационно-коммуникационных систем	112
Кучук Г.А., Коваленко А.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу	117
Макогон О.А., Дичко О.О., Новік С.А. Дидактична трансформація освітнього процесу в умовах зовнішніх впливів з боку інформаційних технологій	121
Минухин С.В., Молчанов К.С., Сызранцев М.Г. Информационная технология оценки показателей функционирования вычислительного кластера распределенной системы	125
Москаленко А.О., Сокол Г.В., Глуховець Ю.В., Варич В.В. Електронний навчально-методичний комплекс з фізики для вищих військових навчальних закладів засобами C++/QT	131
Mohammed Amin Salih. Improvement of an energy balance method of leach based on genetic algorithm	136
Рубан І.В., Худов В.Г., Худов Р.Г. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень	143
Саенко В.И. Модели и задачи для тренинговой системы по компьютерным сетям	147
Тиртишніков О.І., Курчанов В.М., Мавріна М.О., Корж Ю.М. Особливості апаратної маршрутизації тороїдально-решітчастих комунікаційних мережах	150
Ткачев В.М., Токарев В.В., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу big data у мобільній системі «мультикоптер – сенсорна мережа»	154
Шостак А.В. Оценка вероятности связности беспроводной сенсорной сети	158

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Данишина С.Ю. Моделирование процесса выбора местоположения распределительного центра для проектов развития	161
Лысенко Д.Э. Оптимизационные модели планирования производства с учетом неопределенности	167
Малеева О.В., Носова Н.Ю., Артюх Р.В. Комплексный метод представления и оценки проектных знаний с учетом специфики проекта и категорий его персонала	171

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Глива В.А., Коваленко В.В., Тихенко О.М. Сучасні підходи до розроблення і впровадження матеріалів для екранування електромагнітних полів	176
--	-----

ЗВ'ЯЗОК

Гурський Т.Г., Кривенко О.В. Методика формування сигналу в радіозасобах з ППРЧ при передачі мови в умовах впливу завад у відповідь	179
Москалец Н.В. Использование метода оптимизации упаковки объектов в задачах планировании фемтосот мобильных систем связи	185
Панкратова О.С. Оптимізація параметрів SMART-ahteh для технології WIMAX	188
Сакович Л.М., Романенко В.П., Гиренко І.М. Моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами	193
Смоляр В.Г., Васильев К.О., Слюсарь І.І., Тишко С.О. Результати статистичного моделювання та оцінка завадостійкості прийому сигналів методом спектрального детектування в умовах впливу адитивних завад	198
Шишацький А.В., Беляков Р.О., Хоменко П.В., Гриценко К.М. Методика вибору раціональних значень параметрів багатонаправлених засобів радіозв'язку з АФАР	201

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	206
---------------------------	-----

УДК 621.7396

М.А. Калашник, Д.М. Обідін

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

ФУНКЦІОНАЛЬНА СТІЙКІСТЬ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА НА ОКРЕМИХ РЕЖИМАХ ПОЛЬОТУ

Розглянуто існуючі науково-методичні підходи із забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем літального апарата (ЛА), теоретичні та практичні напрацювання у цій області. Проаналізовано основні причини можливих відмов пілотажно-навігаційних приладів на різних етапах польоту літального апарату. Визначено невирішену раніше задачу зі створення ефективної методики із забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту, запропоновано нові підходи її вирішення.

Ключові слова: пілотажно-навігаційний комплекс, функціональна стійкість, окремі режими польоту.

Вступ

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями. При різних режимах польоту на роботу пілотажно-навігаційного обладнання можуть впливати внутрішні і зовнішні несприятливі фактори, здатні вивести його з ладу або привести до виникнення помилок у показаннях приладів і позиціонуванні ЛА в просторі.

Пілотування в звичайних умовах польоту здійснює у льотчика певний стереотип розподілу уваги. При відмові будь-яких приладів цей стереотип порушується, що ускладнює своєчасне зчитування показань приладів і може викликати помилки в техніці пілотування [1].

Іншими словами, якщо в польоті виникла ситуація відмови бортового пілотажно-навігаційного обладнання, то пілоту необхідно приділити багато часу на налаштування або перевірку роботи даних приладів, оцінку ситуації і можливий перезапуск устаткування або усунення неполадки, що негативно відбивається на якості виконання і безпеці польоту.

Основними шляхами вирішення проблеми забезпечення заданого рівня безпеки польоту в умовах відмови пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК) є зменшення впливу людського фактора при пілотуванні ЛА за рахунок автоматизації управління і забезпечення мінімально необхідного рівня працездатності систем ЛА шляхом перерозподілу апаратних, програмних і обчислювальних ресурсів.

Таким чином, частиною проблеми забезпечення безпеки польотів є забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату при впливі на нього зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки в міру значного підвищення складності технічних систем і розширення класу завдань, які вирішуються ними, виникла гостра необхідність в забезпеченні високого рівня їх надійності (безвідмовності), відмовостійкості та живучості. Але підвищення цих властивостей тягне за собою необхідність використання різного роду «надмірності» системи, що значно її ускладнює. Для вирішення цієї проблеми Машковим О.А. вперше введено поняття функціональної стійкості (ФС) динамічної системи [2], «як властивості системи, яка полягає в здатності виконувати хоча б встановлений мінімальний обсяг своїх функцій при відмовах в інформаційній, обчислювальній та енергетичній частинах системи, а також впливів зовнішніх збурень, передбачених умовами експлуатації». Крім того, це поняття включає в себе поняття надійності, відмовостійкості та живучості (рис. 1).

Подальший розвиток понятійний апарат функціональної стійкості отримав при вирішенні ряду проблем з забезпечення функціональної стійкості для конкретних технічних систем. Так Барабаш О.В. розглянув рішення проблеми забезпечення функціональної стійкості розподілених інформаційних систем [3, 4], Кравченком Ю.В. була вирішена проблема ФС псевдоспутникових радіонавігаційних систем [5].

У роботах Неділька С.М. [6] було розглянуто проблему забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом. Обідіним Д.М. була вирішена проблема забезпечення властивістю функціональної стійкості інтелектуальної системи автоматичного управління ЛА [7].



Рис. 1. Місце функціональної стійкості в системі властивостей складних технічних систем (за роботою [2])

Також окремі завдання забезпечення функціональної стійкості відображені в роботах Авіжієніса А., Пархоменка П.П., Гуляєва В.А., Коростиля Ю.М., Дем'янчука В.С., Баранова Г.Л., Тоценка В.Г., Кононова А.А., Савченко В.А. та ін. вітчизняних та зарубіжних вчених.

Забезпечення функціональної стійкості досягається застосуванням в складній системі різних, вже існуючих видів надмірності (апаратної, структурної, часової, інформаційної, функціональної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій.

Особливу увагу в теорії функціональної стійкості звернуто на те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирування наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом вже існуючих ресурсів. Завдання полягає у виявленні вже існуючої надмірності і формуванні сигналів в потрібний момент на її перерозподіл. У цьому принципова відмінність завдання забезпечення функціональної стійкості від завдання побудови структурно-надлишкових систем.

Одним з актуальних напрямків досліджень стала розробка інтелектуальних багатофункціональних оптимальних систем управління рухом літального апарату, що мають розвинені властивості адаптації до мінливих в широких діапазонах умов польоту, виникнення нештатних ситуацій. Особливу увагу потребують заходи щодо забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК) літального апарату (ЛА) на окремих режимах польоту.

Таким чином, теорія функціональної стійкості знаходиться в стадії розвитку і формування показ-

ників функціональної стійкості як показників ефективності складних технічних систем, включаючи ПНК ЛА, є важливим напрямком наукових досліджень. Завдання забезпечення функціональної стійкості ПНК є однією з найбільш актуальних наукових завдань навігації і управління повітряним рухом.

Метою статті є розробка нових підходів для вирішення завдань забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту.

Основна частина

До основних завдань, що вирішуються ПНК ЛА можна віднести завдання побудови навігаційної програми польоту, навігаційні завдання, пілотажні завдання і завдання контролю роботи ПНК і режимів польоту [8]. Залежно від призначення ЛА, формується основне цільове завдання кожного польоту ЛА, яка кількісно, як правило, виражається ймовірнісними параметрами виконання ЛА завдання в кожних конкретних умовах. Так, повну ймовірність виконання цільового завдання можна представити добутком ймовірностей виконання усіх завдань ПНК з урахуванням обмежень, від яких залежить основне цільове завдання. При польоті за маршрутом ймовірність виконання повного цільового завдання описується виразом:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

де $P_1 = P(\Delta x_1 < \Delta x_{1гр.ед})$ ($i = \overline{1, n}$);

$$P_2 = P(t_{\phi} < t_2);$$

$$P_1 = P(a_1 < a_{1гр.ед}).$$

Під \mathbf{a}_i будемо розуміти деякі параметри ПНК, такі як маса, вартість або інші, під параметром $\mathbf{a}_{i_{\text{доп}}}$ – гранично допустимі значення параметрів, під $\Delta \mathbf{x}_i$ – відхилення i -ої координати вектору стану, під $\Delta_{i_{\text{доп}}}$ – гранично допустимі відхилення по i -ій координаті, t_f і t_s – фактичний і заданий час досягнення необхідної дальності польоту. Тоді умови, відповідні виконанню основного завдання можна представити у вигляді:

$$\Delta \mathbf{x}_i(t) < \Delta_{i_{\text{доп}}}(t), \quad (i = \overline{1, n}); \quad (2)$$

$$t_f - \frac{L(t)}{V_{\text{доп}}} < t_s,$$

де $\Delta \mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_{i_{\text{доп}}}(t) - \mathbf{x}_i(t)$ – відхилення координат вектора стану $\mathbf{x}_i(t)$ від програмних $\mathbf{x}_{i_{\text{доп}}}(t)$.

Для розгляду підходів щодо забезпечення функціональної стійкості ПНК проаналізуємо види відмов ПНК на окремих режимах польоту. Під функціональною стійкістю ПНК ЛА будемо розуміти його властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати необхідне, повне цільове завдання протягом заданого інтервалу часу або напрацювання в умовах потоку відмов через вплив зовнішніх і внутрішніх факторів.

Аналіз досліджень відмов і пошкоджень елементів складних систем, проведений різними авторами в роботах [7 – 10], дозволяє зробити висновок, що відмови в роботі ПНК або його модулів призводять до помилок позиціонування ЛА в просторі і відхилень ЛА від лінії заданого шляху, що значно впливає на рівень безпеки польотів.

Основними причинами таких помилок є: програмні помилки, пов'язані з точністю зчитування координат з навігаційних карт і некоректним введенням програми польоту в пристрої пам'яті ПНК; помилки визначення координат ЛА, пов'язані з точністю навігаційних приладів і зовнішніми збурюючими впливами (тип навігаційної системи, іоносферні збурення, втрата сигналу, радіаційний вплив і т.п.); помилки стабілізації ЛА щодо лінії заданого шляху, які визначаються якістю роботи контурів траєкторного управління в умовах дії зовнішніх збурень.

Таким чином, з огляду на структуру ПНК і основні причини відмов, можна зробити висновок, що система має значну апаратну і програмну надмірність.

Основні відмови і помилки при роботі пілотажно-навігаційного комплексу можна парирувати програмним способом. Для цього розглянемо пілотажно-навігаційний комплекс як розподілену інтелектуальну систему виду:

$$G(V, L), \quad V = \{v_i\}, \quad L = \{l_{ij}\}, \quad i, j = \overline{1, 2, \dots, n}, \quad (3)$$

де множина вершин V відповідає множині інформаційних (інтелектуальних) модулів ПНК розмір-

ністю n . Множина ребер L відповідає множині зв'язків між інформаційними модулями.

Оскільки забезпечення функціональної стійкості включає в себе три етапи: етап визначення; етап верифікації розподіленої бази знань; етап парирування відмов ПНК [6], то введемо допущення, що відмову ПНК визначено.

Тоді для забезпечення функціональної стійкості ПНК необхідно визначити значення функцій приналежності μ_i для окремих модулів v_i , $i = \overline{1, n}$, розподілених інформаційних модулів ПНК V на базі операцій з булевими векторами коректності модуля X_i , отриманого в результаті верифікації розподілених інформаційних модулів:

$$\begin{aligned} & \forall v_i | v_i \in V, i = \overline{1, \dots, |V|}, \\ & \exists \mu_i | \mu_i \in M, \end{aligned} \quad (4)$$

$$M = \left\{ \mu_i \left| \mu_i = \frac{1}{|X_i|} \sum_{j=1}^{|X_i|} x_{ij}, \quad x_{ij} \in X_i, \quad i = \overline{1, \dots, n} \right. \right\}.$$

Після визначення достатньої верифікаційної інформації, на її підставі формується відновлююче управління, яке і завершує етап парирування відмов ПНК.

У загальному вигляді задача етапу парирування полягає у визначенні нечіткого логічного висновку виду:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5)$$

На основі верифікації (4) інформаційних модулів ПНК (3) формується відновлююче управління (5) і на підставі умов задоволення основного завдання (2) визначається ймовірність виконання повного цільового завдання при польоті за маршрутом або на інших окремих режимах польоту. За даними експертів [3, 5, 7], такий підхід дозволить підвищити ефективність застосування ЛА для різного роду завдань, підвищити точність пілотування і безпеку польотів на 15-20%.

Висновки і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку

При різних режимах польоту на роботу пілотажно-навігаційного обладнання можуть впливати внутрішні несприятливі фактори, здатні вивести з ладу або привести до серйозних помилок в показниках приладів. Крім того, під час польоту на приладове обладнання літака також впливають різні зовнішні фактори, що також погіршує їх працездатність.

При відмовах будь-якого обладнання навантаження на пілота збільшується в багато разів, тому необхідно вживати заходів, які б сприяли розвантаженню пілотів, тим самим сприяючи комфортному, сталому і що найбільш важливо - безпечному виконанню польоту. Для зниження впливу людського фактора і як наслідок зниження ймовірності помил-

ки пілота необхідно розвивати підходи щодо забезпечення заданого рівня працездатності систем літака і автоматизації пілотування не тільки в штатних режимах, але і при виникненні позаштатних ситуацій на борту ЛА. Для вирішення такого роду завдань необхідно застосовувати теорію функціональної стійкості.

Методи забезпечення функціональної стійкості повинні бути спрямовані на більш повне використання наявних технічних ресурсів складної технічної системи. Вони повинні базуватися на концептуальному принципі активного перерозподілу наявних ресурсів для досягнення поставлених цілей, а не на пасивному автоматичному виконанні чіткої програми дій.

У традиційних системах автоматичного управління автономними об'єктами, розділених на окремі канали в складі датчиків, обчислювачів та виконавчих механізмів, ресурси (енергетичні, обчислювальні, інформаційні), які виділяються на управління, жорстко закріплені між відповідними каналами. При цьому неможливість перерозподілу ресурсів між каналами обмежує можливості формування функціонально стійкого управління [2]. Технологічною основою забезпечення функціональної стійкості стало створення бортових інформаційно-керуючих комплексів, які дозволили комплексувати ресурси системи і здійснювати їх перерозподіл.

При впровадженні нових інтелектуальних систем в авіаційній сфері теорія функціональної стійкості отримала швидкий розвиток. Системне рішення розглянутого виду завдань управління, полягає в зміні принципу управління – у використанні для управління внутрішньої структури і енергоінформаційних процесів об'єкта управління у вигляді різних ефектів самоорганізації (принципу «синергетичного» управління).

Список літератури

1. Выполнение полёта при отказе пилотажно-навигационных приборов на многоместных самолетах [Видеозапись]: Учебный документальный фильм / реж. О. Ананьев, А. Егоров: 1983.
2. Машиков О.А. Применение теории функционально устойчивых систем для решения задач навигации и управления объектами вида «макросистема» / О.А. Машиков, О.А. Кононов // Системы управления, навигации та зв'язку". – К.: ЦНДІ УіН, 2007. – Вип 3, – С. 15 – 19.
3. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
4. Барабаш О.В. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем / О.В. Барабаш, Н.М. Берназ // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2015. – Вип. 12 (137). – С. 97 – 100.
5. Кравченко Ю.В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах / Ю.В. Кравченко, С.В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – К.: ДУТ, 2014. – №1. – С. 12 – 18.
6. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 220 с.
7. Обідін Д.М. Аналіз теперішніх та перспективних науково-методичних підходів щодо побудови авіаційних комплексів та систем / Д.М. Обідін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХУПС, 2014. – Вип.2 (15). – С. 32 – 34.
8. Рогожин В.О. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. Підручник / В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. – К.: НАУ, 2005. – 316 с.
9. Анцелиович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л.Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
10. Когге Ю.К. Основы надежности авиационной техники / Ю.К. Когге. – М.: Машиностроение, 1993. – 175 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОТДЕЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ПОЛЕТА

М.А. Калашник, Д.Н. Обидин

Рассмотрены существующие научно-методические подходы по обеспечению функциональной устойчивости сложных технических систем летательного аппарата. Проанализированы основные причины возможных отказов пилотажно-навигационного комплекса на разных этапах полета летательного аппарата. Определена нерешенная ранее задача по обеспечению функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета, предложены новые подходы по разработке эффективной методики обеспечения функциональной устойчивости.

Ключевые слова: пилотажно-навигационный комплекс, функциональная устойчивость, отдельные режимы полета.

THE FUNCTIONAL STABILITY FOR FLIGHT AND NAVIGATION SYSTEM OF AIRCRAFT AT DIFFERENT FLIGHT MODES

M.A. Kalashnyk, D.M. Obidin

There were considered existing scientific and methodological sides of provision of functional stability for complicated technical systems of aircraft, theoretical and practical works in this area. There were analyzed the main reasons of possible failures of flight control and navigation equipment at different flight phases of aircraft, crew actions during some failures of flight control and navigation system. There was defined the part that has been unsolved before, it is creation of effective methods of provision of functional stability for flight and navigation system at different flight modes and there were offered new sides in order to solve it.

Keywords: flight control and navigation system, functional stability, different flight modes.

УДК 629.735.05(045)

І.В. Остроумов

Національний авіаційний університет, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЇ ПОЛОЖЕННЯ ЗА ПАРОЮ ДАЛЕКОМІРНОГО ОБЛАДНАННЯ DME ПРИ ВИРІШЕНІ НАВІГАЦІЙНИХ ЗАДАЧ

Точність витримування певних ліній положення під час польоту літака відноситься до основних завдань навігації. У статті розглянуто проблему витримування заданої лінії положення за далекомірним обладнанням DME. Відповідно міжнародним вимогам до складу бортового обладнання літака цивільної авіації проблема розглянута з точки зору застосування оптимальної пари DME. Виконано оцінювання максимальної точності навігації за DME/DME для повітряного простору України за умови використання оптимальної пари радіонавігаційних точок.

Ключові слова: DME, DME/DME, далекомірне обладнання, точність, пара радіонавігаційних точок, еліпс похибок, повітряний простір, Україна, лінія положення, альтернативні методи позиціонування, APTN.

Вступ

Велике значення під час пілотування повітряного корабля приділяється витримування певних ліній положення, що визначають рух літака за певною траєкторією. Цей процес є неодмінною вимогою виконання навігаційних задач та застосовується на усіх етапах польоту літака. Відповідно до міжнародних документів [1] до точності витримування заданих ліній положення висуваються жорсткі вимоги. Точність дотримання заданих параметрів руху неодмінно пов'язана з відхиленням літака від запланованої траєкторії руху і безпосередньо впливає на безпеку авіації в цілому.

Алгоритми альтернативних методів позиціонування застосовується на борту літака цивільної авіації у випадку проблем функціонування глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS). Найбільш точним з альтернативних алгоритмів позиціонування є позиціонування за парою далекомірного обладнання DME [2]. Цей алгоритм застосовується у переважній більшості сучасних обчислювальних систем літаководіння (FMS). При цьому, важливим є вірний вибір певної пари наземних радіомаяків DME, що забезпечуватимуть найвищу точність позиціонування. Оскільки на борту літака відповідно вимогам до польотної конфігурації має знаходитись два комплекти обладнання DME, то алгоритм позиціонування може одночасно працювати лише з певною парою далекомірного обладнання. Найбільш вагомий внесок у точність позиціонування вносить геометричний фактор, що пов'язаний з геометрією взаємного розташування наземних радіомаяків. Іншим компонентом визначення точності є точність власних обчислень DME, тобто точність визначення відстані між літаком та наземним обладнанням радіомаяка.

У дослідженнях [3-5] виконано аналіз точності позиціонування усіма наявними радіомаяками DME

у певній частині повітряного простору, проте отримані дані не відображають реальні можливості обладнання авіоніки літака а спрямовані на оптимізацію наземної мережі далекомірного обладнання.

Відповідно до наведеного вище основною метою статті є оцінювання максимальної точності позиціонування, що може бути отримана, за рахунок вибору оптимальної пари далекомірного обладнання DME у обчислювальній системі літаководіння для певного місцеположення літака у повітряному просторі України.

Зони невизначеності

Визначення місцеположення ПК за інформацією від далекомірного обладнання DME ґрунтується на одночасному використанні двох комплектів обладнання, що одночасно визначають відстань до двох різних радіонавігаційних точок (РНТ). У загальному випадку вважається, що результати вимірювань отримуються у одночасно, а часом запізнення інформації від більш віддаленої РНТ з пари, можна знехтувати. У цьому випадку, місцеположення ПК знаходиться у точці перетину ліній положення ПК відносно РНТ (рис. 1). Дія похибок визначення відстаней Δ за DME призводить до того що, отримане місцеположення ПК буде відрізнятися від істинного.

Так на рис. 1 показано, що результати вимірювань відстаней RA та RB за DME від наземних РНТ А та В містять похибки ΔA та ΔB відповідно. Точка перетину ліній положення А та В дає місцеположення ПК P1, що відрізняється від істинного місцеположення P2 на величину похибки ΔP . Для навігаційних систем важливим є розрахунок похибок визначення місцеположення. Виконаємо оцінювання похибки позиціонування ΔP за відомими похибками систем DME. На великих відстанях кривизною ліній положення можна знехтувати і вважати їх прямими лініями (рис. 2).

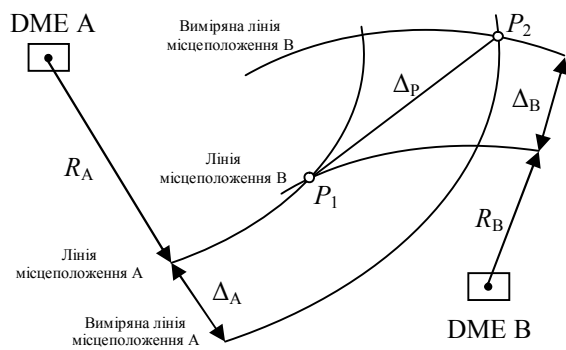


Рис. 1. Похибка визначення місцеположення

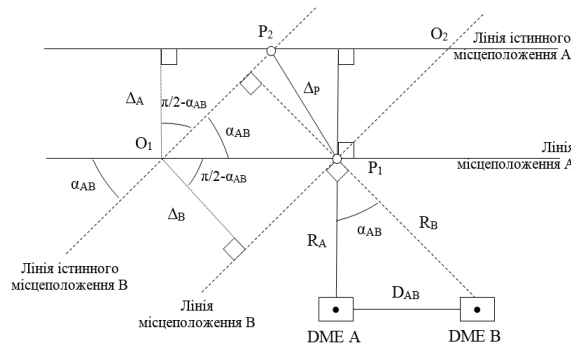


Рис. 2. Розрахунок похибки визначення місцеположення

На рис. 2 наведено випадок визначення координат місцеположення ПК за перетином двох ліній місцеположення, утворених за результатами вимірювань відстаней (R_A та R_B) до РНТ А та В. Точка P_1 відповідає визначеному місцеположенню ПК. Наявність похибок (Δ_A та Δ_B) у результатах вимірювань відстаней дозволяє провести лінії істинного місцеположення на перетині яких знаходиться точка істинного місцеположення ПК – P_2 . Відстань між точками місцеположення P_1 і P_2 є радіальною похибкою Δ_P , що визначає точність визначення координат ПК. Для оцінювання величини похибки Δ_P використаємо кут між напрямками на РНТ А та В α_{AB} , що зазвичай визначається за базисом пари РНТ:

$$\alpha_{AB} = \arccos\left(\frac{D_{AB}^2 - R_A^2 - R_B^2}{2R_A R_B}\right).$$

Оскільки лінії місцеположення перпендикулярні до радіальних відстаней R_A та R_B , а кути утворені двома перпендикулярними кутами є однаковими, тоді кут перетину ліній положення буде рівним куту утвореним напрямками на РНТ α_{AB} . Похибка Δ_P визначається за теоремою косинусів з трикутника $O_1P_1P_2$:

$$\Delta_P = \sqrt{O_1P_1^2 + O_1P_2^2 - 2O_1P_1 O_1P_2 \cos(\alpha_{AB})},$$

$$\text{де } O_1P_1 = \frac{\Delta_B}{\cos(\pi/2 - \alpha_{AB})} = \frac{\Delta_B}{\sin(\alpha_{AB})},$$

$$O_1P_2 = \frac{\Delta_A}{\cos(\pi/2 - \alpha_{AB})} = \frac{\Delta_A}{\sin(\alpha_{AB})}.$$

$$\text{Тоді } \Delta_P = \sqrt{\left(\frac{\Delta_B}{\sin(\alpha_{AB})}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{\sin(\alpha_{AB})}\right)^2 - 2\frac{\Delta_B}{\sin(\alpha_{AB})}\frac{\Delta_A}{\sin(\alpha_{AB})}\cos(\alpha_{AB})};$$

$$\Delta_P = \sqrt{\frac{\Delta_B^2 + \Delta_A^2 - 2\Delta_A \Delta_B \cos(\alpha_{AB})}{\sin^2(\alpha_{AB})}}.$$

Оскільки похибки Δ_A та Δ_B є випадковими величинами то і радіальна похибка Δ_P буде мати випадковий характер. Тоді

$$\sigma_P^2 = \frac{\sigma_B^2 + \sigma_A^2 - 2\rho\sigma_A\sigma_B\cos(\alpha_{AB})}{\sin^2(\alpha_{AB})},$$

де ρ – коефіцієнт взаємної кореляції похибок вимірювання ліній місцеположення.

Оскільки інформація стосовно R_A та R_B отримується від різних РНТ матимемо незалежні похибки вимірювання ліній місцеположення, для яких $\rho = 0$, тоді матимемо:

$$\sigma_P^2 = (\sigma_B^2 + \sigma_A^2) / \sin^2(\alpha_{AB}). \quad (1)$$

Відповідно до цього середньоквадратична похибка визначення місцеположення ПК залежить від середньоквадратичних похибок вимірювання ліній положення та кута між напрямками на РНТ. Максимальна точність місцеположення буде спостерігатись при перетині ліній положення перпендикулярно одна до одної.

Лінії сталих кутів між напрямками на РНТ

Графічно певному сталому значенню кута α_{AB} відповідає лінія кола, хордою якого є базисна відстань між РНТ – D_{AB} . РНТ знаходяться на коловій лінії у точках перетину хорди. Лінії колів будуть симетричними по обидві сторони хорди. На рис. 3 зображено лінії сталих кутів тільки над лінією хорди для радіомаяків BRP (Boryspil) та IKI (Kyiv/ Zhyliany).

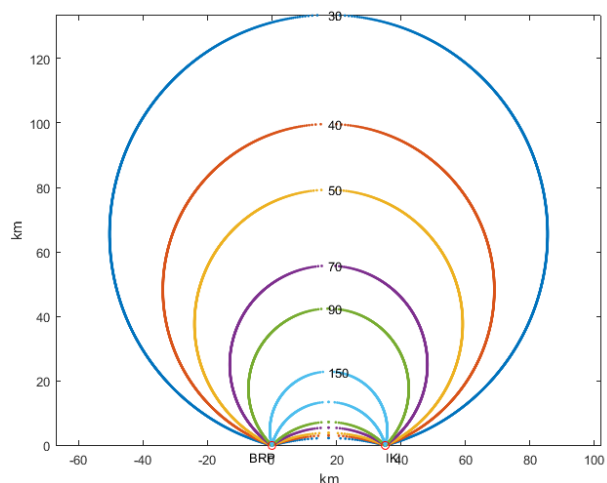


Рис. 3. Лінії сталих кутів між напрямками на РНТ

Радіус кола [7]:

$$R = d / (2 \sin(\alpha_{AB}/2)).$$

Координати центра кола у зв'язаній системі координат, центр якої розміщується у DME A, а вісь X напрямлена у напрямку DME B, можна обчислити за наступними співвідношеннями:

$$x_c = \frac{d}{2}, y_c = \frac{d}{2} \operatorname{ctg}(\alpha_{AB}).$$

Оскільки, знаменником у (1) є величина зі сталими коловими лініями, а дія похибок у чисельнику не дуже сильна, то результуючі лінії однакових похибок визначення місцеположення будуть мати вигляд теж колів (рис. 4).

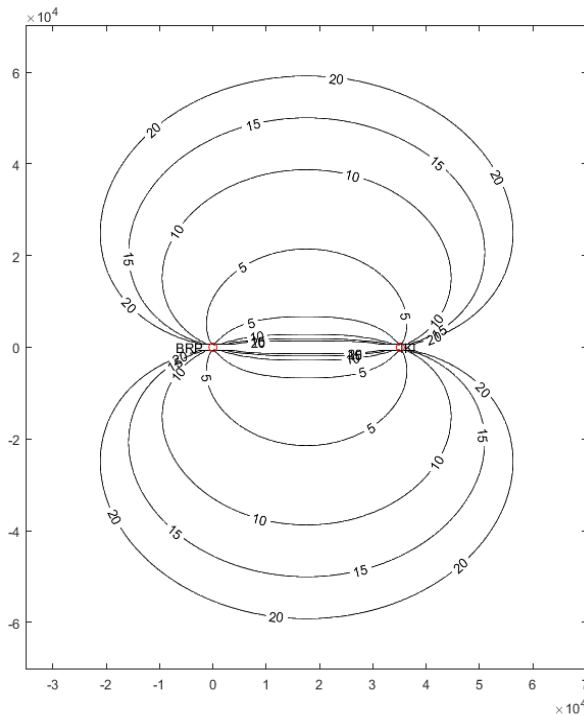


Рис. 4. Похибка місцеположення

Відповідно до (1) максимальна точність позиціонування буде мати місце за умови: $\sin(\alpha_{AB})=1$, тобто при $\alpha_{AB}=90^\circ$. Для цього кола відстань D_{AB} між РНТ буде діаметром, а центр знаходитиметься у $x_c = d/2$, $y_c = 0$.

Для побудови зони дії методу позиціонування зазвичай обмежуються рівнем погіршення точності позиціонування у два рази:

$$\sigma_P = \frac{\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2}}{\sin(\alpha_{AB})};$$

$$2\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2} = \frac{\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2}}{\sin(\alpha_{AB})}; \sin(\alpha_{AB}) = \frac{1}{2}.$$

Відповідно до цього, подвійному погіршенню точності відповідатиме зона обмежена лініями сталих кутів 30° та 150° . Для випадку радіомаяків BRP та IKI зона подвійного погіршення точності наведена на рис. 5.

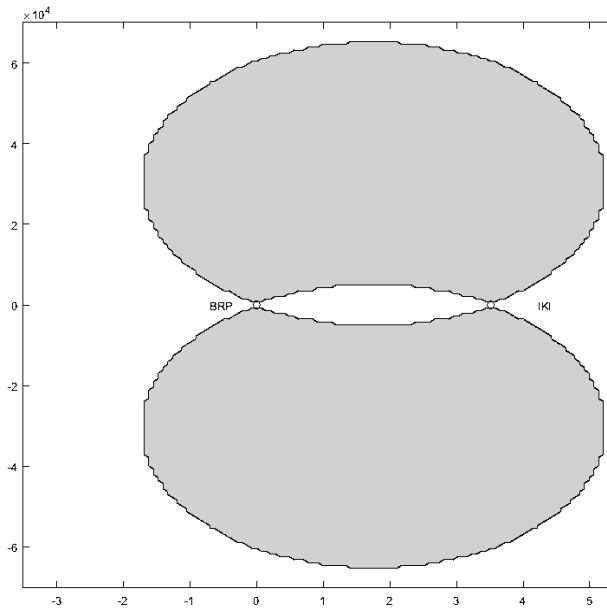


Рис. 5. Зона подвійного погіршення точності

Оцінювання характеристик еліпса похибок

Важливим етапом розрахунку точності місцеположення є оцінювання зони у межах якої ймовірність знаходження ПК буде відповідати певній величині P . У випадку незалежних вимірювань та припущення що випадкові похибки визначення ліній місцеположення визначаються нормальним законом розподілу, тоді розподіл похибок визначення місцеположення описується подвійним нормальним законом розподілу випадкової величини:

$$\rho(\Delta_A, \Delta_B) = \frac{1}{2\pi\sigma_A\sigma_B} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_A^2}{\sigma_A^2} + \frac{\Delta_B^2}{\sigma_B^2}\right)}.$$

Ймовірність знаходження ПК у певній зоні буде сталою для геометричної фігури, що має форму еліпса та описується рівнянням:

$$\frac{\Delta_A^2}{\sigma_A^2} + \frac{\Delta_B^2}{\sigma_B^2} = k^2.$$

Ймовірність місцеположення у еліпсі [6]:

$$P = 1 - e^{-k^2/2},$$

чи

$$k = \sqrt{-2 \ln(1 - P)}.$$

Еліпс похибок визначається його напіввісями a та b та кутом нахилу еліпса у просторі. Розглянемо еліпс похибок з лініями положення A та B, що перетинаються під кутом α_{AB} . Тоді, кут нахилу еліпсу відносно лінії положення B, можна визначити з співвідношення [7]:

$$\frac{\sigma_B}{\sin(\alpha_B)} = \frac{\sigma_A}{\sin(\alpha_{AB} - \alpha_B)},$$

$$\frac{\sin(\alpha_{AB} - \alpha_B)}{\sin(\alpha_B)} = \frac{\sigma_A}{\sigma_B},$$

$$\frac{\sin(\alpha_{AB})\cos(\alpha_B) - \sin(\alpha_B)\cos(\alpha_{AB})}{\sin(\alpha_B)} = \frac{\sigma_A}{\sigma_B},$$

$$\sin(\alpha_{AB})\operatorname{ctg}(\alpha_B) = \frac{\sigma_A}{\sigma_B} + \cos(\alpha_{AB}),$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha_B) = \frac{\sigma_A}{\sigma_B \sin(\alpha_{AB})} + \operatorname{ctg}(\alpha_{AB}).$$

А напіввісі еліпсу можна оцінити виходячи з його рівняння та значень похибок [7]:

$$a = \frac{\sigma_B k}{\sin(\alpha_B)};$$

$$b = \frac{\sigma_A k}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - (\alpha_{AB} - \alpha_B)\right)} = \frac{\sigma_A k}{\cos(\alpha_{AB} - \alpha_B)}.$$

Крім того, для оцінювання впливу взаємного розташування РНТ може застосовуватись підхід, що оцінює площу паралелограма, утвореного лініями істинного та виміряного положення:

$$S = \sigma_A \sigma_B \sin(\alpha_B).$$

Загалом похибка визначення відстані за DME розглядається як складова двох компонентів [1, 8]:

- похибки, що вноситься наземним обладнанням σ_{sis} . Відповідно до нормативних документів величина цієї похибки не може перевищувати 0,05 м. милі;

- похибки, що вноситься під час розповсюдження радіохвиль σ_{air} [8]:

$$\sigma_{\text{air}} = \max\{0,085 \text{ м. милі}; 0,125\% R\},$$

де R – виміряна відстань.

Загалом маємо:

$$\sigma_{A,B}^2 = \sigma_{\text{sis}}^2 + \sigma_{\text{air}}^2.$$

Іншим чином максимальна точність визначення відстані [8] може бути обчислена як:

- для відстаней від 0 до 65 м. милі:

$$\pm 0,12 \text{ м. милі} + 0,05\% \text{ від виміряної відстані};$$

- для відстаней більших за 65 м. милі:

$$\pm 0,17 \text{ м. милі} + 0,05\% \text{ від виміряної відстані}.$$

Оцінювання точності позиціонування для певного повітряного простору

Під час виконання польоту необхідним для позиціонування є вибір оптимальної пари навігаційного обладнання для найбільш точного дотримання певної лінії місцеположення чи визначення координат місцеположення ПК.

У якості критерію оптимальності використовують точність чи величину середньоквадратичного відхилення.

У загальному випадку виконується вибір такої пари РНТ, розмішені таким чином, що забезпечують найменше значення параметра середньоквадратичного відхилення.

Таке оцінювання виконується окремо по кожному з доступних методів позиціонування. На основі мінімальної похибки виконується вибір методу позиціонування.

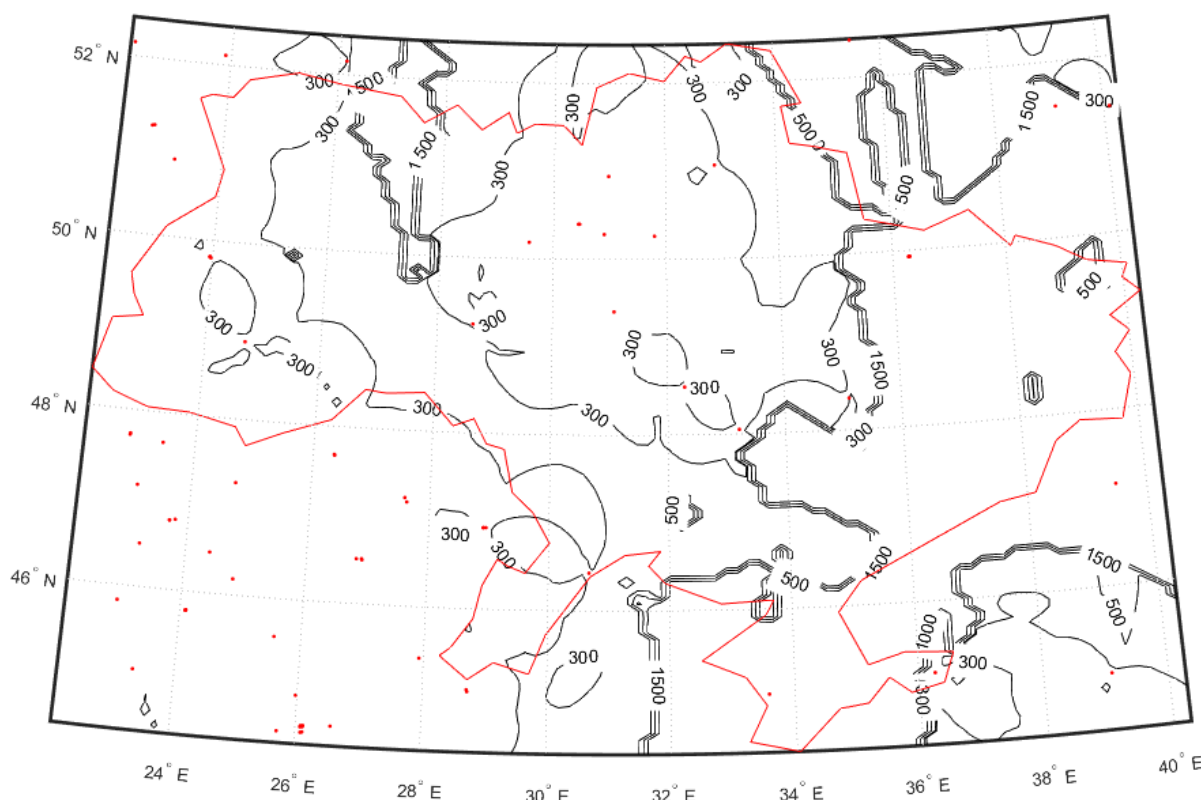


Рис. 6. Точність позиціонування за оптимальної пари DME

Цікавим є дослідження точності позиціонування для певного обмеженого повітряного простору, наприклад зони КПП.

Для цього задають певну висоту перерізу повітряного простору, що розповсюджується паралельно еліпсоїду на певній висоті спостереження. Потім будується сітка вузлових точок місцеположення у кожній з яких виконується оцінювання доступних пар РНТ та загальної точності позиціонування.

Висновки

Точність витримування лінії положення ПК є однією з основних характеристик безпеки авіації. Наведені математичні залежності дозволяють оцінити точність позиціонування за парою далекомірного обладнання DME. Крім того, виконано комп'ютерне моделювання для повітряного простору України та оцінено максимальну точність витримування ліній позиціонування за оптимальною парою DME. Отримані результати на рис. 6 вказують на досить неоптимальну геометрію розташування наземної мережі РНТ у східних та південних регіонах, що призвело до значних похибок більших за 1 км. Слід відмітити, що на заході країни у повітряному просторі поблизу м. Рівне похибка теж приймає значні значення. Загалом у центральній та західній частинах країни похибка знаходилась у межах 300 м.

Список літератури

1. *Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613*. – ICAO, 2008. – 304 p.
2. *Ostroumov I.V. Nav aids facility for aircraft positioning / I.V. Ostroumov // The Sixth World Congress*

“Aviation in the XXI-st century” - “Safety in Aviation and Space Technologies”. Volume 2. – Kyiv: NAU, 2014. – 3.2.1-3.2.5 pp.

3. *Остроумов І.В. Оцінювання точності DME/DME позиціонування для повітряного простору України / Остроумов І.В. // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(43). – К.: НАУ, 2013. – С. 61-67.*

4. *Остроумов І.В. Використання радіомаяків DME для визначення місцеположення у повітряному просторі України / І.В.Остроумов, Т.Б. Лопатко // Вісник інженерної академії України. – 2013. – № 4. – С. 300-305.*

5. *Ostroumov I., Kuzmenko N. Accuracy estimation of alternative positioning in navigation / 2016 IEEE 4th International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control»(MSNMC), October 18-20, – 2016 : proceedings. – Kyiv, 2016. – 291-294 pp.*

6. *Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Высш. Шк., 1998. - 576 с.*

7. *Ярлыков М.С. Авиационные радионавигационные устройства и системы / М.С. Ярлыков, В.А. Болдин, В.С. Богачев. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1980. – 245 с.*

8. *DO-189. Minimum Operational Performance Standards for Airborne Distance Measuring Equipment (DME) Operating within the Radio Frequency Range of 960-1215 MHz. – RTCA, 1985.*

9. *U.S. National aviation standard for the VOR/DME/TACAN systems. – Department of transportation. FAA, 1982. – 70 p.*

Надійшла до редколегії 31.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПАРЕ ДАЛЬНОМЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ DME ПРИ РЕШЕНИИ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

И.В. Остроумов

Точность выдерживания определённых линий положение во время полёта самолёта относится к одним из основных задач навигации. В статье рассмотрена проблема выдерживания заданной линии положения при использовании дальномерного оборудования DME. Согласно международным требованиям к составу бортового оборудования самолёта гражданской авиации, проблема рассмотрена с точки зрения применения оптимальной пары DME. Выполнено оценивание максимальной точности навигации по DME/DME для воздушного пространства Украины при условии использования оптимальной пары радионавигационных точек.

Ключевые слова: DME, DME / DME, дальномерное оборудование, точность, пара радионавигационных точек, эллипс ошибок, воздушное пространство, Украина, линия положения, альтернативные методы позиционирования, APTN.

ACCURACY ESTIMATION OF LOCATION LINE DETECTION BY PAIR OF DISTANCE MEASUREMENT EQUIPMENT IN NAVIGATION PROBLEM

I.V. Ostroumov

An accuracy of holding the exactly lines of position during the aircraft fly refers to the one of the main problems of navigation theory. The problem of holding the predefined line of aircraft location with the help of distance measuring equipment usage has been discussed in the article. According to international requirements for the minimal list of avionics equipment for civil aircraft, the problem is considered from the point of view of optimal pair DME using during all phases of flight. The values of maximum error of navigation by DME/DME for the Ukrainian airspace in case of optimal pair of navigation points were estimated and represented in contour lines.

Keywords: DME, DME/DME, distance measuring equipment, accuracy, pair of waypoints, ellipse of errors, air space, Ukraine, the line of position, alternative positioning methods, APTN.

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ, ЯК ЗАПОРУКА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті розглянуто сучасний стан та інноваційне бачення фізичних процесів котрі відбуваються в електричних розрядах, що жевріють, які безпосередньо пов'язані зі складними радіонавігаційними системами. Умови створення та новітні характеристики плазми від'ємного випромінювання, в процесі взаємодії зарядносіїв робочого газу, елементів систем радіонавігації.

Ключові слова: радіонавігаційна система, електричний розряд, плазма, від'ємне випромінювання, зарядносії, іонізація, нормальний режим, слобоаномальний режим.

Вступ

Проходження електричного струму в газах пов'язано з утворенням плазми, котра використовується для функціонування елементів радіонавігаційних систем. Фундаментальні праці відомих науковців [1-4] присвячені дослідженням фізичних процесів, котрі протікають у плазмі газового розряду. Згідно досліджень [5], стан газорозрядної плазми, визначається кінетикою електронів та іонів. В свою чергу кінетика зарядносіїв [6], залежить, як від взаємодії між зарядами та нейтральними частинками, так і від взаємодії зарядів із обмежувачими поверхнями.

Однією з найважливіших взаємодій зарядносіїв із нейтральними частинками є об'ємна іонізація (α - процеси), котра необхідна для підтримання стаціонарного стану плазми та електричної провідності газу елементів радіонавігаційних систем.

Мета статті: Розгляд фізичних процесів, котрі протікають в електричних розрядах, що жевріють, із метою створення довговічних, високонадійних та якісних елементів радіонавігаційних систем [17]. Аналіз закономірностей зміни властивостей зарядносіїв електричного розряду, для формування підходів та методів покращення якості функціонування радіонавігаційних систем в цілому.

Основна частина

Класичне дослідження процесу іонізації [7] призвело до створення універсального виразу, за яким легко визначити коефіцієнт іонізації α/p . Проте в неоднорідних електричних полях визначення коефіцієнту іонізації α/p , у відповідності з дослідженнями авторів [8], є неточним. Для подальших досліджень автори [9] для розрахунку α/p використовували експериментально ефективний поперечний переріз іонізації Q_i . Розрахунок із урахуванням Q_i дає такий α/p , котрий має цілком задовільне узгодження з експериментальним значенням α/p .

Суттєвим та принципово важливим процесом виробництва зарядносіїв в газовому розряді є вторинна електронна емісія на катоді під дією бомбардування його позитивними іонами (γ_i -процеси), нейтральними частинками (γ_n - процеси) та фотонами (γ_f - процеси). Ґрунтовні дослідження [10], встановили, що до енергії позитивного іона $\varepsilon_i = 600$ еВ вторинна електронна емісія на катоді обумовлена потенціальною енергією іона. Як наслідок, в указаному діапазоні енергії іона, значення коефіцієнта γ можна вважати постійним $\gamma = \text{const}$. Відносно внеску фотоефекта в γ -процеси на катоді, дослідження [11] показують, що в нормальному та слобоаномальному режимі розряду, що жевріє, випромінювання з плазми від'ємного світіння не суттєво впливає на γ -процеси.

Розряд, що жевріє - самостійний електричний розряд у газі з холодними плоскопаралельними електродами із тиском ($10^{-3} - 15$) кПа робочого газу та розрядному струмові в інтервалі ($10^{-5} - 1$) А, як показано на рис. 1.

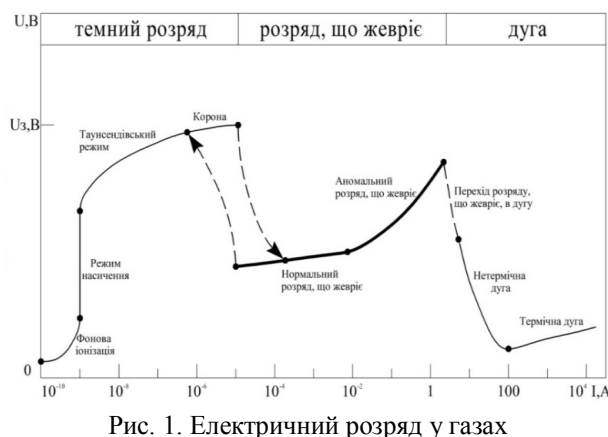


Рис. 1. Електричний розряд у газах

Якщо анод наближений до від'ємного випромінювання, то розряд, що жевріє, може стійко горіти без позитивного стовпа (короткий розряд, що жевріє). Подальший розгляд питань, буде відноситись тільки

до короткого розряду, що жевріє. В цьому розряді всі зони, розташовані між катодом та анодом, та на поверхні катода, є основними та відіграють важливу роль в підтримці розряду складних радіонавігаційних систем. Автори [5] відмічають, що значна величина катодного падіння потенціалу, за порівняно невеликих струмів, у розряді, що жевріє, створює у катодних зонах велику швидкість руху зарядносіїв. Наслідком цього є те, що в основній частині розряду (темному кружковому просторі) переважним є направлений рух електронів та позитивних іонів.

У результаті бомбардування поверхні катода іонами, швидкими атомами та внаслідок фотоэффекта, створюється вторинна емісія електронів (γ -процеси). Електрони, що отримують прискорення в сильному неоднорідному електричному полі, набирають велику кінетичну енергію в напрямку анода. При зіткненні з нейтральними атомами прискорені електрони виконують процес іонізації (α -процеси). Нові електрони, створені в процесі іонізації, знову набирають швидкість в електричному полі та здійснюють іонізацію. Позитивно заряджені іони, що утворилися в процесі іонізації, прискорюючись у електричному полі, прямують до катода, потрапляють на його поверхню, що викликає емісію нових електронів. Електрони, що взаємодіють із сильним неоднорідним електричним полем набувають велику кінетичну енергію, котру вони частково витрачають у просторі падіння потенціалу та, повністю, у від'ємному світінні на іонізацію та збудження нейтральних атомів. У стаціонарному режимі розряду кожен електрон, що імітується із катода виробляє стільки актів іонізації та збудження, що в результаті бомбардування катода іонами, атомами та фотонами виникає новий електрон із катода. Цей процес задовольняє умові стаціонарності розряду [1].

$$\gamma (\exp(\alpha d) - 1) = 1, \quad (1)$$

де d – товщина темного кружкового простору.

Наведений механізм елементарних процесів спостерігається в розрядному проміжку, утвореному плоскопаралельним анодом та катодом, що являє собою звичайну геометрію розрядного пристрою. На вказаній геометрії розрядного проміжку отримано певний обсяг теоретичних та експериментальних досліджень, викладених у [4, 8, 11, 12]. На підґрунті цих результатів структура розряду, що жевріє, відображається так, як на рис. 2.

Безпосередньо із катодом межує астановий темний простір. У цьому просторі щойно зімітовані електрони мають малі швидкості, а їх енергія складає не більше одного електрон-вольту; її недостатньо для збудження газу. В наслідок чого цей простір представляється темним. Подальший рух електронів прискорюється в сильному електричному полі та вони набувають енергію для збудження нейтральних атомів газу. Тому за астановим темним простором утворюється сяюча область невеликої ширини, у

вигляді сяючої плівки. Тут енергія електронів наближається до максимуму функції збудження.

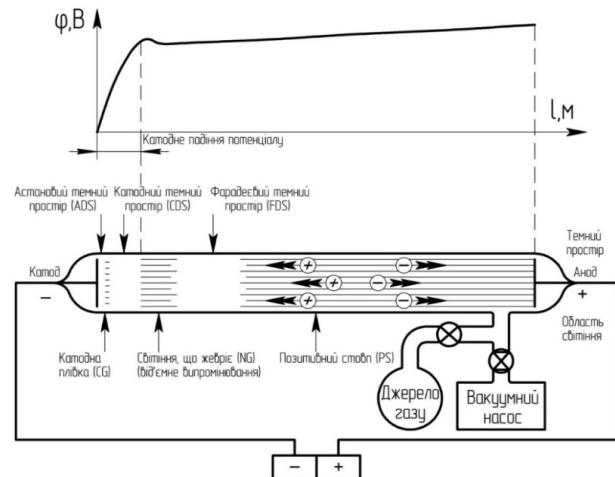


Рис. 2. Структура розряду, що жевріє

Наступною зоною від катода є темний кружковий простір, де електрони під час взаємодії з електричним полем набувають велику кінетичну енергію, оскільки в цій зоні напруженість електричного поля значно вище, ніж в інших зонах розряду. Завдяки енергії електронів, що є значно вищою максимуму функції збудження, світіння цієї області суттєво слабше. Порівняно зі збудженням газу процеси іонізації тут більш інтенсивні. Кожен електрон, що проходить цей простір, при середній аномальності розряду, здійснює два-три акти іонізації. Енергія електронів у кінці цієї області велика та наближено дорівнює eU_k . Швидкість руху іонів суттєво менша, ніж електронів, через процеси резонансного перезарядження, в котрих вони приймають участь у процесі руху до катода. В темному кружковому просторі створюється великий об'ємний заряд позитивних іонів. Як наслідок, розподіл електричного поля $E(x)$ в цій частині розряду є суперпозицією поля заряджених електродів та поля об'ємного заряду. Експериментальний розподіл $E(x)$ в цій області отримано в [13], за допомогою електронного пучка, що перетинає розряд в площині, перпендикулярній осі розряду.

Від'ємне випромінювання, що жевріє, межує із темним кружковим простором, має різкий кордон із боку катода. Однак інтенсивність випромінювання від катодної до анодної межі від'ємного випромінювання поступово спадає. Згідно з [13], напруженість електричного поля цієї області не тільки мала, але й має від'ємний знак. В цій зоні одночасно відбувається три важливих процеси:

- іонізація газу під дією електронів, що надійшли від темного кружкового простору;
- збудження газу електронами, у котрих енергія значно менша енергії іонізації;
- рекомбінація електронів із позитивними іонами.

Наступною зоною короткого розряду, що жевріє, є темний простір. На відміну від кружкового тем-

ного простору вона характеризується відносно малою енергією електронів та іонів. Енергія електронів, у цій зоні, значно менше максимальної функції збудження, внаслідок цього дана область є темною. В бік аноду електрони переміщуються, в основному, хаотично під дією сил дифузії. Від'ємне випромінювання являє собою майже вільну від електричного поля квазінейтральну плазму, що ізолювана від катода просторовим зарядом позитивних іонів. Це світіння є найбільш яскравим, у порівнянні з усіма зонами розряду, що жевріє, хоча за своїми розмірами воно значно менше позитивного стовпа. Про плазму від'ємного випромінювання є ціла низка відомостей, що отримані за допомогою зондових, оптичних, мікрохвильових та математичних методів, зокрема, найбільше дослідів проведено з плазмою інертних газів.

Для визначення фізичного стану плазми в дослідженнях визначається концентрація електронів N_e та їх середня енергія $\bar{\epsilon}_e$, потенціал простору V_{p1} , функція розподілу електронів за енергіями $f(\epsilon)$ та розподіл атомів газу за збудженими станами. У [16] отримано розподіл густини електронів $N_e(x)$ уздовж від'ємного випромінювання, де встановлено, що в катодній частині цієї зони є невеликий надлишок позитивних іонів $N_i > N_e$, а в анодній частині, навпаки, $N_e > N_i$. У наслідок цього створюється слабе електричне поле в темному круковому просторі. Встановлено, що первинні електрони, котрі приходять з боку катода, у від'ємному світінні, всупереч результатам [14], створюють не одне непружне зіткнення, а кілька, та їх пробіг, і, як наслідок, протяжність випромінювання L рівна кільком довжинам вільного пробігу електрона.

Зондові дослідження авторів [15] встановили, що у від'ємному світінні крім швидких первинних електронів мають місце вторинні електрони з концентрацією $N_e = 10^{-7} \text{ см}^{-3}$ та енергією 3 – 8 eV та кінцеві теплові електрони з $N_e = 10^{-10} - 10^{-11} \text{ см}^{-3}$ та енергією 0,5 - 2,5 eV. Вторинні та кінцеві електрони мають максвелівський розподіл електронів за енергіями $f_m(\epsilon)$. Поглиблені результати зондових вимірів представлені в [15], котрі були проведені при 100 Па гелія в розрядній трубці діаметром $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ із M_0 -катодом методом другої похідної зондового струму за напругою. Виміряно щільність електронів N_e , їх середня енергія $\bar{\epsilon}_e$, потенціал простору V_{p1} та функція розподілу $f(\epsilon)$. В цій функції розподілу встановлений, порівняно з максвелівським розподілом $f_m(\epsilon)$, надлишок швидких електронів, створених первинними електронами в непружних зіткненнях з нейтральними частками газу. Встановлено, що N_e має максимум в катодній частині від'ємного випромінювання, котрий плавно зменшується в бік анодної межі. Згідно з [16], за результатами зондових досліджень та НВЧ – випромінюванню, отримано низький рівень шумів плазми в цій зоні, обумовлений малою середньою енергією кінцевих електронів

($\epsilon_e = 0,3 - 2,0 \text{ eV}$). Указана властивість плазми знайшла практичне застосування в елементах електронних пристроїв систем радіонавігації.

За рахунок енергії первинних електронів, що надходять із темного крукового простору, у від'ємному світінні протікають інтенсивні процеси іонізації та збудження нейтральних атомів і молекул газу. На відміну від плазми позитивного стовпа, процеси збудження в даній плазмі обумовлені, як прямим електронним ударом, так і випромінюванням, що виникає в рекомбінаційних процесах, згідно [15]. Роль рекомбінації зростає з віддаленням від катодного кордону світіння та збільшенням тиску газу. Оскільки напруженість електронного поля та довжина пробігу електрона $\bar{\lambda}_e$ менша поперечних розмірів камери D ($\bar{\lambda}_e < D$), то

теплові електрони визначають амбіполярну дифузію зарядів до стінок розрядної камери та рекомбінацію електронів та іонів в об'ємі газу. Наявність інтенсивних процесів амбіполярної дифузії підтверджує, що навпроти від'ємного випромінювання, температура стінок газорозрядної трубки максимальна, згідно зі [3]. Однак наявність швидких електронів із невеликим, але широким максимумом свідчить про те, що функція розподілу електронів за енергіями в плазмі від'ємного випромінювання не є максвелівською, і, як наслідок, має досить складний характер. Утворення нових розрядів квантів та створення плазми у від'ємному випромінюванні відбувається виключно в процесі взаємодії первинних електронів із нейтральними частинами робочого газу. Концентрація електронів N_e та іонів N_i не зростає до великих значень, оскільки вона обмежується наступними зворотними процесами, в котрих відбуваються втрати електронів та іонів. Дифузія іонів у темний круковий простір та дифузія електронів у темний фарадесвий простір. Зарядоносії, приймаючи участь у цій дифузії, та є безпосередніми провідниками електричного струму.

Амбіполярна дифузія електронів та іонів на стінки розрядної трубки. Цей процес не сприяє переносу електричних зарядів між електродами і є суттєвою причиною втрат та збурень у плазмі від'ємного випромінювання. Об'ємна рекомбінація електронів та іонів, в якій відбувається виділення енергії у вигляді випромінювання.

Концентрація збуджених атомів обмежена, оскільки тут можливі такі спустошливі процеси, як каскадні переходи, удари другого роду, зіткнення збуджених атомів зі стінками розрядної камери та ступінчаста іонізація. У джерелах [9, 11], досліджено вплив плазми на інші зони розряду та встановлено, що плазма від'ємного випромінювання має вплив на виникнення вторинної електронної емісії на катоді.

Висновки

У рамках статті був проведений детальний розгляд факторів, котрі впливають на підвищення якості функціонування радіонавігаційних систем. У

результаті виконаної роботи по аналізу елементарних процесів, котрі відбуваються в розряді, що жевріє, видно, що не всі описані процеси відіграють суттєву роль у катодній області. Для нормального та слабоаномального розряду, що жевріє, згідно із вище наведеними дослідженнями, визначальними процесами в розглянутій області є:

1. Виробництво зарядоносців у просторі падіння за умови низького та середнього катодного падіння потенціалу здійснюється за рахунок іонізації атомів газу електронами.

2. Рух електронів в темному кружковому просторі, за винятком області, що безпосередньо межує з катодом, за умови нормального та слабоаномального катодного падіння, можна вважати дрейфовим та направленим рухом, а у високому катодному падінні - повністю направленим рухом.

3. Опір під час свого руху електрони зустрічаються в основному через непружні удари з нейтральними частинами газу в процесах збудження та іонізації.

4. Рух іонів в просторі падіння потенціалу протікає іншим чином, ніж у електронів. Іони проходять кружковий темний простір в напрямку зростаючого електричного поля, при взаємодії із яким повільніше набувають прискорення, ніж електрони. Крім того, пружний поперечний переріз та втрати енергії іонів при цьому мають більше значення, ніж у електронів. Непружні втрати енергії іонів у процесі збудження та іонізації дуже малі, крім сильноаномального розряду. Зокрема, гальмування руху іонів в основному проходить в процесі перезарядження, що є важливим процесом між іоном та нейтральною газовою частинкою.

Для отримання повної реальної фізичної картини елементарних процесів та уточнення теорії розряду, що жевріє, необхідні подальші дослідження.

Актуально постає задача розробки нових методів та підходів щодо удосконалення існуючих та розроблення перспективних елементів радіонавігаційних систем [17].

Список літератури

1. Энгель А. Ионизованные газы: Пер. с англ. / Под ред. Иоффе М. С. М., Физматгиз, 1959. – 332 с.
2. Smirnov Boris M. *Theory of Gas Discharge Plasma. Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland.* – 2015. – P 423.
3. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т.1 / Под ред. В. Е. Фортнова. – М.: Наука, 2000. – 633 с.
4. Hantzsche E. Space charges heaths with electron emission// *Proc. 21 EPS Conf. Contr. Plasma Phys., Montpellier, 1994. Pt. II, p. 926- 929.*
5. Казан Ю. М., Перель В. И. – Доклады Академии Наук СССР, 1956, 108, №2, с. 222 – 225.
6. Auer P.L., Hurwitz H. Jr., Tamor S., *Theory of the cathode sheath in a low-density gas discharge. II Phys. Rev. vol. 111, A 4, 1958, p. 1017-1028.*
7. Townsend J. S. *Theory of Ionization of Gases by Collision (Classic Reprint), London Constable & Company Ltd - Gerstein – University of Toronto.* 2015. – 112 p
8. Weizel W., Rompe R. *Theorie der elektrischen Lichtbögen und Funken. - Leipzig, 1949, 340 S.*
9. Badareu E., Popescu I., Iova I. *Vorgange in den Kathodenteilen von anomalen Glimmentladungen in Helium. - Rev. Phys. Acad. RPR, 1960, v.5, N 3-4, p. 287-293.*
10. P. Mahadevan, J. K. Layton, and D. B. Medved – *Phys. Rev.* 129, 79, 1963.
11. Hantzsche E. *A hydrodynamic model of vacuum arc plasmas. IEEE Trans. Plasma Sci., 1992, v. 20, № 1, pp. 34-41.*
12. Клярфельд В. Н., Гусева Л. Г., Покровская – Соболева А.С. – *Журнал технической физики, 1966, т. 36, с. 704 – 713.*
13. Warren R. *Phys. Rev.* 1955. Vol. 98. N 6. P. 1650 – 1658.
14. Muller K., Tenschert F. *z. f. Physik, 1964, 178, N3, p. 319.*
15. В. И. Демидов, Н. Б. Колоколов, А. А. Кудрявцев. *Зондовые методы исследования низкотемпературной плазмы, М.: Энергоатомиздат, 1996, 240 с.*
16. Anderson J. M. *Ultimate and Secondary Electron Energies in the Negative Glow of a Cold Cathode Discharge in Helium. Journal of Applied Physics, 1960, 31, p. 511.*
17. Кондратьев В.С. *Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков. – М: Радио и связь, 1986. –264 с.*

Надійшла до редколегії 26.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА, КАК ЗАЛОГ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.В. Шефер

В статье рассмотрено современное состояние и инновационное видение физических процессов происходящих в электрических тлеющих разрядах, которые непосредственно связаны с радионавигационными системами. Условия создания и новейшие характеристики плазмы отрицательного излучения, в процессе взаимодействия зарядоносителей рабочего газа элементов систем радионавигации.

Ключевые слова: радионавигационная система, электрический разряд, плазма, отрицательное излучение, зарядоносители, ионизация, нормальный режим, слабоаномальный режим.

ANALYSIS OF ELECTRIC DISCHARGE PROPERTIES VARIATION MECHANISM AS AN IMPROVING KEY OF RADIO NAVIGATIONAL SYSTEMS QUALITY

O.V. Shefer

The article examines the current state and innovative view of the physical processes taking place in glowing electric discharges that directly connected with complex radio navigational system, terms of creating and new characteristics of negative radiation plasma during interaction of working gas charge carriers in elements of navigation.

Keywords: radio navigational system, electrical discharge plasma, negative radiation, charge carriers, ionization, normal mode, low abnormality mode.

Контроль повітряного і космічного простору

UDC 629,783: 004,722

E.S. Kozelkova

State University of Telecommunications, Kiev

STUDY GENERAL CASE OF SPACECRAFT SYSTEM CALCULATION WITH A GIVEN BREAK-UP

The analysis of the general case of the calculation of the spacecraft system with a given break-up.

Keywords: Zonal harmonic, Draconian period, spacecraft, circular orbits, orbital period.

We pose the problem of determining the necessary number of satellites in the system and their relative positioning at the set break of service.

Calculation spacecraft system with a predetermined gap in service can be performed, if known the following inputs:

- time to maintain the gap - t_p ;
- the minimum allowable angle of elevation above the horizon satellites - δ_{\min} or the amount of on-board equipment viewing angle - γ ;
- time service - $t_{\text{обсл}}$;
- height range in which the spacecraft can operate the system, - $r_{\text{крmin}} \cdot r_{\text{крmax}}$.

These raw data are due to constraints imposed on the work as a board, and the ground apparatus and associated with a target designation system. Then the order of calculation of the spacecraft system with a given break in service will be reduced to the next.

Assuming the radius vector values circular orbits $r_{\text{кр}}$ in the range $r_{\text{крmin}} < r_{\text{кр}} \leq r_{\text{крmax}}$. We determine the value of

$$\phi_{\text{паб}} = \phi_3 - \phi_{\text{онп}}. \quad (1)$$

By $\phi_{\text{па}}$ be the angle of inclination of the orbital plane to the equatorial plane:

- for the global service systems

$$i_{\text{max}} = 90^\circ - \phi_{\text{паб}}; \quad (2)$$

- for spot delivery systems

$$i_{\text{max}} = \phi_B - \phi_{\text{паб}}. \quad (3)$$

Given the latitude inclination i start point ϕ_n and an ejection phase length can determine the value of the argument of latitude μ_0 point O spacecraft orbit system with a given pad. With $i, \mu_0, r_{\text{кр}}$, define draconic period spacecraft system according to the formula:

$$T_{\Omega} = T \left\{ \begin{array}{l} 1 - 0,75 \cdot C_{20} \left(a_e / r_{\text{кр}} \right)^2 \times \\ \times \left[1 + 5 \cos^2 i - 6 \sin^2 \mu_0 \sin^2 i_0 \right] \end{array} \right\}, \quad (4)$$

where $T = 2\pi \sqrt{r_{\text{кр}}^3 / k}$ - star treatment period;

$C_{20} = -0,109808 \cdot 10^{-2}$ - the coefficient of the second harmonic decomposition of the zonal earth potential in a series of spherical harmonics;

$a_e = 6378 \text{ км}$ - the equatorial radius of the earth.

Define the process of spacecraft orbits units per day in view of the 2nd zonal harmonic:

$$\Delta\Omega_{\text{цт}} = \frac{3\pi\pi_2 \cos i}{kr_{\text{кр}}^2 (1 - e_0^2)^2} n, \quad (5)$$

where $\pi_2 = -1,77 \cdot 10^{25} \text{ м}^5 / \text{сек}^2$; $n = T_{3B} / T_{\Omega}$ - the number of SVs revolutions per sidereal day.

Knowing the daily care of the nodes of the orbits of spacecraft systems, determine the time required for the rotation of the Earth from the ascending node to the orbital ascending node of the orbit (the effective period of revolution of the Earth T_{eff}):

$$T_{\text{eff}} = T_{3B} (1 - \Delta\Omega_{\text{цт}} / 2\pi). \quad (6)$$

For known values of the effective period T_{eff} and Draconian period T_{Ω} . We expect interturn distance

$$\lambda_{\text{м.В}} = 2\pi \cdot T_{\Omega} / T_{\text{eff}} \quad (7)$$

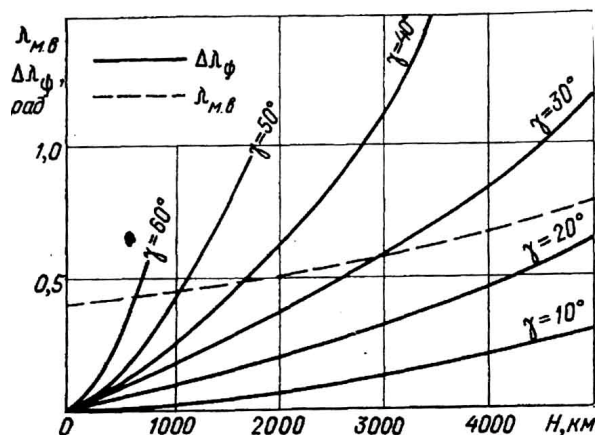


Fig. 1. Dependence for circular polar orbits for various values of the angle γ

For selected r_{kp} defined width swath $\Delta\lambda_\phi$ on the lower latitude service area. In this case, there are two possibilities:

a) there is a circular orbit height r_{kp} within a given range, where the condition

$$\Delta\lambda_\phi = \lambda_{m.B}; \quad (8)$$

b) within a predetermined range of heights condition $\Delta\lambda_\psi \geq \lambda_{m.B}$. It is not satisfied.

Fig. 1 shows the value $\lambda_{m.B}$ and $\Delta\lambda_\phi$ for circular polar orbits for different values of the angle of view of the onboard equipment γ .

Consider the first case.

If condition (8) is satisfied, it is possible to determine the angle of longitudinal discontinuity of service

$$\lambda_p = 2\pi \cdot t_p / T_{eff} \quad (9)$$

and then the required number of satellites in the system

$$N = \pi / \lambda_p \quad (10)$$

In general, the number of satellites in the system of fractional turns, so it should be rounded up to a whole in a big way:

$$N_1 = \lceil \pi / \lambda_p \rceil + 1. \quad (11)$$

Given integer units in the system determines the final time gap in service:

$$\lambda'_p = \pi / N_1 \quad (12)$$

and

$$t'_p = \lambda'_p T_{eff} / 2\pi. \quad (13)$$

The physical basis of the proposed method for calculating the SC systems with a predetermined gap in service concluded that the spacecraft system located near the Earth so that their slopes are the same. Condition (8) says that the interturn distance should always be covered by the review areas of spacecraft. If at predetermined viewing angles onboard equipment in layer heights $r_{kmin} \leq r_{kp} \leq r_{kmax}$ (8) is not satisfied (the second case), the interturn distance populated areas viewing additional spacecraft

$$n' = (\lambda_{m.B} - \Delta\lambda_\phi) / \Delta\lambda_\phi. \quad (14)$$

Moreover, if the spacecraft at a distance interturn arranged so that the argument of latitude μ for all space vehicles is the same (ie, the spacecraft separated from each other in longitudinal relation to the $\Delta\lambda_\phi$). The gaps in service are equal to a predetermined gap.

Conclusion

If the space vehicles, filling the coverage areas of one interturn spacing, are arranged in one plane and offset from each other by an angle $\Delta\omega$, The gap in the observation will differ from the calculated value by an amount $\pm\Delta T$ (where $\Delta T = \Delta\lambda_\phi \cdot T_{3B} / 2\pi$). Thus, we identify the needs of the number of satellites in the system with the specified service break.

Reference

1. Trestles S.V. Guidance system and automatic tracking of radio antenna devices SHF and EHF bands // Works STC 10 in / h 32103. Theoretical and practical aspects space and ground control groups, especially their application / MO USSR, 1989. – 223 p.
2. Volosyuk V.K., Kozelkova E.S. Analysis of principles of construction and functioning of multi-satellite network systems // System obrobki Informácie. – Kharkiv : HVU, 2004. – Vol. 12 (40). – P. 26-31.
3. Ivanov M.A. Coordination of multi-stage frequency-selective radio receivers with an input // Radio engineering / National Interdepartmental scientific and technical collection. – Kharkiv, 1983. – Vol. 65. – P. 70-73.
4. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers / Ed. G. Korn and T. Korn. – M.: Nauka, 1984. – 831 p.
5. Kozelkova Y.S., Lebedeva I.A. The choice of building a multi-satellite orbit LEO systems // Modelyuvannya that informatsiyni tehnologii. – Kyiv: National Academy of Sciences, Institut problems modelyuvannya in energetitsi named G.C. Pukhov. – 2005. – Vol.33. – P. 69-72.
6. Trestles S.V. Development of scientific and technical proposals to improve the noise immunity of the antenna-receivers missile and space systems : Dis. cand. tehn. Sciences: 20.02.14. – Kharkiv, 1991. – 187 p.

Надійшла до редколегії 18.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Вишневецький, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ВИПАДКУ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ІЗ ЗАДАНИМ РОЗРИВОМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

К.С. Козелкова

Проведено аналіз загального випадку розрахунку системи космічних апаратів із заданим розривом спостереження.

Ключові слова: зональна гармоніка, драконічний період, космічний апарат, період обертання.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩЕГО СЛУЧАЯ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЗАДАНЫМ РАЗРЫВОМ НАБЛЮДЕНИЯ

Е.С. Козелкова

Проведен анализ общего случая расчета системы космических аппаратов с заданным разрывом наблюдения.

Ключевые слова: зональная гармоника, драконический период, космический аппарат, период обращения.

А.С. Могилатенко¹, Ю.А. Данилов², М.А. Павленко³¹ Воинская часть А0593, Никополь² Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница³ Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЖАТИЯ СООБЩЕНИЙ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ**

При использовании переменной структуры выдаваемых сообщений о воздушных объектах необходимо иметь возможность восстановления на приемной стороне полного состава информационных элементов и их размера. Для этих целей предлагается использовать методы сжатия данных без потерь качества радиолокационной информации. Так как наибольшую эффективность сжатия можно обеспечить за счет максимального учета статистических особенностей сжимаемых данных, то целесообразно разработать отдельные методы сжатия для информации о качественных признаках в сообщениях о воздушных объектах, для координатной информации и для информации о скорости полета воздушных объектов.

Ключевые слова: метод, информация, сжатие.

Введение

Для передачи информации о качественных признаках в сообщениях о воздушных объектах (ВО) могут использоваться различные информационные элементы [1]. В качестве примера, в табл. 1 представлены часть таких информационных элементов, используемых в комплексе средств автоматизации систем управления воздушного движения. Из табл. 1 видно, что информационные элементы, отражающие качественные признаки радиолокационной информации (РЛИ), имеют небольшой размер. Это снижает

эффективность их представления в поле спецификации формата ASTERIX, так как для каждого элемента выделяется один заявочный бит в этом поле. Поэтому для уменьшения размера сообщений о воздушных объектах целесообразно разделить качественные признаки радиолокационной информации на группы при их представлении в поле спецификации. При этом группа признаков будет считаться изменившейся, если хотя бы один элемент в ней изменил свое значение. Сжатие информации предлагается осуществлять за счет исключения из сообщений неизменившихся групп качественных признаков.

Таблица 1

Характеристики признаков информационных элементов

Обозначение	Название	Возможные значения	Размер, бит
С	Состав ВО (кол-во возд. объектов в группе)	Неизвестно, один, два, группа	2
ГП	Признак государственной принадлежности	Свой, чужой, терпит бедствие, неопознан	2
ПП	Признак помех	Нет помех, пассивные, активные и т.д.	2
ПН	Признак новизны ВО	Новый, старый	1
ПЭ	Признак экстраполяции трассы ВО	Обновлена, экстраполирована	1
σ_{xz}	С.к.о. оценки плоскостных координат	Номера интервалов от 0 до 1000 м.	3
σ_h	С.к.о. оценки значений высоты	Номера интервалов от 0 до 500 м.	2
ПО _Н	Признак обновления значения высоты	Высота обновлена, не обновлена	1
М	Признак маневра	Нет маневра, маневр по курсу, по высоте т.д.	2

Для обеспечения максимального коэффициента сжатия при таком подходе следует разработать эффективный способ формирования таких групп. Так как изменение качественных признаков в сообщении о воздушных объектах носит вероятностный характер, то способ формирования групп должен априорно обеспечивать максимальное среднее число неизменившихся групп. Очевидно, что вероятность изменения группы признаков будет зависеть от вероятностей изменения отдельных признаков, входящих в эту группу.

Получить значения этих вероятностей можно с помощью оценки статистической вероятности собы-

тия, состоящего в том, что не произойдет изменение значения соответствующего признака между периодами обновления сообщений о воздушных объектах.

Получить такую оценку можно на основании анализа информационного потока сообщений о воздушных объектах.

При этом определить минимальное количество выборки статистических данных, достаточного для получения оценок вероятностей изменения отдельных признаков с требуемой достоверностью и точностью, можно на основе подходов, изложенных в литературе [2-4] и представленных в следующем разделе.

Результаты исследований

Сформулируем постановку задачи для разработки эффективного способа формирования групп качественных признаков в сообщениях о ВО.

Содержательная постановка задачи. Пусть в сообщении о воздушных объектах имеется n однобитовых качественных признаков с соответствующей вероятностью неизменения своих значений q_n . Необходимо так сформировать однобайтовые группы признаков, чтобы обеспечить максимум математического ожидания числа неизменяющихся групп в сообщениях о воздушных объектах. Перейдем к решению поставленной задачи.

Решение задачи. В качестве исходной посылки для решения задачи будем использовать следующее предположение: признаки с большой частотой изменения и признаки с малой частотой изменения должны быть разнесены по разным группам, чтобы часто меняющиеся признаки не влияли на сжатие других групп. Тогда для формирования таких групп предлагается произвести сортировку признаков по возрастанию вероятности неизменения их значений между периодами обновления сообщений о воздушных объектах, а затем в полученном списке выделить подряд идущие признаки в группы по байту:

$$q_1 < q_2 < \dots < q_n, [q_1, \dots, q_8], \dots, [q_{n-7}, \dots, q_n]. \quad (1)$$

Оценим оптимальность такого распределения признаков по группам. Так как признаки воздушного объекта независимы, то математическое ожидание (м.о.) m количества сокращенной признаковой информации в сообщении о воздушных объектах равно сумме математических ожиданий количества сокращенной признаковой информации в сформированных группах [2]. Так как группа признаков сокращается только в том случае, если ни один признак в ней не изменился, то м.о. количества сокращенных бит в j -той группе равно:

$$m_j = 0 \cdot P_j + 8 \cdot Q_j, \quad (2)$$

где P_j – вероятность события, состоящего в том, что в j -й группе изменится хотя бы один признак; Q_j – вероятность события, состоящего в том, что в j -й группе не изменится ни один признак:

$$Q_j = \prod_{i=1}^8 q_{ij}$$

Тогда м.о. количества сокращенной признаковой информации в сообщении равно

$$m = \sum_{j=1}^{n/8} m_j = \sum_{j=1}^{n/8} \left[8 \cdot \prod_{i=1}^8 q_{ij} \right]. \quad (3)$$

Необходимо доказать, что предложенная компоновка групп признаков обеспечивает максимум m . Это утверждение соответствует тому, что любая перестановка признаков между группами, например, $q_8 \leftrightarrow q_9$, приведет к уменьшению составляющей:

$$\sum_i \sum_j q_{ij} = [q_1 \times q_2 \times \dots \times q_8] + [q_9 \times q_{10} \times \dots \times q_{16}] + \dots + [q_{n-7} \times \dots \times q_n]. \quad (4)$$

Так, например, при перестановке признаков $q_8 \leftrightarrow q_9$ первое слагаемое в выражении (4) увеличится, а второе уменьшится, так как $q_8 < q_9$. Первое слагаемое в (4) увеличится на величину Δ_1 :

$$\Delta_1 = (q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6 q_7) q_9 - (q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6 q_7) q_8 = \prod_{i=1}^7 q_i \times (q_9 - q_8). \quad (5)$$

Второе слагаемое уменьшится на величину Δ_2 :

$$\Delta_2 = q_9 (q_{10} q_{11} q_{12} q_{13} q_{14} q_{15} q_{16}) - q_8 (q_{10} q_{11} q_{12} q_{13} q_{14} q_{15} q_{16}) = \prod_{i=10}^{16} q_i \times (q_9 - q_8). \quad (6)$$

Согласно (5) и (6) выражение (4) изменится на величину Δ :

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = \prod_{i=1}^7 q_i \times (q_9 - q_8) - \prod_{i=10}^{16} q_i \times (q_9 - q_8) = (q_9 - q_8) \times \left(\prod_{i=1}^7 q_i - \prod_{i=10}^{16} q_i \right) < 0. \quad (7)$$

Величина $\Delta < 0$ в выражении (7), так как $\left(\prod_{i=1}^7 q_i - \prod_{i=10}^{16} q_i \right) < 0$ согласно правилу сортировки признаков (1). Следовательно, м.о. количества сокращенной признаковой информации в сообщении о ВО (3) уменьшится.

Таким образом, предложенный принцип формирования групп качественных признаков по формуле (1) обеспечивает максимум математического ожидания числа неизменяющихся групп в сообщениях о ВО, что соответствует максимальной эффективности сжатия информации о качественных признаках в сообщениях о ВО [5].

В приведенных выше рассуждениях предполагалось, что размер качественных признаков информационных элементов равен одному биту. Вместе с тем, реальные признаки могут иметь и больший размер (табл. 1). Поэтому необходимо учитывать при формировании признаков групп не только вероятность неизменения признаков, но и их размер. В таких случаях предлагается использовать следующий прием: можно представить значение вероятности неизменения k -битового признака $Q^{(k)}$ в виде произведения одинаковых значений вероятностей неизменения каждого бита этого признака:

$$Q^{(k)} = \prod_{i=1}^k \sqrt[k]{Q^{(k)}} = \prod_{i=1}^k q, \quad (8)$$

где q – вероятность неизменения 1-го бита признака.

Теперь k -битовый признак можно рассматривать как k однобитовых признаков с одинаковыми вероятностями их неизменения q . Хотя вероятности неизменения битов в k -битовом признаке в общем случае не равны, но благодаря искусственно введенному равенству этих вероятностей по формуле 8,

при сортировке признаков по предложенному принципу эти k бит окажутся вместе, т.е. k -битовый признак не распадется [6-11]. Достоверность такого искусственного приема обусловлена тем, что в предложенном методе сжатия признаковой информации можно абстрагироваться от вероятности неизменения отдельных битов в k -битовом признаке, важна лишь вероятность неизменения значения этого признака. При этом можно предполагать любые значения вероятностей неизменения битов в k -битовом признаке, лишь бы их произведение было равно $Q^{(k)}$. Таким образом, k -битовый качественный признак будет отсортирован как с учетом вероятности его неизменения, так и с учетом своего размера.

Может оказаться, что при побайтном формировании признаковых групп из отсортированного списка признаков часть k -битового признака выйдет за рамки одной группы (байта) и перейдет в следующую группу. В таком случае необходимо переместить k -битовый признак в одну из групп с помощью побитного сдвига таким образом, чтобы было минимальное уменьшение м.о. количества сокращенной признаковой информации в сообщении о ВО. Конкретных рекомендаций по выбору направления перемещения k -битового признака получить не удастся, ввиду необходимости учета при этом значений q_i для каждой конкретной реализации списка признаков. Таким образом, используя оценки частоты неизменения значений признаков, представленных в табл. 1, можно сформировать следующие группы информационных элементов, имеющих размер по одному байту:

- 1)(С, ГП, ПП, ПН, ПЭ);
- 2)(σ_{xz} , σ_h , PO_H , М).

Определение достаточности выборки при оценке вероятности события по частоте. Пусть проведено n опытов, причем в X из них событие A , состоящее в том, что не произойдет изменение значения соответствующего признака между периодами обновления донесений о ВО, произошло, а в $(n-X)$ - не произошло. Частота события A равна

$$p^* = X / n. \quad (9)$$

Предполагая о том, что опыты независимы, то случайная величина X распределена по биномиальному закону с параметрами p и n . Известно, что математическое ожидание случайной величины X , распределенной по биномиальному закону, равно np , где n – число опытов, p – вероятность «успеха» (появления события A) в каждом опыте, а дисперсия с.в. X равна npq , где $q = 1 - p$. С.в. X можно представить как:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i, \quad (10)$$

где X_i – индикатор события A в i -м опыте:

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-м опыте } A \text{ произошло;} \\ 0, & \text{если в } i\text{-м опыте } A \text{ не произошло, } i = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Из центральной предельной теоремы известно, что при достаточно большом n сумма n независимых случайных величин распределена приблизительно нормально; значит с.в. X можно считать распределенной по нормальному закону с параметрами при \sqrt{npq} . Ее линейная функция $p^* = X/n$ имеет также нормальное распределение с параметрами:

$$m_{p^*} = M[p^*] = p, \quad (11)$$

$$\sigma_{p^*} = \sqrt{D[p^*]} = \sqrt{D_x / n^2} = \sqrt{pq / n}. \quad (12)$$

Из того, что математическое ожидание частоты p^* события A равно p , следует, что p^* является несмещенной оценкой для p (то, что эта оценка состоятельна, следует из теоремы Бернулли).

Чтобы оценить точность приближенного равенства $p \approx p^*$ необходимо найти вероятность того, что ошибка этого равенства не превысит ε :

$$P\{|p^* - p| < \varepsilon\} = 2\Phi\left(\varepsilon / \sigma_{p^*}\right) = 2\Phi\left(\varepsilon \cdot \sqrt{n} / \sqrt{pq}\right). \quad (13)$$

Так как вероятность p заранее неизвестна, то из положения можно выйти заменив в формулах (12), (13) вероятность p ее приближенным значением p^* , а вместо q подставив $1-p^*$. Тогда формула (13) приближенно запишется в виде:

$$P\{|p^* - p| < \varepsilon\} \approx 2\Phi\left(\frac{\varepsilon \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{p^* q^*}}\right). \quad (14)$$

Используя формулу (14) можно определить количество необходимых опытов для получения оценки параметров биномиального распределения с требуемой точностью и достоверностью следующим образом.

На первом этапе по результатам произвольного числа k опытов определяется значения p^* и q^* . Подставив их в формулу (14) при заданных ε и p можно получить искомое число опытов n .

На втором этапе, после проведения необходимого числа опытов может понадобиться новая проверка точности определения вероятности по частоте, так как будет получено вобщем случае уже другое значение частоты p^* , отличное от наблюдаемого в ранее проведенных опытах. При этом, может оказаться, что число опытов все еще недостаточно для обеспечения необходимой точности, и его придется увеличить.

Для избегания итерационного процесса поиска достаточного размера выборки можно воспользоваться приближенными расчетами, приведенными в [4]. В этой работе решается задача определения объема выборки, чтобы любой неизвестный заранее параметр биномиального распределения мог быть оценен с заданной точностью при требуемой

достовірності $(1-\alpha)$, т.е. задачасостоит в том, чтобы найти такое n_0 , при котором $n \geq n_0$:

$$\min_p P\{|k/n - p| < \varepsilon\} \geq 1 - \alpha, \quad (15)$$

где k – число успехов в n испытаниях Бернулли, ε , α – заданные малые числа.

Минимальные значения объемов выборки n_0 , обеспечивающие оценивание параметров биномиального распределения частотой успехов с заданной точностью ε и надежностью $(1-\alpha)$, и значения n_0 , для которых при $n > n_0$ гарантируется заданная точность, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения объемов выборки
при биномиальном распределении

$1-\alpha$	$\varepsilon=0,1$		$\varepsilon=0,5$	
	\bar{n}_0	n_0	\bar{n}_0	n_0
0,55	20	20	60	70
0,60	20	25	80	80
0,70	30	35	110	120
0,80	45	45	170	180
0,90	70	75	280	280
0,95	100	100	390	400
0,96	110	110	430	440
0,97	120	125	480	480
0,98	140	140	550	550
0,99	170	170	670	680

Выводы

Метод сжатия информации о качественных признаках в сообщениях о воздушных объектах предусматривает следующую последовательность действий: группирование качественных признаков по одному байту из списка сортировки (1); установление каждой группе заявочного бита в поле спецификации сообщения в формате ASTERIX; исключение из сообщения неизменившейся группы признаков; восстановление на приемной стороне исключенных групп по предыдущему сообщению по данному воздушному объекту. Если применение данного метода не позволяет достичь требуемого сжатия

радиолокационной информации, то необходимо дополнительно осуществлять сжатие других информационных элементов. Целесообразно в таких случаях использовать в первую очередь менее сложный и более эффективный метод сжатия радиолокационной информации.

Таким методом является сжатие информации о скорости полета воздушного объекта.

Список литературы

1. Eurocontrol standard document for radar dataexchange, Part 1 - All Purpose Structures- Eurocontrol Radar Information Exchange (ASTERIX), (Ref: SUR.ET1 .STD05.2000 - STD-01-01), November 1997, 59 p.
2. Вентцель Е.И. Теория вероятностей: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
4. Петрович М.Л., Давидович М.И. Статистическое оценивание и проверка гипотез на ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 191 с.
5. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Издательство КВЦ, 2000. – 428 с.
6. Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Ропици В.А. Приближенные методы решения дискретных задач оптимизации. – К.: Наукова думка, 1980. – 276 с.
7. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженеров. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
8. Кориунов Ю.М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.
9. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.
10. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
11. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 384 с.

Надійшла до редколегії 17.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

РОЗРОБКА МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ ПРО ПОВІТРЯНІ ОБ'ЄКТИ

А.С. Могілатенко, Ю.А. Данилов, М.А. Павленко

При використанні змінної структури вихідних повідомлень про повітряні об'єкти необхідно мати можливість відновлення на приймальному боці повного складу інформаційних елементів і їх розміру. Для цих цілей пропонується використовувати методи стиснення даних без втрат якості радіолокаційної інформації. Так як найбільшу ефективність стиснення можна забезпечити за рахунок максимального врахування статистичних особливостей стискаються даних, то доцільно розробити окремі методи стиснення для інформації про якісні ознаки в повідомленнях про повітряні об'єкти, для координатної інформації і для інформації про швидкість польоту повітряних об'єктів.

Ключові слова: метод, інформація, стиснення.

DEVELOPMENT COMPRESSION TECHNIQUES REPORTS OF AIRCRAFT OBJECTS

A.S. Mohilatenko, Y.A. Danilov, M.A. Pavlenko

When using variable structure issued reports of aerial objects must be able to recover at the receiving end of the whole information elements and their size. For these purposes it is encouraged to use methods of data compression without loss of quality of radar data. Since the highest compression efficiency can be achieved by maximizing account of statistical characteristics of compressed data, it is advisable to develop a separate compression techniques for information about the qualitative characteristics in the reports of aerial objects, to coordinate information and information on flight speed air targets.

Keywords: method, information, compression.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ

В статті наводиться оцінка якості інформаційного забезпечення споживачів даними ідентифікаційної системи як одного із головних інформаційних ресурсів системи контролю повітряного простору.

Ключові слова: інформаційне забезпечення, системи спостереження

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Головним інформаційним ресурсом (ІР) системи КПП є первинні та ідентифікаційні системи спостереження (СС), обробка даних (ОД) яких і є основою для прийняття рішень [1, 2]. Дійсно первинні СС надають інформацію «де» знаходиться повітряний об'єкт (ПО), а система ідентифікації (СІ) «хто» він.

Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління яка надається зазначеним ІР.

Метою роботи є оцінка якості інформаційного забезпечення системами ідентифікації.

Основна частина

Інформаційні здатності СІ будемо характеризувати імовірністю виявлення ПО P_c , яку визначають як імовірність отримання потрібного числа СВ на запити СІ, яка розглядається. Розглянемо залежність цього показника P_c від інтенсивності потоку сигналів запиту (СЗ).

Наземний радіозапитувач прийме СВ від літакового відповідача (ЛВ) тоді і тільки тоді, якщо одночасно відбудуться дві події:

- ЛВ прийме, правильно декодує СЗ і сформує СВ (імовірність цієї події дорівнює коефіцієнту готовності ЛВ P_0);
- сигнал відповіді ЛВ прийме та виявить наземний радіозапитувач (НРЗ).

Розглянемо імовірності цих двох подій при наявності завад та проаналізуємо імовірність одночасного їх виконання.

Слід зазначити, що ЛВ СІ є відкритою одноканальною системою масового обслуговування з відмовами[3]. Після прийому СЗ ЛВ закривається на час паралізації котрий достатньо великий для режиму імітостійкої ідентифікації.

Будемо вважати, що сумарний потік завад утворюється потоком СЗ сусідніх СІ, потоком навісних корельованих завад від зацікавленої сторо-

ни та потоком хаотичних імпульсних завад. Розрахунки проведемо для сумарного потоку СЗ імітостійких режимів і для існуючих алгоритмів виявлення ПО.

Вплив потоку СЗ призводить до паралізації ЛВ на час паралізації, який визначається СЗ. Хаотична імпульсна завада (нависна або ненависна) впливає на роботу ЛВ двобічно:

- по-перше, подавляє окремі імпульси СЗ, що робить неможливим обслуговування даного СЗ;
- по-друге, паралізує ЛВ через утворення хибних СЗ (хибна тривога першого та другого роду).

Оцінимо завадостійкість ЛВ при впливі вказаних завад. При надходженні на вхід ЛВ потоків СЗ і хаотичних імпульсних завад (ХІЗ) відповідач не сформує СВ, якщо станеться хоча б одна з таких несприятливих ситуацій:

- СЗ даного запитувача подавиться через утворення з ХІЗ випереджаючих хибних СЗ, які призводять до випромінювання СВ або спрацьовування схеми ПБП (позначимо імовірність даної ситуації P_1);
- сигнал запиту даного запитувача подавиться через випереджаючі СЗ сусідніх запитувачів або запитувачів зацікавленої сторони (позначимо імовірність цієї ситуації P_2).

Визначимо імовірності цих подій в припущенні, що потоки СЗ і ХІЗ впливають на коди СЗ даного запитувача незалежно один від одного і кількість джерел, що формують загальний потік СЗ, достатня для характеристики потоку як пуасонівського.

Нехай на вхід відповідача поступають:

- потік ХІЗ інтенсивністю λ_0 ;
- потік СЗ інтенсивністю, який включає потік СЗ сусідніх запитувачів і потік СЗ, імітованих зацікавленою стороною λ_1 ;
- потік СЗ, які викликають спрацьовування схеми подавлення бічних пелюсток, інтенсивністю λ_2 .

Припустимо також, що загальні потоки СЗ складаються з k частин неімітостійкого режиму та $(1 - k)$ частин імітостійкого режиму.

Сумісна дія ХІЗ і потік СЗ призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів ПСЗ

при несприятливих фазових співвідношеннях, внаслідок чого інтенсивність потік СЗ зменшується.

Імовірність того, що хоча б один імпульс ХІЗ збіжиться за часом з імпульсом потоку СЗ і подасть його, становить

$$P_p = \gamma [1 - e^{-\lambda_x \tau_p}],$$

де γ – коефіцієнт інтерференційного подавлення, який визначає імовірність інтерференційного подавлення імпульсу прийнятого СЗ при його збіжності за часом з імпульсом завади.

Через високочастотне подавлення зменшується інтенсивність потоку СЗ, які викликають випромінювання СВ:

$$\lambda_{11} = \lambda_1 (1 - P_p)^n,$$

та інтенсивність ПСЗ, які викликають спрацювання схеми ПБП:

$$\lambda_{21} = \lambda_2 (1 - P_p)^n,$$

де n – кількість імпульсів у СЗ.

Імовірність того, що хоча б один СЗ потрапить в випереджаючий інтервал і подасть СЗ даної СІ за рахунок часу паралізації t_1 ЛВ в неімітостійкому режимі при випромінюванні СВ, визначається відповідно:

від ХІЗ:

$$P_{11} = 1 - e^{-\lambda_x t_1},$$

від ПСЗ:

$$P_{12} = 1 - e^{-\lambda_2 t_1},$$

де λ_x – середня кількість хибних n -імпульсних кодів, що призводять до випромінювання СВ.

Середню кількість хибних n -імпульсних кодів, які призводять до випромінювання СВ, можна визначити за формулою

$$\lambda_x = m \tau_0^n \lambda_0^{n-1} \left(1 - \frac{\tau_s}{\tau_0}\right),$$

де τ_s – тривалість селекції імпульсів за часом.

Імовірність того, що хоча б один СЗ потрапить в випереджаючий інтервал і подасть СЗ даної СІ за рахунок часу паралізації t_2 ЛВ в імітостійкому режимі при випромінюванні СВ, визначається відповідно:

від ХІЗ:

$$P_{13} = 1 - e^{-\lambda_x t_2},$$

від ПСЗ:

$$P_{14} = 1 - e^{-\lambda_2 t_2}.$$

Результуюча імовірність подавлення СЗ даного запитувача системи через паралізацію відповідача при випромінюванні СВ складає

$$P_1 = \prod_{i=1}^4 (1 - P_{1i}). \quad (1)$$

Тут і далі розрахунки проведено за умови, що інтенсивність λ_2 ПСЗ, випромінюваних по бічним

пелюсткам ДС антени запитувача, в три рази перевищує інтенсивність λ_0 ПСЗ, випромінюваних по основних пелюстках діаграм спрямованості антени запитувача. Імовірність P_2 того, що хоча б один СЗ попаде в випереджаючий інтервал і подасть СЗ даної запитальної СС за рахунок часу паралізації t_3 ЛВ при спрацюванні схеми ПБП в неімітостійкому режимі, визначається відповідно:

від ХІЗ:

$$P_{21} = 1 - e^{-\lambda_x t_3},$$

від ПСЗ:

$$P_{22} = 1 - e^{-\lambda_2 t_3}.$$

Імовірність того, що хоча б один СЗ попаде в випереджаючий інтервал і подасть СЗ даної запитальної СС за рахунок часу паралізації t_4 ЛВ при спрацюванні схеми ПБП в імітостійкому режимі, визначається відповідно:

від ХІЗ:

$$P_{23} = 1 - e^{-\lambda_x t_4};$$

від ПСЗ:

$$P_{24} = 1 - e^{-(1-k)\lambda_2 t_4}.$$

Результуюча імовірність подавлення СЗ даного запитувача запитальної СС через паралізацію відповідача при прийманні СЗ по бічних пелюстках ДС антени запитувача становить

$$P_2 = \prod_{i=1}^4 (1 - P_{2i}). \quad (2)$$

Якщо середня кількість СЗ перевищує припустиму величину завантаження відповідача λ_m , то імовірність відповіді при роботі схеми обмеження завантаження ЛВ зменшується і становить

$$P_{lv} = \frac{\lambda_m}{\lambda_3},$$

де $\lambda_3 = \lambda_1 + \lambda_2$.

Використав (1) та (2) імовірність випромінювання відповіді ЛВ на запит даної запитальної СС можливо записати:

$$\text{при } \lambda_3 < \lambda_3 P_0 = (1 - P_1)(1 - P_2),$$

$$\text{при } \lambda_3 > \lambda_3 P_0 = P_{lv} [(1 - P_1)(1 - P_2)].$$

Розрахунки за наведеними виразами наведені на рис. 1. При цьому вважали, що інтенсивність потоку ХІЗ

$$\lambda_0 = 0,2 \cdot 10^4; 4 \cdot 10^4,$$

а інтенсивність λ_1 ПСЗ, які призводять до випромінювання СВ, в п'ять разів менше інтенсивності λ_2 потоку СЗ, які викликають спрацювання схеми подавлення бічних пелюсток.

З наведених результатів можна зробити такі висновки:

- збільшення інтенсивності потоку СЗ призводить до різкого зниження коефіцієнта готовності

ЛВ; дійсно, з рис. 1 видно, що постановка навмисної корельованої завади інтенсивністю 5000 призводить до зниження КГ ЛВ з 1 до 0,3.

- некорельовані завади (ХІЗ) порівняно слабо впливають на КГ ЛВ.

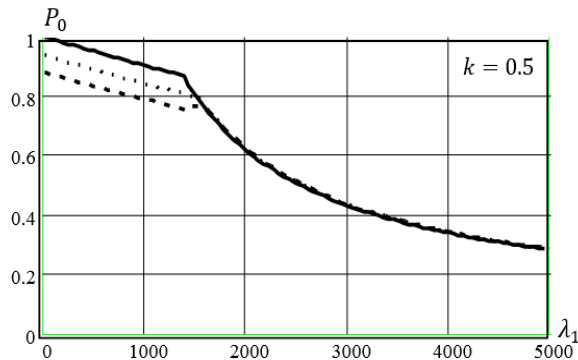


Рис. 1. Оцінка КГ ЛВ

Таким чином, наведена оцінка КГ ЛВ вказує на низьку стійкість ЛВ до впливу навмисних корельованих завад і дозволяє інформаційні здібності ЛВ.

Проведемо оцінку якості ІЗСІ у цілому.

Будемо вважати, що апаратура оброблення запитувача реалізує двоетапний алгоритм квазіоптимального виявлення пачки СВ, а коефіцієнт готовності ЛВ постійний в межах всієї пачки СВ. На вхід приймача НРЗ надходить потік СВ.

При відсутності завад імовірність виявлення пачки СВ запитувачем, а тобто ПО СІ, при застосуванні логіки "k із M" визначається за такою формулою:

$$P_{i0} = \sum_{i=k}^M C_M^i P_0^i (1 - P_0)^{M-i}.$$

Залежність імовірності виявлення ПО P_{i0} СІ від інтенсивності λ_2 ПСЗ, які призводять до випромінювання СВ, наведено на рис. 2.

При розрахунках вважали, що інтенсивність λ_1 потоку СЗ, які призводять до випромінювання СВ, в п'ять разів менше інтенсивності λ_2 потоку СЗ, які викликають спрацювання схеми ПБП.

З рис. 2 видно, що збільшення інтенсивності потоку СЗ при несанкціонованому використанні відповідачів призводить до суттєвого зниження імовірності виявлення ПО СІ. Так, для коефіцієнта неімітостійкості $k = 0,5$ збільшення інтенсивності ПСЗ λ_1 до 5000 призводить до зниження P_{i0} до 0,2. Практично це вказує на можливість повної паралізації існуючої СІ при несанкціонованому використанні відповідачів зацікавленою стороною.

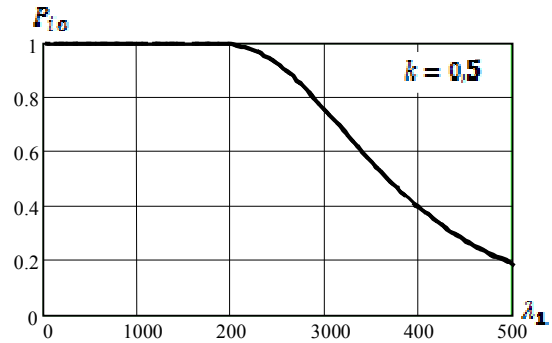


Рис. 2. Імовірність ідентифікації ПО

Висновок

Наведені розрахунки показали низьку якість ІЗ користувачів СІ за рахунок можливого впливу на таку систему навмисних корельованих завад.

Список літератури

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб.: Политехника, 2004.
2. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А.Фарина, Ф.Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.
3. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусович. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – 270 с.

Надійшла до редколегії 13.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук професор. О.А.Сєрков, Національний технічний університет «ХП», Харків.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ИДЕНТИФИКАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

И.В. Свид, А.И. Обод

The article provides an assessment of the quality of information supply to consumers of data of the identification system as one of the main information resources of the airspace control system.

Ключевые слова: информационное обеспечение, системы наблюдения.

EVALUATION OF THE QUALITY OF INFORMATION SUPPORT FOR CONSUMERS OF AIRSPACE CONTROL SYSTEM BY IDENTIFICATION SYSTEMS

I.V. Svyd, A.I. Obod

The article, based on the consideration of issues of primary, secondary and tertiary processing of data, developed structure of information processing technology of air space surveillance systems.

Keywords: information support, surveillance systems.

Питання управління в складних системах

УДК 62-1/-9

В.С. Басюк

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

СИСТЕМЫ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ РОБОТОВ

В настоящее время задача управления по силе это серьезная научно-техническая проблема, которая охватывает много отраслей и прежде всего важна именно для робототехники. При решении этой проблемы первые существенные результаты были получены при создании копирующих манипуляторов, в которых был реализован эффект отражения усилия. В ходе развития современной робототехники и появления осязаемых роботов с адаптивным управлением наступила очередь их силового осязания для освоения в автоматическом режиме различных операций, требующих приложения усилия или просто контроля его величины.

Ключевые слова: *силомоментное осязание, управление, манипулятор, системы, робот.*

Введение

Назначение роботов как аналогов человека предполагает развитое их взаимодействие с внешней средой путем выполнения различных действий с объектами этой среды. Основным средством для этого служат манипуляторы. Чтобы выполнять эти функции система управления манипулятора должна получать информацию о его положении, перемещении и силовом взаимодействии с внешней средой, т. е. иметь средства осязания – соответствующие сенсоры.

В настоящее время существуют различные системы управления манипуляторами с силовым осязанием: копирующие манипуляторы и манипуляторы с управлением от задающих рукояток с отражением усилий, разного типа системы супервизорного и автоматического управления. Указанные системы они основаны на различных способах учета и организации силового взаимодействия с объектами внешней среды и имеют разное аппаратное и программное обеспечение. Однако проблема силового осязания и управления, по-прежнему, продолжает оставаться одной из актуальных проблем в робототехнике.

Несмотря на серьезные достижения робототехники последних лет, реально используемые роботы (промышленные, экстремальные, космические) все еще очень далеки от устройств с искусственным интеллектом. Еще долго будут существовать операции, которые не удастся автоматизировать или выполнять более качественно, чем это делается под управлением человека-оператора. Так, например, в ряде сборочных процессов, которые выполняются автоматически, имеются отдельные операции, реа-

лизуемые пока только в режиме управления непосредственно от человека-оператора. При управлении космическими манипуляторами также особо ответственные операции выполняются в таком автоматизированном режиме. То же относится к выполнению различных опасных операций в других экстремальных условиях.

Анализ последних исследований и публикаций. Даже для выполнения самой простой операции взятия и переноса какого-либо предмета, особенно хрупкого, необходимо помимо координат схвата манипулятора контролировать усилие захвата, чтобы с одной стороны не повредить, а с другой не упустить этот предмет. Тем более необходима информация об усилии для выполнения более сложных силовых операций. Таким образом, в общем случае для управления манипуляторами необходимо использовать два вида информации – о положении рабочего органа и о силе взаимодействия его с объектами внешней среды. Что касается первой задачи, то она еще до робототехники получила решение, в частности, например, в станкостроении. Совершенно другая ситуация с задачей управления по силе. Это оказалось серьезной научно-технической проблемой и прежде всего именно для робототехники. Первые существенные результаты силомоментного осязания роботов были получены при создании копирующих манипуляторов, в которых был реализован эффект отражения усилия. Он заключается в том, что оператор, перемещающий задающий манипулятор, ощущает своей рукой противодействующее усилие, пропорциональное усилию, с которым рабочий орган исполнительного манипулятора действует на объекты внешней среды. Для получения такого эффекта первоначально были использованы

синхронные передачи между степенями подвижности задающего и исполнительного манипуляторов, а затем следящие системы с датчиками момента на исполнительных и задающих осях степеней подвижности.

Изложение основного материала

После создания систем управления манипуляторами с помощью задающих рукояток в них для выполнения силовых операций было введено управление по вектору силы, а для получения эффекта отражения усилия – обратная связь по силе, развиваемой рабочим органом исполнительного манипулятора. В ходе развития современной робототехники и появления осязательных роботов с адаптивным управлением наступила очередь их силового осязания для освоения в автоматическом режиме различных операций, требующих приложения усилия или просто контроля его величины. К таким операциям относятся:

- манипуляционные операции механической обработки;
- сборочные операции;
- действия с различными органами управления;
- манипуляционные операции с хрупкими и легко деформируемыми объектами, включая людей.

Кроме того, силовое осязание манипуляторов необходимо при ощупывании предметов и для предотвращения ударов о препятствия. Для этих целей часто возможно так же применение более простых тактильных датчиков, которые могут рассматриваться как простейший вариант датчика силы. Наконец, для мобильных роботов силовое осязание может требоваться для оснащения различного навесного оборудования, требующего такого осязания (нож бульдозера и т.п.), и в системах передвижения. В последнем случае типовыми применениями силового осязания являются силомоментное управление движением, применение датчиков силы в системах предотвращения удара об объекты внешней среды и, конечно, силовое осязание ног (педипуляторов) шагающих систем передвижения.

В последнем случае применяется позиционно-силовое управление, аналогичное такому управлению манипуляторов. Наиболее общим подходом к решению задач выполнения операций, требующих силового осязания, является комбинированное автоматическое и автоматизированное (в основном с помощью задающих рукояток) позиционно-силовое управление. Такой подход помимо возможности подключения человека, когда пасует автоматика, позволяет непрерывно наращивать возможности последней по мере отработки соответствующих алгоритмов при управлении от человека и обучению им систем автоматического управления [1].

Наиболее сложная силовая информация необходима для управления манипуляторами в силу того, что здесь может потребоваться осязание по большему числу степеней подвижности рабочего органа манипулятора. В самом общем случае это три составляющих вектора силы и три момента по углам ориентации. Поэтому часто применяется термин “силомоментное” осязание. В предельно простом случае такое осязание может быть ограничено только одним линейным усилием или моментом по одной угловой координате. Например, это относится к операции зачистки плоской поверхности или внутренней поверхности цилиндра. Функциональная схема соответствующей системы осязания имеет типовую структуру, включающую собственно датчики силы (момента), преусилитель и блок обработки информации, где осуществляется необходимое преобразование выходного сигнала датчика.

Конечно, главным элементом системы силового осязания являются датчики силы, выдающие первичную информацию о силе(моменте). Принцип действия большинства этих датчиков основан на использовании упругого элемента, деформирующегося под действием усилия, и определении величины этой деформации как его меры. Величина деформации в свою очередь определяется с помощью различных датчиков, преобразующих перемещение в электрический сигнал, чаще всего фотоэлектрических, пьезоэлектрических, тензорезистивных.

Одними из наиболее точных и чувствительных таких преобразователей являются фотоэлектрические.

Существует три основных варианта размещения силомоментных датчиков на манипуляторе: в шарнирах манипулятора, у рабочего органа и непосредственно на рабочем органе.

Наряду с устройствами непосредственного определения силы существуют так же различные косвенные способы оценки силы с помощью вычислительных устройств, так называемых наблюдателей. Например, развиваемый электрическим двигателем момент можно оценить по величине тока питания. По этим данным с помощью математической модели механической системы манипулятора может быть рассчитано результирующее усилие в рабочем органе манипулятора.

Предложены различные алгоритмы и схемы наблюдателей, которые дают оценку этого усилия. При невысоких требованиях к точности определения усилия такие устройства могут быть предпочтительнее датчиков силы, т. к. они существенно дешевле и проще, не требуют вмешательства в конструкцию манипулятора. Наблюдатели могут также применяться в комбинации с силомоментными датчиками.

Применение наблюдателей силы – сравнительно новое направление в робототехнике. Известны три их основных типа, основанные на использовании разных математических моделей манипулятора:

- полной модели манипулятора с приводами;
- модели без системы приводов с использованием датчиков соответствующих промежуточных переменных;

- модели, подстраиваемой по рассогласованию с показателями датчиков реального манипулятора.

Для всех вариантов наблюдателей основное очевидное условие, определяющее точность оценки силы, — это адекватность используемой математической модели манипулятора. Поэтому последняя должна периодически подстраиваться. Одним из способов такой подстройки является использование моделей на базе обучаемых нейронных сетей. На рис. 1 показана соответствующая схема наблюдателя.

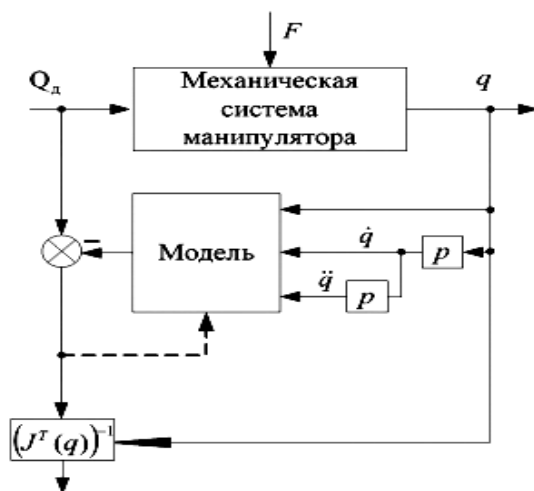


Рис. 1. Наблюдатель силы на основе нейронной сети
 F – внешние возмущающие силы
 Q_d – внутренние возмущающие силы
 q – координаты звеньев манипулятора
 $(J^T(q))^{-1}$ – обратная матрица

Здесь пунктирной стрелкой показан канал подстройки модели, который включается до начала силового взаимодействия с внешней средой, т. е. при $F = 0$. В этом режиме равенство нулю сигнала подстройки означает идентичность модели самому манипулятору. Рассмотренный способ оценки силового взаимодействия манипуляторов с объектами внешней среды при помощи наблюдателей примерно вдвое уступает современным датчикам силы по точности и быстродействию. Это ограничивает возможную область применения этого привлекательно своей простотой и дешевизной способа силового очувствления. Перспективы развития систем с наблюдателями силы соответственно связаны прежде всего с повышением точности и быстродействия используемых в них наблюдателей, в том числе пу-

тем совершенствования способов подстройки, а также использования дополнительных датчиков промежуточных переменных [2].

Силовое очувствление манипуляторов роботов, требуется, прежде всего, для обеспечения позиционно-силового способа управления его степенями подвижности. Во-первых, это может осуществляться путем раздельного управления по силе и по перемещению различными степенями подвижности. Например, на операциях зачистки или шлифовки поверхности по направлению, перпендикулярному этой поверхности, осуществляется управление по силе, а по остальным – позиционное управление, обеспечивающее ее сканирование. Более общим является совместное позиционно-силовое управление по одним и тем же степеням подвижности, обеспечивающее силовое воздействие на объект внешней среды в функции от перемещения или, наоборот.

При управлении манипулятором от человека-оператора с помощью задающих рукояток силовое очувствление требуется для этих рукояток. Как выше отмечено, в этом случае сигналы от составляющих вектора контролируемого усилия подаются на приводы соответствующих степеней подвижности задающей рукоятки, обеспечивая тем самым ощущения оператором этого усилия. Рукоятка представляет собой трехстепенный карданный подвес, связанный с шестистепенным тензодатчиком, тремя потенциометрами и тремя моментными загрузителями, создающими эффект отражения усилий. Задающий сигнал управления перемещениями формируется тензодатчиками, а углами – потенциометрами.

Устройство обеспечивает регистрацию трех линейных и трех ориентирующих координат в пространстве, ограниченном кубом со стороной 30 см. Особенность использования силового очувствления в системах управления передвижением мобильных роботов, по сравнению с управлением манипуляторами, состоит в том, что основным способом такого управления является не позиционно-силовое, а скоростно-силовое управление как у всяких транспортных систем с переходом к позиционно-силовому управлению только на этапах остановки.

При разработке систем силомоментного очувствления в подавляющем большинстве случаев используется принцип определения усилия посредством измерения тензорезисторами упругих деформаций специально сконструированного упругого элемента датчика. Созданы образцы пятикомпонентных силомоментных датчиков, которые предназначены для установки в схвате сборочного робота. Пятикомпонентный датчик состоит из силоизмерительного упругого элемента с наклеенными фольговыми тензорезисторными мостами, усилителя, коммутатора [2].

Силомоментные сенсорные устройства используются в промышленных роботах главным образом для определения реактивных сил и моментов, возникающих при механической сборке. Они размещаются непосредственно в губках захватного устройства либо в сочленении между последним звеном и захватом манипулятора, а также при необходимости и в других сочленениях манипуляционной системы.

Преобразование действующих нагрузок в электрические сигналы в силомоментных устройствах осуществляется обычно двумя способами. Первый из них заключается в непосредственном измерении упругих деформаций чувствительных элементов с помощью тензорезисторных, пьезоэлектрических или магнитоупругих датчиков. Второй способ основан на измерении величин микроперемещений калиброванных пружин датчика, деформируемых под действием внешних нагрузок в процессе взаимодействия робота с объектом. Наибольшее распространение получил метод непосредственного измерения упругих деформаций с помощью полупроводниковых или проводниковых тензорезисторов, которые имеют простую конструкцию, достаточно надежны, легко монтируются на упругих элементах силомоментных устройств, обеспечивают требуемую точность.

Система силомоментного очувствления состоит из механической части, представляющей собой совокупность упругих элементов с размещенными на них датчиками (собственно чувствительное устройство), формирующими электрические сигналы, пропорциональные упругим деформациям; усилительной и коммутирующей аппаратуры и вычислительного блока (компьютера), являющегося структурной составной частью информационно-управляющей системы (ИУС) робота.

Выводы

Системы силомоментного очувствления для роботов имеют не меньшее значение, чем органы чувств для живых существ. И это значение возрастает по мере развития интеллектуальных возможностей роботов. Для очувствления роботов наиболее широкое применение получили системы технического зрения, локационные, силомоментные и тактильные системы. Самыми универсальными из них являются системы технического зрения.

Требования, предъявляемые к сенсорным системам, существенно зависят от того уровня системы управления, на котором используется их информация. В частности, наибольшее быстродействие должны иметь сенсорные системы, используемые на уровнях управления, функционирующих в реальном времени, с неизбежным при этом упрощением этой информации. Наоборот, на стратегическом уровне управления поведением робота требуется наиболее полная информация в ущерб, возможно, быстродействию.

Список литературы

1. Попов А.В. Роботы с силовым очувствлением / А.В. Попов, Е.И. Юревич. – СПб.: Астерион, 2013. – 320 с.
2. Юревич Е.И. Сенсорные системы в робототехнике : учеб. пособие / Е.И. Юревич. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 100 с.
3. Афонин В.Л. Интеллектуальные робототехнические системы. Курс лекций. Учебное пособие / В.Л. Афонин, В.А. Макушкин. – М.: ИУИТ, 2005. – 208 с.
4. Управление робототехническими системами с силомоментным очувствлением. Учеб. пособие / Под ред. проф. И.Н. Егорова. – Владимир: ВлГУ, 2005. – 263 с.

Надійшла до редколегії 2.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Цимбал, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

СИСТЕМИ СИЛОМОМЕНТНОГО ПРИВОДУ ДО ПОЧУТТІВ РОБОТІВ

В.С. Басюк

Завдання управління по силі це серйозна науково-технічна проблема і передусім саме для робототехніки. При вирішенні цієї проблеми перші істотні результати були отримані при створенні копіюючих маніпуляторів, в яких був реалізований ефект відображення зусилля. В ході розвитку сучасної робототехніки і появи роботів з почуттями адаптивним управлінням настала черга їх силового приводу до почуттів для освоєння в автоматичному режимі різних операцій, що вимагають докладання зусилля або просто контролю його величини.

Ключові слова: управління силомоментного приводу до почуттів, маніпулятор, системи.

SYSTEMS OF STRONG MENTAL FEELING OF ROBOTS

V.S. Basiuk

The task of power management is a serious scientific and technical problem, and first of all for robotics. When solving this problem, the first significant results were obtained when creating copying manipulators in which the effect of reflection of forces was realized. In the course of the development of modern robotics and the production of sensitive robots with flexible control for their power sensitivity to master the automatic operation of various operations that require effort or simply control its magnitudes.

Keywords: force-torque sensing, manipulator, system, robot.

УДК 681.5

А.І. Бронніков, О.М. Цимбал, А.М. Сінотін

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

МЕХАТРОНІКА У ОСВІТНЬОМУ ТА ЗАГАЛЬНОНАУКОВОМУ КОНТЕКСТІ

Розглядаються загальні поняття мехатронних систем та основні модулі вивчення даної спеціальності у вищих навчальних закладах в контексті сучасної інженерної науки.

Ключові слова: мехатроніка, моделювання, робототехніка, механіка.

Вступ

Хоча мехатроніка не є новою наукою, у освітніх колах до сих пір точаться суперечки, стосовно її місця у інженерній галузі, стосовно складових її освітнього вмісту.

На сьогодні у спеціальній літературі існує думка, що поява мехатроніки є природним результатом еволюційного процесу сучасної інженерної науки. Розвиток комп'ютерів, а опісля і мікрокомп'ютерів, вбудованих систем, програмних та апаратних технологій, які пов'язані з ними, зробив мехатроніку однією з пріоритетних галузей кінця XX і початку XXI століття.

В очікуванні інтегрованих біоелектромеханічних систем, квантових комп'ютерів, нано- і піко-систем, інших ще непередбачуваних розробок, майбутнє мехатроніки є сповненим потенціалу і неочікуваних можливостей.

Для проектування мехатронних систем вирішальне значення має взаємодія для реалізації функцій в механічній та електронній частини. У порівнянні з чистими механічними реалізаціями використання підсилювачів і виконавчих механізмів з електричної допоміжної енергією призвело до значних спрощень в пристроях. Подальше значне спрощення в механіці було пов'язано з впровадженням мікрокомп'ютерів в зв'язку з децентралізованими електроприводами, що можна побачити на електронних друкарських машинах, швацьких машинах, багатовісних системах обробки і автоматичних механізмах.

1. Поняття мехатроніки та її складових

Класичне визначення мехатроніки з'явилося ще у 1969 році і виходить з комбінування «меха» - механізму і «троніка» - з електроніки. Таким чином мехатроніка означає зростаюче впровадження електроніки у механічні системи у максимально органічно близький спосіб, коли незалежне існування окремих частин є практично неможливим і втрачає сенс [1].

Більш пізнє визначення 1996 року називає мехатронікою синергетичне поєднання механічної інженерії, електроніки та інтелектуальних системам

керування у розробці та виробництві промислових виробів та процесів [2].

Інше визначення вказує на мехатронну систему як не тільки поєднання електричної та механічної систем з системою керування, а як повну інтеграцію усіх цих компонентів [1].

З практичної інженерної точки зору мехатроніка не є чимось новим. Багато інженерних проектів останніх 25 років інтегрує механічні, електричні та комп'ютерні системи навіть без чіткого слідування вищенаведеним визначенням. Тому стає очевидним, що вивчення мехатроніки має забезпечувати механізм, за допомогою якого студенти, зацікавлені у розумінні та поясненні інженерного процесу проектування, задля визначення, класифікації, організації та інтеграції багатьох аспектів об'єкта у єдиний виріб. Оскільки історичне розділення між механічною, електричною, аерокосмічною, хімічною, цивільною та комп'ютерною інженерією стає менш чітко вираженим, мехатроніка стає засобом поєднання цих доволі різних галузей науки і техніки.

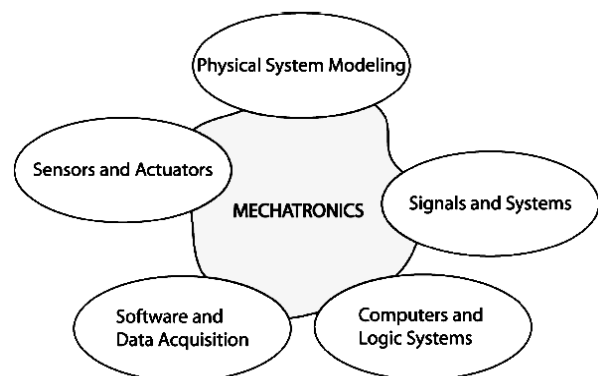


Рис. 1. Складові частини мехатроніки [2]

Має розумітися, що мехатроніка є не тільки звичайною структурою дослідження науковцями, вона є способом реалізації сучасної інженерної практики. Розвиткові мехатроніки суттєво сприяла поява мікропроцесорів на початку 80-х років, зріст кількості нових проектів на перехресті традиційних дисциплін інженерії, комп'ютерних та природних наук. На сьогодні технологічний прогрес забезпечує

ється зростом рівня бездротових комунікацій, розробкою інтелектуальних датчиків на основі MEMS-технологій, вбудованих систем різного типу.

Мехатроніка з освітньої точки зору має бути дорожньою картою інженерних студентів. Вона є галуззю, що модифікується у своєму розвитку.

Основними категоріями мехатроніки були такі чотири класи:

Клас I. У першу чергу для поліпшення функціональності використовуються механічні вироби з електронікою. Як приклади можна привести верстати з числовим програмним управлінням і приводи зі змінною швидкістю у виробництві верстатів.

Клас II. Традиційні механічні системи зі значним оновленням внутрішніх пристроїв, що включають електроніку. Зовнішні інтерфейси не змінюються. Приклади включають сучасну швейну машину і автоматизовані виробничі системи.

Клас III. Системи, які зберігають функціональність традиційної механічної системи, але внутрішні механізми замінюються електронікою. Прикладом можуть служити цифровий годинник.

Клас IV. Вироби, розроблені з використанням механічних та електронних технологій, завдяки синергетичній інтеграції. Приклади включають фотокопіюють апарати, інтелектуальні пральні машини і сушарки, рисоварки і автоматичні печі.

Технології забезпечення для кожного класу виробів мехатроніки ілюструють просування електро-механічних продуктів в напрямку розвитку теорії управління, обчислювальних технологій і мікропроцесорів. Продукти класу I були задіяні в сервотехнологіях, силовій електроніці та теорії управління. Продукти класу II були доступні завдяки наявності ранніх обчислювальних і запам'ятовуючих пристроїв і можливостей для користувача схем. Продукти класу III в значній мірі залежали від мікропроцесора та інтегральних схем для заміни механічних систем. Нарешті, продукти класу IV стали початком справжніх мехатронних систем, завдяки інтеграції механічних систем і електроніки. Тільки в 1970-ті роки з розвитком мікропроцесора Intel Corporation стало практичним впровадження обчислювальних систем з механічними системами.

2. Вивчення мехатронних систем у вищих навчальних закладах

Вивчення мехатронних систем в університеті може бути розділено на ряд спеціальних модулів: моделювання фізичних систем; сенсори та актюатори; сигнали та системи; комп'ютери та логічні системи; програмне забезпечення, обробка та отримання даних [3].

У свою чергу модуль моделювання фізичних систем включатиме: механіку твердого тіла; трансляційні та обертальні системи; гідравлічні системи;

електричні системи; термічні системи; мікро- і наносистеми; розробку аналогів фізичних систем.

Модуль дослідження сенсорів міститиме: лінійні та обертальні сенсори; акселерометри; сенсори сили, крутного моменту та тиску; датчики потоку; датчики температури; датчики відстані; детектори світла, зображень, системи технічного зору; волоконно-оптичні прилади; мікро- та нано-сенсори.

Серед актюаторів вивчаються: електромеханічні актюатори; двигуни постійного та змінного струму, шагові двигуни; п'єзоелектричні актюатори; пневматичні та гідравлічні актюатори; мікро- та наноактюатори.

У модулі «Сигнали та системи» вивчатимуться: моделювання мехатронних вузлів; сигнали та системи в мехатроніці; моделювання динамічних систем; методи годографа; методи частотного відклику; методи змінних стану; стійкість, керованість, спостережуваність систем; спостереження динамічних систем та фільтри Калмана; розробка методів динамічного керування; розробка систем адаптивного і нелінійного керування; нейронні та нечіткі системи; інтелектуальне керування для мехатроніки; ідентифікація та оптимізація проектів.

У модулі «Комп'ютери та логічні системи»: цифрова логіка; комунікаційні системи; виявлення несправностей; розробка логічних систем; синхронні та асинхронні системи; архітектура комп'ютерів та мікропроцесорів; системні інтерфейси; програмовані логічні контролери; вбудовані системи керування.

У модулі «Програмне забезпечення та системи отримання даних»: перетворювачі та вимірювальні системи; цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі; підсилювачі та перетворювачі сигналів; інструментальні системи на базі комп'ютерів; розробка програмного забезпечення; запис даних.

Таким чином мехатроніка може розглядатися як природний крок у еволюційному процесі розвитку сучасної інженерної науки.

Для частини дослідників вона не є чимось новим, для інших – має значення в тому числі і в філософському аспекті підходу. Мехатроніку слід розглядати скоріше у еволюційному ніж революційному аспекті [3].

Мехатроніка є синергетичним (тобто самоутворюваним) об'єднанням механічних електричних та комп'ютерних систем. Мехатроніка характеризується проникненням у суміжні галузі: моделювання фізичних систем, сенсори та актюатори, сигнали та процеси, комп'ютери та логічні системи, програмне забезпечення та обробка даних.

В подальшому мехатронні системи все більше підпитуватимуться за рахунок суміжних галузей, як і більш традиційні галузі – за рахунок мехатроніки. Наприклад, розробка мікропроцесора мала суттєвий

вплив на перебудову механічних систем і розробку мехатронних систем.

3. Функції мехатронних систем

У розробці мехатронних систем важливою є взаємодія функцій механічної та електронної частин. Якщо порівнювати з чисто механічними реалізаціями, мехатронні системи широко використовують підсилювачі та актюатори з додатковою електричною енергією, які суттєво спрощують прилади і це видно на прикладах електричних друкарських машинок та камер. Наступний етап спрощення прийшовся на впровадження мікрокомп'ютерів у зв'язки окремих електричних приводів і причинив появу електронних друкарських та швацьких машин, багатоосних верстатів, автоматичних коробок швидкостей.

Розробка конструкцій зі зменшеною вагою призвела до еластичних систем, слабо затухаючих з-за властивостей матеріалу. Електронне затухання, обумовлене позицією, швидкістю або датчиками вібрації та електронними зворотніми зв'язками може бути реалізованим у додатковій перевазі регульованого демпфування на основі алгоритмів. Прикладами є еластичні передачі у машинах з демпфуючими алгоритмами електроніки двигунів, еластичних роботах, гідравлічних системах, великі крани, конструкції космічних об'єктів.

Додавання замкненого циклу керування позицією, швидкістю або сили забезпечує не тільки точне відслідковування контрольних змінних, але і також до майже лінійних властивостей, хоча механічна система має не лінійності. Зменшення лінеаризації механічної частини призводить до зменшення конструкційних та виробничих витрат. Прикладами є прості механічні пневматичні та електромеханічні актюатори та клапани з електронним керуванням.

За допомогою генерації вільних програмованих опорних змінних можна покращити нелінійні механічні системи. Це вже знаходить застосування у керуванні характеристик педалей керування автомобілем, телекеруванні машинами та літаками, гідравлічних екскаваторах, гідро підсилювачах керма [3].

Зростаюча кількість датчиків, актюаторів, перемикачів та пристроїв керування, збільшення кількості кабелів підвищують значення надійності, вартості, ваги та розміру компонентів. Таким чином для конструктора критичними стають розробка адекватних систем шин, роз'ємів, реконфігурованих електронних систем.

Висновки та перспективи досліджень

В недалекому майбутньому прогрес забезпечуватиметься зростанням використання дешевих мікропроцесорів та мікроконтролерів, розробкою сенсорів та актюаторів на основі використання MEMS, адаптивних методів керування та програмування реального часу, мережних та бездротових технологій, технологій САПР для удосконалення систем, віртуального прототипування та тестування. Все це прискорить розробку smart-виробів [2, 3].

Інтернет є технологією, яка у поєднанні з бездротовими технологіями призведе до появи нових мехатронних продуктів. Зокрема серед них в наш час уже є посудомийні машини, пилососи, мікрохвильові та бездротові мережні прилади. В галузі «машин, дружніх до людини» в найближчий час ми можемо очікувати виконання хірургічних операцій за допомогою роботів, вбудовані сенсори та актюатори. Іншими областями, що містимуть зиск від розвитку мехатроніки будуть робототехніка, виробництво, космічні технології та транспорт. Майбутнє мехатроніки у світі є відкритим для всіх.

Список літератури

1. Исии Т., Симояма И., Иноуе Х. Мехатроника - М: Мир, 1988 – 318 с.
2. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
3. Bishop, Robert H. What is mechatronics [Текст] / H. Robert Bishop, M.K. Ramasubramanian // The Mechatronics Handbook. – CRC Press, 2012. 1229 p.

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Ф. Кривуля, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МЕХАТРОНИКА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ И ОБЩЕНАУЧНОМ КОНТЕКСТЕ

А.И. Бронников, А.М. Цымбал, А.М. Синотин

Рассматриваются общие понятия мехатронных систем и основные модули изучения данной специальности в высших учебных заведениях в контексте современной инженерной науки.

Ключевые слова: мехатроника, моделирование, робототехника, механика.

MECHATRONICS IN EDUCATION AND GENERAL SCIENTIFIC CONTEXT

A.I. Bronnikov, A.M. Tsymbal, A.M. Sinotin

The general concepts of mechatronic systems and the main modules for studying this specialty in higher education institutions are considered in the context of modern engineering science.

Keywords: mechatronics, simulation, robotics, mechanics.

УДК 62-1/-9

А.Ю. Ихтияров

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ И ПОВЕДЕНИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА, ОСНАЩЕННОГО МИНИМАЛЬНЫМИ АППАРАТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Для определения координат, обычно используется метод TOF, основанный на расположении четырех приемников по периметру помещения. Основным недостатком является чувствительность к потере сигнала в присутствии парных «легких» помех, ложных эхосигналов и т.д. В данной статье рассматривается проблема позиционирования мобильного робота, оснащенного минимальными аппаратными средствами, а именно, - ультразвуковым дальномером. Приведена последовательность необходимых действий робота для правильного позиционирования и перемещения в пространстве, основываясь только на данных, полученных с ультразвукового датчика.

Ключевые слова: алгоритм, позиционирование, анализ, принятие решений, сканирование.

Введение

Применение систем идентификации и определения местоположения материальных объектов – актуальное направление в оптимизации технологических процессов. В настоящее время такие системы достаточно часто применяются в различных сферах деятельности начиная с мониторинга пациентов, персонала, лекарств и оборудования в клиниках и заканчивая контролем местоположения инструментов, сборочных единиц и рабочих на конвейере. Разнообразие областей и направлений использования породило разнообразие технологий. На современном этапе развития робототехники, разработано и внедрено немало систем, обеспечивающих довольно точное позиционирование робота в пространстве и позволяющих отслеживать и корректировать траекторию движения робота. Однако, все они базируются либо на GPS-позиционировании, либо требуют громоздких, дорогостоящих аппаратных комплексов, несущих затраты не только на сами комплектующие, но и вносящие требования к мощному процессору и достаточному количеству памяти робота. GPS-позиционирование является более простым в реализации и доступным, но данный метод не способен обеспечить достаточную точность при ориентировании мобильного робота в помещении (погрешность позиционирования, в данном случае, может составлять десятки метров), поэтому, в данной статье предложен метод реализации «локального» позиционирования путём ориентирования в помещении мобильного робота, оборудованного минимальными аппаратными средствами.

Анализ проблемной области

Для автономного функционирования робота необходимо решить проблему его ориентации и пе-

ремещения в динамически меняющемся окружении. Роботу необходимо понимать свое местоположение и как из текущей точки попасть в интересующую, преодолев минимальное расстояние в кратчайшие сроки. Обеспечение робота продвинутой системой ориентации позволит ему планировать свои действия по перемещению в пространстве, прокладывать оптимальный маршрут движения, накапливать и анализировать информацию об окружающих местностях препятствиях, что в конечном итоге, позволит роботу выполнять полезную функциональную нагрузку.

Несмотря на наличие таких «продвинутых» систем, как системы технического зрения, использующие распознавание образов, системы глобального позиционирования, задача состоит в создании функционального алгоритма для робота, оборудованного минимальными аппаратными средствами, не зависящего от внешних вспомогательных факторов. Достаточным является оснащение мобильного робота ультразвуковым датчиком расстояния, который, хоть и вводит некоторые ограничения на область применения робота, однако, способен обеспечить приемлемую точность и довольно дешёв.

Изложение основного материала

Для определения положения в пространстве, необходимо выделить характерные черты данного места, отличающего его от других.

Основываясь на данных, полученных от ультразвукового датчика, уровень освещенности или цвета различить невозможно, но возможно определить и запомнить размеры помещения, его особенности и расположение объектов внутри него для дальнейшего планирования действий мобильного робота.

Постановка задачі заключається в розробці алгоритмів, які забезпечать:

- сканування оточення сенсором;
- генерація карти місцевості, ґрунтуючись на отриманих даних;
- побудова оптимального маршруту руху між ділянками на карті;
- зміна раніше створеної карти, ґрунтуючись на нових даних від сенсорів;
- початкову ідентифікацію положення робота в просторі.

Апаратною частиною для проведення аналізу оточуючого простору у робота є ультразвуковий датчик. Як згадувалося раніше, це специфічний компонент, який має ряд обмежень: крім обмеження дальності вимірювання відстані та точності, він може мати різні сектори огляду, в яких здатний коректно обробити отриманий сигнал.

Отриманий сигнал представляє собою узгоджений відбитий промінь, а сукупність відбиттів в певному секторі огляду. Кут огляду, можливо, змінюється, але тільки в невеликому діапазоні [1].

При потраплянні в невідоме робота простору, робот проводить первинне сканування місцевості. Однак, первинне сканування місцевості не здатне надати достатньо інформації для побудова достовірної карти з причини того, що в приміщенні можуть знаходитися об'єкти, поглинаючі або заломлюючі напрямлення ультразвукових хвиль і датчик не здатний зареєструвати дані про відстані до них. На карті це проявляється в «пустих» ділянках, що знаходяться за межами зору робота. Для складання достовірної карти місцевості, роботу необхідно виконати додаткові сканування «пустих» ділянок, змінивши при цьому своє місцеположення. Не маючи достатньо інформативної та достовірної карти, правильне позиціонування для робота не є можливим, на цьому етапі робот має тільки дані, отримані від ультразвукового дальномера. Задача на даному етапі заключається в формулюванні критерію, на основі якого робот зможе прийняти рішення про завершення сканування або про проведення додаткового сканування в нових точках. Крім того, в останньому випадку, необхідно мінімізувати кількість додаткових сканувань шляхом мінімізації самих точок і мінімізації кількості сканувань в кожній з них (уникнути зайвого сканування). Проаналізувавши деякі характеристики генерованої карти, представив дані в вигляді гістограми відстаней до перешкодок слід зробити висновок, що результати сканування ділянок приміщення, які чітко прослідковуються роботом з

текущою позиції, мають плавно змінювану послідовність вимірювань відстаней. А в місці, що межує з «пустим» ділянкою, присутнє значне різниця між виміряними відстанями і результатом попереднього сканування. Це різниця і є критерієм прийняття рішення про додаткове проведення аналізу простору в «аномальному» ділянці. Чутливістю робота можна керувати за допомогою задачі діапазону різниці сусідніх вимірянних значень відстані, на який він повинен реагувати.

З цього випливає, що робот може не тільки визначити вектор руху і відстань до точки додаткового сканування, а ще й оцінити напрямлення відносно свого руху в якому необхідно виконати додатковий збір інформації.

Виходячи з даних, отриманих від ультразвукового дальномера на попередньому кроці, алгоритм розрахунку наступної точки додаткового сканування має вигляд:

- визначити напрямлення руху, виходячи з номера цікавлячого сканування і кута повороту дальномера за один раз.
- визначити відстань переміщення до потрібної точки;
- визначити напрямлення повороту дальномера: при скануванні по годинниковій стрілочці, в разі виникнення різниці вимірювань відстані з попереднім значенням, то дальномер повернути ліворуч, в протилежному випадку – праворуч.
- визначити початковий і кінцевий кут позиціонування ультразвукового дальномера за час проведення сканування. Для більшої точності рекомендується проводити сканування на 180 градусів, незалежно від зростаючих витрат процесорного часу на обробку результатів, сканування на 180 градусів забезпечує найбільшу точність [2].

Відомі різні підходи до зображення оточення на карті. Для реалізації алгоритму руху обрано метод побудова растрової карти. Даний метод вимагає більшої кількості розрахункових ресурсів робота і об'єму пам'яті, порівняно з побудовою об'єктної карти, однак, дозволяє надати більш повну інформацію про аналізовану територію [3].

Для більш простого представлення даного методу, приймемо, що приміщення розділено на кімнати, з'єднані між собою дверними проходами. Карта кожної кімнати представляється в вигляді двовимірної масиви даних, що описує кімнату з точки зору проходимості для робота окремих її зон. Під зоною розуміється в вигляді квадрата фіксованих розмірів, заданих габаритами самого ро-

бота, что позволяет определить пройдет ли робот. Под зоной понимается квадрат (ячейка таблицы), содержащая какое-то число, характеризующее данную зону.

Например: 0 – свободно для перемещения,

1 – препятствие,

2-5 – потенциально проблемный участок, чем выше коэффициент которого – тем аккуратнее роботу необходимо его преодолевать.

Эти коэффициенты не являются константными. Робот имеет возможность самостоятельно корректировать их в зависимости от результатов текущих измерений.

Упрощенный алгоритм изменения карты на основании реальных измерений дальномером выглядит следующим образом:

в случае обнаружения в свободной для перемещения зоне – добавить в соответствующую ячейку таблицы +1,

если свободно и значение в данной ячейке не равно 0, то отнять -1.

Таким образом, робот сможет динамически корректировать свою карту и даже при минимальных изменениях окружающей местности, карта будет достаточно быстро изменена и станет достоверной. При движении в зоне с весовым коэффициентом 0, робот едет на высокой скорости, принимая, что путь свободен.

Если коэффициент лежит в диапазоне от 2 до 5, то двигаться можно, но на невысокой скорости, в связи с тем, что ранее в данном участке местности были проблемы. При приближении к такой зоне, роботу необходимо сделать уточняющее сканирование участка для принятия решения.

Выводы

Таким образом, предложенный алгоритм действий робота является достаточно точным, что позволяет использовать его в самых разных сферах деятельности.

Наиболее очевидным примером является использование таких роботов в промышленности.

Автоматизация таким образом тех же складских помещений позволит существенно ускорить процесс перемещения необходимых компонентов по предприятию, а также систематизировать хранящиеся на складах детали, что, в дальнейших перспективах, приведет к отсутствию необходимости в присутствии человека, выполняющего «ручную» работу.

Список литературы

1. Rui Araujo. Prune-able fuzzy ART Neural Architecture for Robot Map Learning and Navigation in Dynamic environment // IEEE Trans. On Neural Networks. – Vol. 17(5). – 2011. – P. 1235–1249.
2. Gavrilov A.V., Lee S/-Y. An Approach for Invariant Clustering and Recognition in Dynamic Environment. // Advances and Innovations in Systems, Computing Science and Software Engineering. Heidelberg: Springer. – 2007. – P. 47-52.
3. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Использование нейронной карты для планирования траектории мобильного робота. // Искусственный интеллект. – №3. – 2009. – С. 300-307.

Надійшла до редколегії 2.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Цимбал, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ У ПРОСТОРІ ТА ПОВЕДІНКИ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА, ОСНАЩЕНОГО МІНІМАЛЬНИМИ АПАРАТНИМИ ЗАСОБАМИ

А.Ю. Іхтіяров

Для того, щоб визначити координати мітки, ToF зазвичай вимірюються данні з чотирьох приймачів. Основним недоліком є чутливість до втрати сигналу в присутності (появи) парних «легких» перешкод, хибних ехосигналів і перешкод від ультразвукових джерел, наприклад, від ультразвукових дефектоскопів, ультразвукового очищення пристрою на роботі. Для усунення цих недоліків необхідно ретельно спланувати систему. Перевагою ультразвукових систем є високою точністю позиціонування, досягаючи три сантиметрів. «Місцеві» системи позиціонування використовуються досить рідко, і їх застосування зменшується по мірі розвитку радіочастотних технологій.

Ключові слова: алгоритм, позиціонування, аналіз, сканування, прийняття рішень.

ALGORITHM FOR DETERMINING THE POSITION IN THE SPACE AND THE BEHAVIOR OF THE AUTONOMOUS MOBILE ROBOT EQUIPPED WITH MINIMUM APPARATUS

A. Yu. Ikhtiyarov

To determine the coordinates of the mark, ToF is usually measured to four receivers. The main disadvantage is the sensitivity to signal loss in the presence (occurrence) of even "light" obstacles, to false echoes and to interference from ultrasound sources, for example, from ultrasonic flaw detectors, ultrasonic cleaning devices at work, ultrasound in the hospital. To eliminate these shortcomings, you need to carefully plan the system. The advantage of ultrasonic systems is the highest positioning accuracy, reaching three centimeters. «Local» positioning systems are used quite rarely, and their application is reduced as the development of radio-frequency technologies

Keywords: algorithm, positioning, analysis, decision making, scanning.

УДК 658.512.4.01

І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, Є.А. Разумов-Фризюк, А.О. Функендорф

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

МОДЕЛІ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТІВ З МОДУЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

У статті приведено розроблені параметрична модель та граф, що дозволяють приводити найбільш повний опис структурних функціональних модулів роботів, з урахування зв'язків та принципів узгодженості між ними, що можуть бути відображені певними обмеженнями, які виникають у випадках приналежності певних параметрів елементам конструкції, що проектується.

Ключові слова: робот, модульна структура, автоматизоване проектування конструкції, параметрична модель, граф.

Вступ

В умовах сучасної глобалізації автоматизованих виробництв роботів різноманітного призначення, які знаходять застосування у великій кількості галузей життя людини, все більшої актуальності набувають модульні підходи до структуризації їх конструкцій, що забезпечено економічними факторами, підвищенням загальної ефективності, надійності та ремонтпридатності готових виробів [1].

В рамках зазначених підходів робот представляє собою цілісну систему, що складається з різноманітних елементів, а саме структурних функціональних модулів, а саме – модуля переміщення, сенсорного модуля, маніпуляційного модуля, корпусного модуля, інформаційно-керуючого модуля та модуля зв'язку з людиною, узгоджених між собою. Кожен з таких модулів має різноманітні варіації технічної реалізації, виступає у ролі закінченого складального вузла та має велику кількість різноманітних параметрів, що на пряму впливають на загальні характеристики готового робота [2].

Сучасні системи автоматизованого проектування не дозволяють реалізувати прийняття рішень о виборі складових елементів, в рамках проектування роботів з конструкцією модульного типу у автоматизованому режимі з урахуванням їх узгодженості у цілісній системі [3]. Саме тому виникає складне наукове завдання, що потребує найбільш повної формалізації функціональних складових модулів, яке може бути вирішено шляхом розробки нових параметричних та математичних моделей та побудови відповідних графів з урахуванням узгодженості між елементами на всіх етапах проектування конструкції.

Основна частина

Кожному з наведених складових модулів притаманні параметри різноманітного типу, відповідно

до яких було прийняте рішення про розгалуження параметрів.

Параметрична модель кожного з модулів реалізована за допомогою багаторівневого графу типу «дерево», що дозволяє наглядно відобразити не тільки розгалуження шляхом «гілок», а також ієрархічні зв'язки між параметрами.

Таким чином верхній рівень графу поділяється на окрему гілку загальних параметрів, в той чи інший мірі притаманних кожному з модулів, гілку специфічних параметрів, притаманних конкретному модулю, та гілку параметрів з'єднань, у якій відображені всі притаманні відповідному модулю роз'ємні типи з'єднань, що є характерними для модульних конструкцій приладів.

Кожна з наведених гілок поділяється на інші гілки параметрів, відповідно до більш нижчих рівнів графу. Найнижчі рівні гілок представлені кінцевими множинами можливих значень конкретних параметрів.

У випадку, коли один із параметрів є відсутнім у модуля, допускається запис $P = \emptyset$, та параметр прийнято вважати незначним в рамках конкретного випадку подальшої побудови математичної моделі прийняття рішень.

Математичне зображення параметричної моделі конструкції роботів, з точки зору розглядання їх як цілісної системи, представляє собою множини параметрів кожного з модулів, з урахуванням взаємозв'язків між ними [4, 5]:

$$M_{\text{par}} = \langle \{P, S, M, K, Iy, Sv\}, R \rangle, \quad (1)$$

де P – множини параметрів модуля переміщення;

S – множини параметрів сенсорного модуля;

M – множини параметрів маніпуляційного модуля;

K – множини параметрів корпусного модуля;

Iy – множини параметрів інформаційно-керуючого модуля;

S_v – множини параметрів модуля зв'язку з людиною;

R – множини параметрів відносин між параметрами модулів.

Відносин між параметрами модулів за своєю суттю є обмеженнями, що накладаються на деякі параметри у випадках приналежності інших відповідних параметрів.

Однією з гілок графу параметрів, що мають відносні обмеження як між собою, в рамках заданого типу, так і впливають на інші типи та навіть параметри інших модулів, є гілка експлуатаційних параметрів (рис. 1) – того класу параметрів, що безпосередньо впливають на надійність, безвідмовність та, в подальшому, на рівень ремонтпридатності пристроїв. Вона являє собою нижні рівні графу в рамках гілки загальних параметрів і, як вже зазначалося, притаманна кожному зі структурних модулів.

Особливо важливими ці множини параметрів є для дослідницьких, будівельних та воєнних робіт, що обумовлено різноманітними та часом критичними умовами зовнішнього середовища в рамках їх експлуатації.

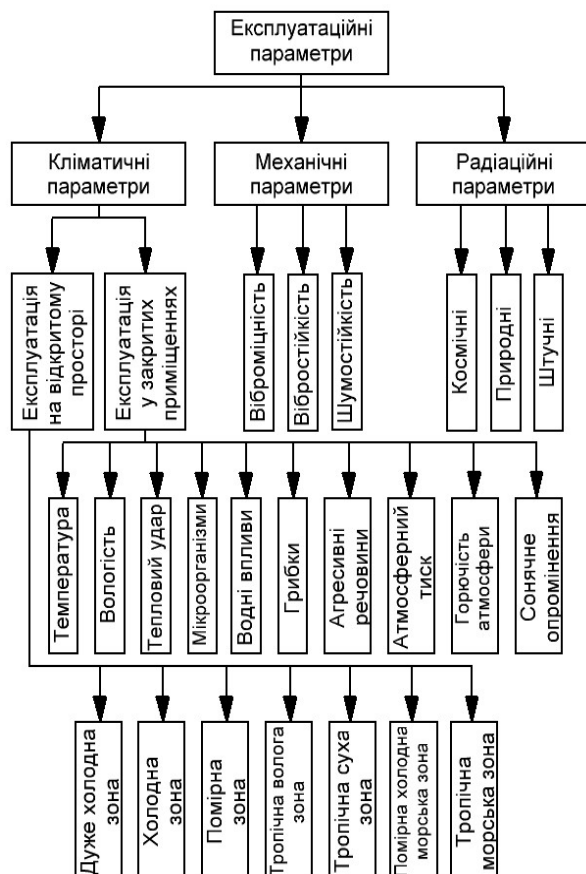


Рис. 1. Гілка експлуатаційних параметрів

Узагальнена параметрична модель цієї гілки, з урахування обмежень, заданих наявністю розрізнених параметрів експлуатації у закритих приміщеннях чи на відкритому просторі має вигляд:

$$P_{exp} =$$

$$= \left\langle \begin{array}{l} \{Mech \supset \{VibS, VsbR, AcNR\}\}, \\ \{Rad \supset \{SpR, NatR, ArtR\}\}, \quad \{EncS \supset \\ \supset \{T, H, HS, MO, WF, CS, Pr, A, FA, SR\}\} \vee \\ \vee \{OpS \supset \{Zwc, Zc, Zm, Ztw, Ztd, Zcs, Zts\}\} \end{array} \right\rangle, \quad (2)$$

де $Mech$ – множина механічних експлуатаційних параметрів, до якої входять підмножини значень параметрів віброміцності ($VibS$), вібростійкості ($VsbR$) та шумостійкості ($AcNR$);

Rad – множина радіаційних експлуатаційних параметрів, до якої входять підмножини значень параметрів космічної (SpR), природної ($NatR$) та штучної ($ArtR$) радіації;

$EncS$ – множина параметрів, що відповідає експлуатації у закритих приміщеннях, а саме підмножини значень температури (T) та вологості (H) повітря, теплового удару (HS), атмосферного тиску (A), горючості атмосфери (FA), сонячного опромінення (SR) та булеві елементи, що свідчать про наявність мікроорганізмів (MO), грибків (CS), агресивних речовин (Pr) та водних впливів (WF);

OpS – множина параметрів, що відповідає експлуатації на відкритому просторі, а саме підмножини значень параметрів кліматичних зон – дуже холодної зони (Zwc), холодної зони (Zc), помірної зони (Zm), тропічної вологої зони (Ztw), тропічної сухої зони (Ztd), помірної холодної морської зони (Zcs) та тропічної морської зони (Zts).

Як видно з виразу (2) експлуатаційні параметри конкретного модулю можуть включати лише множини параметрів відповідні до експлуатації у закритих приміщеннях, чи тільки на відкритому просторі, тобто належність однієї з вказаних множин виключає можливість належності іншій:

$$\exists (EncS, OpS), \forall EncS : EncS \cap OpS = \emptyset. \quad (3)$$

Розподіл та відокремлення підмножин параметрів експлуатації у закритих приміщеннях, чи на відкритому просторі обумовлено можливістю виникнення ситуацій, у яких значення окремих конкретних кліматичних параметрів може бути нехарактерним для відповідної кліматичної зони.

Аналогічним чином при наявності однієї чи декількох кліматичних зон виключає можливість наявності інших:

$$\begin{aligned} &\exists (Zwc, Zc, Zm, Ztw, Ztd, Zcs, Zts), \\ &\forall Zwc, Zc : \{Zm, Ztw, Ztd, Zcs, Zts\} \cap \{Zwc, Zc\} = \emptyset. \end{aligned} \quad (4)$$

Кожна із підмножин параметрів кліматичних зон включає в себе діапазони значень множин параметрів, відповідних до підмножин, характерних для

експлуатації у закритих приміщеннях, але відповідно до конкретної кліматичної зони.

В узагальненому вигляді це можливо представити наступним виразом:

$$Z_i \supset \left\{ T_i, H_i, HS_i, MO_i, WF_i, \right. \\ \left. CS_i, Pf_i, A_i, FA_i, SR_i \right\}, \quad (5)$$

де i вказує на відповідність множин параметрів до конкретної кліматичної зони.

Випадки виникнення міжмодульних обмежень параметрів можливо відобразити належністю булевого параметру гілки будь-якого з наведених структурних функціональних модулів – параметру водного впливу.

Наявність цього параметру у гілці будь-якого модулю зобов'язує наявність булевого параметру вологозахищеності у гілці параметрів корпусного модулю:

$$\begin{aligned} &\exists (M_{\text{par}}, K, WF, WP), \\ &\forall M_{\text{par}} \supset WF = 1 : K \supset WP, \end{aligned} \quad (5)$$

де WP – булевий параметр вологозахищеності.

Висновки

Приведений підхід до формалізації структурних функціональних модулів, що входять до складу сучасних роботів різноманітного призначення, є уніфікованим та дозволяє реалізувати найбільш повний та інформативний опис параметрів кожного з модулів.

В роботі представлені вперше розроблені багаторівневий граф типу «дерево» та відповідна параметрична модель, за допомогою яких було реалізовано зазначений підхід.

Узгодженість взаємозв'язки між складовими елементами у цілісній структурі пристрою реалізована за допомогою введення гілки параметрів з'єднань у загальну структуру графа та математичного опису параметрів узгодженості.

Введена гілка відображає параметри можливих роз'ємних з'єднань кожного з модулів, що є характерним для пристроїв з модульною структурою внаслідок спрощення процесу ремонту та дотримання відповідного рівня взаємозамінності структурних елементів готового виробу. Відносини між модулями описані за допомогою обмежень, що накладаються на деякі параметри у випадках приналежності інших відповідних параметрів.

На основі отриманих результатів стає можливою розробка багатокритеріальної моделі прийняття рішень о виборі структурних функціональних модулів з урахуванням їх узгодженості в цілісній системі, що в подальшому дозволить підвищення загального рівня автоматизації проектування робіт з констукцією модульного типу.

Список літератури

1. *Recent Advances in Robotic Systems [Text]* / Edited by Guanghui Wang. – P: InTech, 2016. – 292 p.
2. Функендорф, А.А. Структурный анализ современных робототехнических систем [Текст] / А.А. Функендорф, А.А. Кушак, // 19 международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». Сб. материалов форума. Т.2. – Харьков: ХНУРЭ. 2015. – 209 с.
3. Groover, M. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing [Text] / M. Groover. E. Zimmers – P: Pearson Technology Group, 2008. – 514 p.
4. Петров, Е.Г. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах [Текст]: Навч. посібник / За ред. Е.Г. Петрова. – К.: Техніка, 2004. – 256 с.
5. Овезгельдыев, А.О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации [Текст] / А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров. – К.: Наукова думка, 2002. – 163 с.

Надійшла до редколегії 24.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МОДЕЛИ ФОРМАЛИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РОБОТОВ С МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

І.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев, Е.А. Разумов-Фризюк, А.А. Функендорф

В статье приведены разработанные параметрическая модель и граф, позволяющие приводить наиболее полное описание структурных функциональных модулей роботов, с учетом связей и принципов согласованности между ними, которые могут быть отражены определенными ограничениями, которые возникают в случаях принадлежности определенных параметров элементам проектируемой конструкции.

Ключевые слова: робот, модульная структура, автоматизированное проектирование конструкции, параметрическая модель, граф.

FORMALIZATION MODELS FOR THE AUTOMATION ROBOT DESIGN PROBLEMS SOLVING OF CONSTRUCTIONS WITH THE MODULAR STRUCTURE

I.Sh. Nevliudov, V.V. Yevsieiev, Ye.A. Razumov-Fryziuk, A.O. Funkendorf

In The parametric model and element of the graph allows the most complete description of the structural functional modules of robots with the relationships and the principles of consistency between them in an integrated system are developed in the article. It can be displayed by the limitation that occurs when certain parameters belong to structural elements..

Keywords: robot, modular structure, automated design, parametric model, graph.

УДК 621.315.592.08

И.Ш. Невлюдов, В.А. Письменецкий, А.В. Фролов, Я.С. Мовсесян

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

В настоящее время в связи с резким истощением природных запасов ископаемого топлива для выработки электрической и тепловой энергии остро возникла проблема поиска новых альтернативных источников энергии, одним из которых является энергия Солнца. Для получения электрической энергии из солнечной применяются фотоэлектрические преобразователи такие как основа для создания солнечных элементов и солнечных батарей. Последние широко применяются в современных измерительных и бытовых приборах. Поэтому разработке методов и средств измерений параметров солнечных элементов и солнечных батарей в мире уделяется большое внимание, что объясняется потребностью в их аттестации в условиях нарастающего производства. Автоматизированный программно-аппаратный измерительный комплекс предназначен для проведения исследований солнечных элементов на арсенид-галлиевых гетероструктурах и кремниевых однопереходных фотопреобразователей. Кроме этого предусмотрена возможность исследования модулей солнечных батарей с относительно большими размерами (30х30 см и более).

Ключевые слова: солнечные элементы, солнечные батареи, измерительный комплекс, время измерения, освещённость, импульсный блок, ксеноновая лампа, модуль измерителя.

Введение

В настоящее время 86% производимой электрической и тепловой энергии вырабатывается на АЭС и ТЭЦ, работающих на ископаемом топливе. Работа ТЭЦ сопровождается химическим загрязнением среды и истощением природных ресурсов и кроме этого «тепловым загрязнением» земли. Использование АЭС сопряжено с проблемами обеспечения безопасности их эксплуатации, переработки радиационных отходов и опасностью радиационного загрязнения.

Для решения возникших проблем перспективно использование солнечной энергии, так как этот вид энергии неисчерпаем, доступен всем и является экологически чистым.

Для преобразования солнечной энергии используются фотоэлектрические преобразователи, разработке автоматизированного измерительного комплекса для контроля их параметров и посвящена настоящая работа.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день разработке методов и средств измерений солнечных элементов (СЭ) и солнечных батарей (СБ) в мире уделяется большое внимание. Это безусловно объясняется потребностью в их точной и экономичной аттестации условиях нарастающего производства [4, 5]. К настоящему времени наибольшее развитие получила метрология планарных СЭ и СБ [6, 7].

Изложение основного материала

Автоматизированный программно-аппаратный измерительный комплекс предназначен для прове-

дения исследований СЭ на основе арсенид-галлиевых многослойных гетероструктурных и кремниевых однопереходных фотопреобразователей. Кроме этого предусмотрена возможность исследовать модули СБ с размерами 90х40 мм.

Комплекс предназначен для оперативного контроля выходных параметров кристаллов фотопреобразователей (ФП) с целью их разбраковки и сортировки для последующей сборки солнечных модулей и солнечных панелей (батарей), а также оперативного контроля параметров солнечных батарей с размерами 30х30 см и более.

Кроме этого автоматизированный комплекс можно использовать при исследовании электрофизических и выходных параметров тандемных гетероструктурных ФП при вариации параметров отдельных фотоячеек и режимов технологических операций, диагностики и исследования тандемных гетероструктурных ФП с квантово-размерными средами [1, 2].

Основные параметры автоматизированного комплекса:

- время измерений – 10 мс;
- количество точек измерений – 200 точек;
- пределы измерения по каналу напряжения фотопреобразователя – 0.5, 1.0, 3.0, 6.0, 12.0, 24.0, 48.0 В;
- границы измерения по каналу тока фотопреобразователя – 0.3, 5.0, 50.0, 500.0, 5000.0, 10000.0, 20000.0 мА;
- максимальный уровень освещенности в плоскости ФП или модуля – 1360 Вт/м²;
- однородность пространственной и временной освещенности на площади 100х100 мм – не более 2%;

– нагрузка на сеть питания не более 180 Вт.

Структура измерительного комплекса приведена на рис. 1.

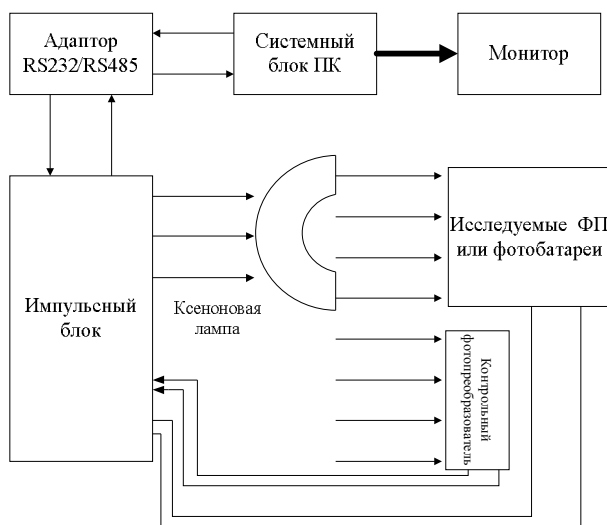


Рис. 1. Структура измерительного комплекса

Все модули в процессе измерения работают согласованно благодаря управлению от общей программы ПК.

Импульсный блок (рис. 2, а) представляет металлическую конструкцию прямоугольной формы с размерами 510х280х195 мм. Особенностью его является полное отсутствие на передней панели традиционных органов управления (кнопок, тумблеров, переключателей, ЖК индикаторов), характерных для большинства измерителей аналогового типа. Это связано с тем, что управление режимами работы осуществляется с помощью ПК.

Комплекс построен на базе импульсного имитатора солнечного излучения, представляющего импульсную ксеноновую лампу (рис. 2, б).

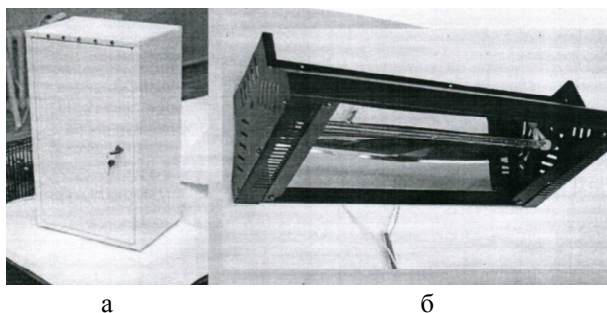


Рис. 2. Компоненты измерительного комплекса:
а – импульсный блок; б – ксеноновая лампа.

Блок состоит из трех основных модулей:

- модуль импульсного осветителя;
- модуль измерителя;
- модуль электронной нагрузки ФП или фотобатареи.

Модуль импульсного осветителя обеспечивает формирование светового потока с заданными пара-

метрами путем включения ксеноновой лампы и стабилизации режима ее работы на протяжении рабочего импульса.

Модуль измерителя выполняет преобразование в цифровой код сигналов напряжения на зажимах испытуемой фотобатареи или ФП, тока выходной цепи фотобатареи или ФП и сигнала контрольного фотопреобразователя светового потока.

Модуль напряжения фотобатареи и ФП обеспечивает изменение номинала напряжения, подключенного к соответствующим зажимам на протяжении рабочего импульса [3].

Для автоматизированного измерения ВАХ необходимо воспользоваться интерфейсом программы, приведенной на рис. 3.

Перед началом работы с программой нужно в ее главном окне (окно «Measurement»), в окне «Uobjr», «Jobr» ввести значение с образцовых приборов провести тарировку каналов измерений и сохранить коэффициенты тарировки с помощью кнопки «Save_K_Tar». Также необходимо сохранить коэффициенты напряжения и силы тока фотобатареи с помощью кнопок «Save_KUfb» и «Save_KJfb». Особое внимание уделяется точности значения параметров образцовых приборов. Чем точнее будет введено значение, тем точнее будет получена в дальнейшем вольт-амперная характеристика (ВАХ) [4, 5].

Для определения работоспособности программы, необходимо нажать клавишу «Ignition». При нажатии этой клавиши включается вспышка или импульсный осветитель. Далее для снятия измерений необходимо нажать кнопку «Start» и в результате начнется построение графиков значений тока, мощности и напряжения. Полученные графики можно записать в память программы с помощью кнопки «Write_Arj». Для дальнейшего просмотра графика из памяти программы, необходимо нажать клавишу «Read_Arg».

После просмотра ВАХ для восстановления графиков, например, с целью повторного анализа участков, можно нажать кнопку «U_J_L_Chart». На поле графиков выводятся три линии или три графика. Первый из них (белая линия) является измерением тока. Второй (красная линия) определяет значение напряжения. а третий (синяя линия) характеризует мощность, а также величину интенсивности вспышки и степень стабильности излучения.

Кнопки «Vach_Chart» позволяет получить график ВАХ, по которому можно определить напряжение в момент начала измерения и в конце, а также в его процессе измерения. Участок осциллограммы, по которому строится ВАХ, выбирается с помощью компонентов выбора начала и конца этого участка.

Нажатием кнопки «Vach_Arg», можно получить по ранее записанным данным архива график ВАХ.

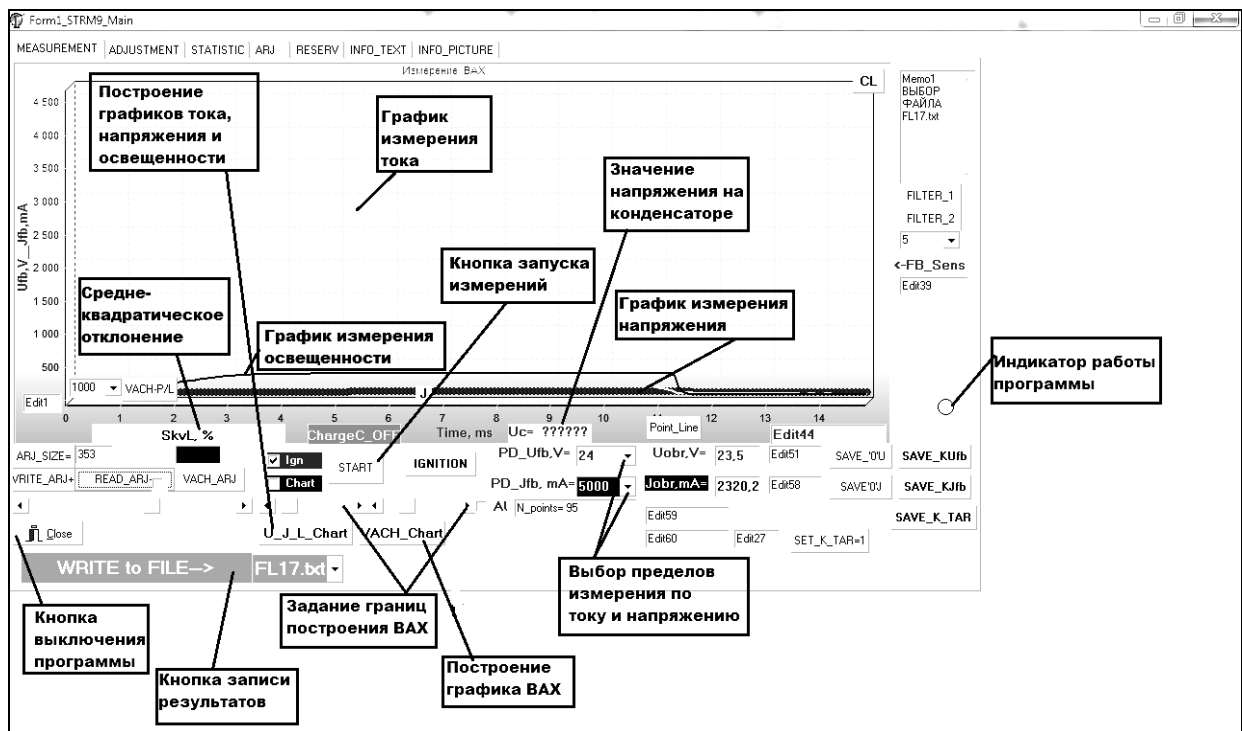


Рис. 3. Описание программы

Есть компоненты для выбора пределов измерения по току и напряжению фотобатареи. Результаты выбора отображаются в окнах «PD_Ufb» и «PD_Jfb».

Если необходимо повторить измерения, надо нажать на кнопку «Start» и повторно происходит измерение. Построение осциллограмм напряжения и тока выполняется автоматически [8]. Эти графики можно сохранить и использовать в дальнейшем, выбирая их из памяти программы. Для записи полученных данных используем кнопку «Write to file» и выбираем имя файла.

С помощью разработанной программы были получены ВАХ СЭ и СБ.

На рис. 4 приведена ВАХ трехпереходного гетеро ФП со структурой InGaP/GaAs/Ge. Как следует из графика ВАХ, ток короткого замыкания $I_{kz} = 137$ mA, а напряжение холостого хода $U_{xx} = 2,7$ V, что полностью соответствует паспортным параметрам исследуемой структуры.

На рис. 5 представлена ВАХ монокристаллического солнечного модуля на ФП с одним р-п переходом.

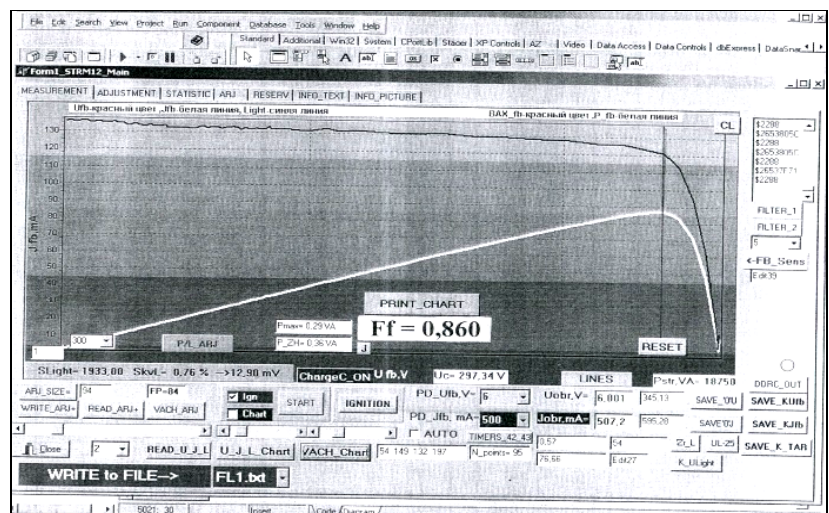


Рис. 4. ВАХ арсенид-галлиевого ФП

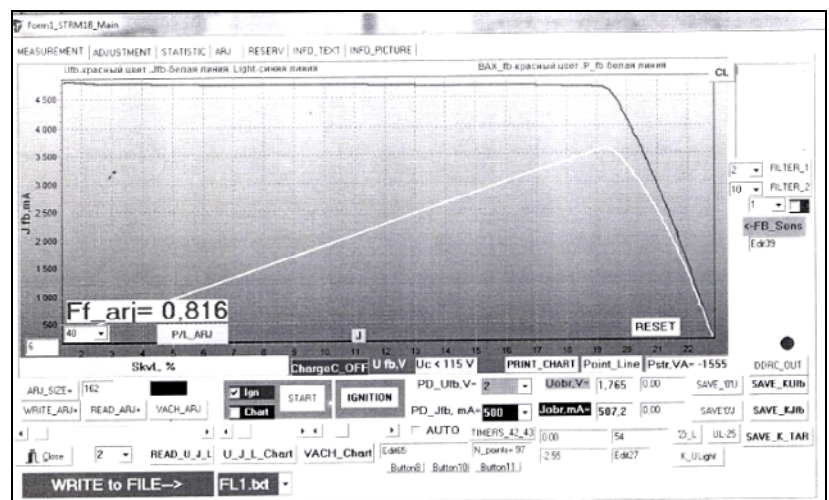


Рис. 5. ВАХ кремниевый солнечного модуля

Ток короткого замыкания исследуемого модуля $I_{кз} = 4800$ мА и определяется его площадью 90×40 см. Напряжение холостого хода модуля согласно ВАХ равно $U_{хх} = 23$ В.

Как и следовало ожидать, параметр FF для GaAs гетероструктуры (0,86) больше, чем у кремниевого модуля (0,816).

Выводы

По сравнению с аналогами автоматизированный программно-аппаратный измерительный комплекс имеет следующие преимущества:

Высокая точность измерений (200 точек для синтеза ВАХ).

Высокая скорость измерений (время измерения ВАХ 10 мс), что позволяет выполнять быстро смену образцов ФП и тестировать их крупные партии [8].

Относительно большой диапазон измерений по току и напряжению, позволяет контролировать как отдельные ячейки ФП, модули, так и сборки ФП.

Наличие интерактивного пользовательского интерфейса, благодаря которому даже неопытный пользователь может сразу без помощи программиста приступить к измерениям, которые займут немного времени.

Список литературы

1. Слипченко Н.И. Определение диодных параметров кремниевых фотопреобразователей по световой нагрузочной ВАХ / Н.И. Слипченко, В.А. Писменецкий, Н.Н. Янковская, А.В. Фролов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – №6(24) – 2007. – С.41-48.

2. Слипченко Н.И. Оперативный контроль параметров фотопреобразователей / Н.И. Слипченко, В.А. Писменецкий, Н.Н. Янковская, А.А. Кирилюк, А.В. Фролов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – №4/3(28) – 2007. – С. 39-42.

3. Слипченко Н.И. Анализ информативности диодных параметров кремниевых фотопреобразователей / Н.И. Слипченко, В.А. Писменецкий, Н.Н. Янковская, А.В. Фролов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – №6/2(30) – 2007. – С. 30-36.

4. Ащеулов А.А. Измерительный комплекс для определения фотоэлектрических параметров приемников излучения / А.А. Ащеулов, А. Х. Дунаенко, В.Д. Фотий // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – №6 – 2004. – С. 38-39.

5. Наумов В.В. Автоматизированный измеритель вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик полупроводниковых структур / В.В. Наумов, О.А. Гребенищikov, В.Б. Залесский // Приборы и техника эксперимента. – №1 – 2007. – С.164-165.

6. Наумов В.В. ПТЭ / В.В. Наумов, О.А. Гребенищikov // Приборы и техника эксперимента. – №5 – 2002. – С. 162.

7. Наумов В.В. ПТЭ / В.В. Наумов, О.А. Гребенищikov, В.Б. Залесский // Приборы и техника эксперимента. – №1 – 2006. – С.165.

8. Свід. про реєстр. авт. права № 86167. Україна. Пристрій для контролю параметрів фотоелектричних перетворювачів / М.І. Сліпченко, В.А. Письменецкий, А.А. Кирилюк, Н.М. Янковська, А.В. Фролов — прийнято 25. 03. 2009.

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Филипенко, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРОГРАМНО-АППАРАТНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС

І.Ш. Невлюдов, В.О. Письменецкий, А.В. Фролов, Я.С. Мовсесян

В наш час у зв'язку з різким зменшенням природних запасів викопного палива для виробництва електричної та теплової енергії гостро виникла проблема пошуку нових альтернативних джерел енергії, одним з яких є енергія Сонця. Для отримання електричної енергії з сонячної застосовуються фотоелектричні перетворювачі, такі як основа для створення сонячних елементів та сонячних батарей. Останні широко застосовуються в сучасних вимірювальних та побутових приладах. Тому розробці методів та засобів вимірювань параметрів сонячних елементів та сонячних батарей у світі приділяється велика увага, що пояснюється потребою в їх атестації в умовах наростаючого виробництва. Автоматизований програмно-апаратний вимірювальний комплекс призначений для проведення досліджень сонячних елементів на арсенід-галієвих гетероструктурах та кремнієвих одноперехідних фотоперетворювачів. Крім цього передбачена можливість дослідження модулів сонячних батарей з відносно великими розмірами (30x30 см та більше).

Ключові слова: сонячні елементи, сонячні батареї, вимірювальний комплекс, час вимірювань, освітленість, імпульсний блок, ксенонова лампа, модуль вимірювача

AUTOMATED SOFTWARE AND EQUIPMENT MEASURING COMPLEX

I.Sh. Nevlyudov, V.O. Pismenetsky, A.V. Frolov, Ia.S. Movsesian

At present, due to the sharp depletion of natural fossil fuel reserves for generating electrical and thermal energy acute problem of finding new alternative energy sources, one of which is the energy of the Sun. Photoelectric converters such as the basis for the creation of solar cells and solar cells used to produce solar electricity. The latter are widely used in modern measuring and household appliances. Therefore, the development of methods and tools for the measurement of solar cells and solar panels in the world pays much attention, due to the need for their validation in terms of increasing production. Automated software and equipment measuring complex designed for solar cell research on gallium arsenide heterostructures and silicon unijunction solar cells. In addition, it is possible to investigate solar cell modules with relatively large dimensions (30x30 cm and more).

Keywords: solar cells, solar panels, measuring complex, time measurement, illumination, switching power, xenon lamp, the meter module.

УДК 65.011.55

С.П. Новоселов, О.В. Сычова, С.И. Теслюк, И.Г. Гринченко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ INTERNET OF THINGS

В данной статье проведен анализ взаимодействия объектов промышленной автоматизации с использованием технологии IoT. Рассмотрены компоненты производственного участка и их возможности, сформулированы особенности работы производственного участка, который построен по требованиям концепции Industry 4.0, приведено принцип взаимодействия между компонентами автоматизированной системы и основные стадии обработки детали. Были определены две стадии поведения интеллектуальной мобильной платформы, выявлены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: концепция Industry 4.0, Интернет Вещей, умные фабрики, интеллектуальное транспортное средство, интеллектуальная мобильная платформа, облачное хранилище данных, автоматизированная система.

Номенклатура

ERP – Enterprise Resource Planning;
HMI – Human-machine interface;
IoT – Internet of Things, Интернет Вещей;
M2M – Machine-to-Machine.

Введение

Актуальностью данных исследований является необходимость совершенствования производственных систем и повышение эффективности функционирования промышленных объектов с целью достижения высоких конечных результатов деятельности на основе рационального использования производственных ресурсов. Объектом исследований являются автоматизированные производственные системы.

Строгое определение IoT применительно к области промышленной автоматизации означает, что наблюдаемые и контролируемые объекты («вещи») не только передают информацию операторам или получают от них обратную связь, но и обладают интеллектом, достаточным для принятия решений на месте. Иными словами, сенсоры, датчики, счетчики, объекты телемеханики и т. п. обмениваются информацией друг с другом (не только с HMI или оператором), анализируют полученную информацию и на основе алгоритмов, заложенных оператором, выполняют определенные действия [1].

Концепция IoT применительно к промышленной автоматизации нашла свое выражение в концепции Industry 4.0. Industry 4.0 подразумевает, что промышленность находится на пороге четвертой волны перемен – создания так называемых «умных» фабрик (Smart Factory). «Умные фабрики» характеризуется наличием киберфизических систем: встраивание вычислительных элементов (совместно с ПО и сетевыми возможностями) в физические объекты контроля.

С учетом данной концепции информационное взаимодействие различных типов устройств и установок является неотъемлемым условием функционирования практически любого производства. Такая технология называется межмашинным взаимодействием (M2M) и тесно пересекается с IoT. По сути IoT является ключевой составляющей набирающей популярность концепции Industry 4.0, которая предполагает обмен данными между всеми участниками, которые задействованы в производственной цепочке:

- специалистами предприятия;
- исполнительными компонентами;
- ERP-системами;
- роботами;
- продуктами и другими системами, и установками.

Сегодня такие предприятия принято называть «умными».

Основная часть

В будущем продукты, изготавливаемые предприятиями, в рамках концепции Industry 4.0 должны будут «говорить» оборудованию, как, где и кем они должны быть изготовлены, для кого должны быть произведены и куда отправлены; оборудование будет автоматически перенастраиваться в зависимости от «запросов» продуктов на конвейерной ленте, а компоненты, системы управления, ERP-системы, работники предприятий и другие субъекты канала движения товара – обмениваться данными о состоянии технологических процессов, своих потребностях, состоянии товаров на этапе движения от сырья к потребителю. Рассмотрим компоненты производственного участка [2]:

- интеллектуальное транспортное средство;
- интеллектуальный станок;
- среда передачи данных;
- облачное хранилище данных.

Інтелектуальне транспортне средство обладает следующими возможностями:

- всегда поддерживает связь с облаком;
- загружает из облака технологию изготовления той или иной детали;
- определяет траекторию перемещения к нужному оборудованию;
- проверяет доступность оборудования для выполнения очередной технологической операции;
- перемещает детали между оборудованием;
- перемещает детали во временное хранилище.

Інтелектуальний станок обладает следующими возможностями:

- набор датчиков определяет состояние основных узлов оборудования;
- средство передачи данных передает в облако информацию о текущем состоянии оборудования и стадии изготовления детали;
- внутренний контроллер управляет механизмами устройства и снимает показания с датчиков;
- по заданной технологии обрабатывает поступившую деталь;
- сообщает о завершении обработки детали.

Среда передачи данных построена по беспроводной технологии для реализации принципа мобильности и масштабируемости. В качестве протокола обмена данными используется упрощенный сетевой протокол работающий поверх TCP/IP, для обмена сообщениями между устройствами по принципу издатель-подписчик [3]. Исходя из вышесказанного сформулируем особенности поведения производственного участка, который построен по требованиям концепции Industry 4.0:

- гибкая перенастройка технологического процесса;
- легкая масштабируемость (в зависимости от текущей производственной нагрузки можно быстро добавлять или удалять оборудование). Каждое новое оборудование путем межмашинного общения сообщает о себе нужные параметры и свои возможности. В зависимости от полученной информации меняется поведение всего участка и интеллектуальный транспорт меняет свой маршрут доставки заготовок и перевозки полуфабрикатов, а также изделий;

- взаимодействие между производственным оборудованием и интеллектуальным транспортом осуществляется с использованием беспроводных протоколов обмена данных;

- хранение информации о загрузке оборудования, свойствах каждого станка, его пропускной способности, общем состоянии технологического процесса изготовления деталей и текущем состоянии каждой отдельной детали хранится в общедоступном облаке на выделенном сервере;

- можно одновременно изготавливать несколько деталей по разным технологическим процессам

(при условии достаточности номенклатур оборудования).

На рис. 1 приведен принцип взаимодействия между компонентами автоматизированной системы.



Рис. 1. Принцип взаимодействия между компонентами автоматизированной системы

На рис. 2 показаны основные стадии обработки детали. Из рис. 2 видно, что каждая деталь при поступлении на интеллектуальный участок проходит ряд стадий обработки. Интеллектуальное транспортное средство выполняет роль мобильного агента [4]. Его основная задача – взаимодействие с оборудованием через распределенную промышленную сеть, объединяющую в себя как проводные, так и беспроводные протоколы.



Рис. 2. Основные стадии обработки детали

Решение о передаче детали от одного оборудования к другому принимается на основе информации о состоянии каждого интеллектуального станка, его текущей занятости и возможностях.

Можно определить две стадии поведения интеллектуальной мобильной платформы [5]: предварительное бронирование рабочего времени; поиск потенциальных исполнителей по мере необходимости.

В первом случае, при поступлении новой детали выполняет поиск всех исполнителей технологического процесса и бронирование их времени в соответствии с заранее определенным приоритетом.

Достоинство – данный сценарий позволяет заранее просчитать срок выполнения заказа и является наиболее приемлемым в случае необходимости предварительного планирования.

Недостаток – жесткая привязка к оборудованию после составления маршрута обработки детали.

При использовании второго сценария, поиск потенциальных исполнителей выполняется на этапе поступления детали на участок, но запрос на выполнение очередной технологической операции выполняется по мере необходимости и освобождении интеллектуального транспортного средства.

Достоинствами данного сценария является

- максимальная гибкость производственного процесса;
- возможность изменения перечня оборудования и его замена, а также модернизация во время выполнения производственного процесса;
- устойчивость к выходу из строя оборудования.

Недостаток – нет возможности точно просчитать время завершения обработки детали и, следовательно, сроки производства становятся менее предсказуемы.

ными процессами и выбор сценария, при котором выход готовых изделий будет наиболее быстрым, а простой оборудования – минимальным. Для достижения поставленной цели решалась задача разработки алгоритма поведения интеллектуальной транспортной платформы. Разработан принцип взаимодействия между компонентами автоматизированной системы и основные стадии обработки детали. Определены две стадии поведения интеллектуальной мобильной платформы. Выявлены их преимущества и недостатки. Данное исследование позволит в дальнейшем разработать алгоритм поведения автоматизированной системы и смоделировать ее работу.

Список литературы

1. Hersent, O. *The Internet of Things: Key Applications and Protocols* [Текст] / O. Hersent, D. Boswarthick, O. Elloumi. - Wiley, 2012. - 370 p.
2. Росляков, А.В. Интернет вещей [Текст] / А.В. Росляков, С.В.Ваняшин, А.Ю. Гребешков, М.Ю. Самсонов - Самара: ПГУ-ТИ, ООО "Издательство Ас Гард", 2014. – 340 с.
3. Behmann, F. *Collaborative Internet of Things (C-IoT): for Future Smart Connected Life and Business* [Текст] / F. Behmann, Kwok Wu K. - Wiley, 2015. - 304 p.
4. Соколов, Н.А. Эволюция сетей доступа. Три аспекта [Текст] / Н.А. Соколов // Первая миля. – 2015. - №2. - С. 56-61.
5. Бондарик, В.Н. Прогнозирование развития Интернета Вещей на горизонте планирования до 2030 года [Текст] / В.Н. Бондарик, А.Е. Кучерявый. - Труды МФТИ, том 5, №3, 2013. - С. 92-96.

Выводы

Надійшла до редколегії 24.01.2017

В работе проведен анализ существующих методов распределенного управления производствен-

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Филипенко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВЗАЄМОДІЇ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ INTERNET OF THINGS

С.П. Новоселов, О.В. Сичова, С.І. Теслюк, І.Г. Грінченко

В даній статті проведено аналіз взаємодії об'єктів промислової автоматизації з використанням технології IoT. Розглянуто компоненти виробничої ділянки і їх можливості, сформульовані особливості роботи виробничої ділянки, яка побудована за вимогами концепції Industry 4.0, наведено принцип взаємодії між компонентами автоматизованої системи та основні стадії обробки деталі. Були визначені дві стадії поведінки інтелектуальної мобільної платформи, виявлено їх переваги та недоліки.

Ключові слова: концепція Industry 4.0, Інтернет Речей, розумні фабрики, інтелектуальне транспортний засіб, інтелектуальна мобільна платформа, хмарне сховище даних, автоматизована система.

ANALYSIS OF INDUSTRIAL AUTOMATION OBJECTS INTERACTION USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

S.P. Novoselov, O.V. Sychova, S.I. Tesliuk, I.H. Hrinchenko

There is the interaction analysis of industrial automation objects using IoT technology carried out in the article. The components of the production area and their capabilities are considered, the features of the production area are formulated, which is constructed according to the requirements of the Industry 4.0 concept, the principle of interaction between the components of the automated system and the main stages of the workpiece processing. Two stages of the behavior of the intelligent mobile platform were identified, their advantages and disadvantages were revealed.

Keywords: concept of Industry 4.0, the Internet of Things, smart factories, intelligent vehicles, intelligent mobile platform, cloud data storage, automated system.

УДК 629.429.3:621.313

О.М. Петренко¹, Б.Г. Любарський², М.Л. Глебова¹¹ Харківський університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ТРАМВАЙНИХ ВАГОНІВ

В статті розроблено методику визначення теплового стану елементів конструкції асинхронного тягового двигуна трамвайного вагону на підставі еквівалентної теплової схеми заміщення. За результатами моделювання нагріву та охолодження тягового двигуна АД 931 для трамвайного вагону встановлено, що лобова частина обмотки статора, яка має найбільше температурне навантаження може нагрітися до сталого перегрівання 134,67 °С в режимі однократної широтно-імпульсної модуляції та 96,64 °С в режимі просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції.

Ключові слова: трамвайний вагон, еквівалентна тепла схема заміщення, тяговий асинхронний двигун, перегрівання над температурою охолоджувального середовища, широтно-імпульсний модуляція.

Вступ

Вступ. На сучасних трамвайних вагонах в тяговий привід все частіше створюється на основі асинхронних тягових двигунів (АТД) зі ступенем захисту IP44 та IP54. В таких двигунах застосовуються двоконтурна система самовентиляції до якої входить вентилятор, що безпосередньо встановлений на вільному кінці валу двигуна та забезпечує потік повітря який охолоджує станину двигуна, а також внутрішній вентилятор, що забезпечує внутрішню циркуляцію внутрішнього повітря.

Аналіз останніх досліджень. Тепловий стан елементів конструкції АТД трамваю залежать від комплексу факторів таких як: ваги потягу; профілю шляху, графіку руху, кліматичних явищ, режимів роботи системи керування тяговим приводом, системи електропостачання та інші [1-6]. Теплові процеси у тягових двигунах характеризуються великими значеннями постійної часу, що може становити 10..30 хв. [1 – 6]. Нагрів двигуна до постійної температури може тривати 35...100 хв. [1 – 6]. В роботах [1, 2] відмічається, що електромеханічні процеси при русі електрорухомого складу більш динамічні. Режим роботи тягового приводу може змінюватися кілька разів за одну хвилину. Таким чином для контролю теплового стану двигуна необхідно визначення найбільш теплонапружених елементів конструкції двигуна за весь час його роботи.

Мета статті: розробка методики визначення теплового стану елементів конструкції асинхронного тягового двигуна трамвайного вагону на підставі еквівалентної теплової схеми заміщення.

Результати досліджень

У основі математичної моделі нагріву двигуна лежить основний закон теплопровідності [7-10], сформульований Фур'є у результаті аналізу експе-

риментальних даних. Цей закон встановлює кількісний зв'язок між тепловим потоком і різницею температур в двох точках тіла: кількість переданої теплоти пропорційна градієнту температури, часу і площі перерізу F , перпендикулярному до напрямку поширення теплоти. Якщо кількість переданої теплоти віднести до одиниці часу, то сформульована залежність виразиться таким чином

$$p = -\lambda F \text{ grad } \theta, \quad (1)$$

де p – кількість переданої теплоти, віднесена до одиниці часу, тобто потужність; λ – коефіцієнт теплопровідності; F – площа перерізу, перпендикулярного до напрямку поширення теплоти; θ – температура точок тіла.

Для вирішення рівняння (1) в роботах [7,8,10] запропоновано наступне. Ввести припущення.

– тіло має необмежену теплопровідність, що призводить до відсутності градієнта температури по будь-якому напрямку в його об'ємі;

– температура довкілля θ_c незмінна, тобто довкілля має необмежену теплоємність;

– коефіцієнт тепловіддачі α між поверхнею машини і довкіллям не залежить від місця і тривалості протікання процесу.

Та перетворити рівняння теплового балансу (1) до вигляду

$$\Delta P = C \frac{d\theta}{dt} + A (\theta - \theta_c), \quad (2)$$

де $C = c \cdot G$ – теплоємність тіла; $A = \alpha \cdot F$ – коефіцієнт тепловіддачі тіла.

В роботі [11] пропонується універсальна еквівалентна тепла схема (ЕТС), що дозволяє виконувати теплові розрахунки нестационарних режимів роботи АТД за різних систем охолодження. Розглянуто використання універсальної теплової схеми для теплових розрахунків асинхронних двигунів регульованих електроприводів.

Нагрів АТД залежить від режиму його роботи і величини навантаження. На нагрів АТД впливають співвідношення тривалості періодів роботи (режим тяги, гальмування або підтримання заданої швидкості руху) і пауз (режим вибігу або механічного, пневматичного гальмування) між ними або періодів роботи з повним і частковим навантаженням, характер протікання перехідних процесів.

У тяговому електроприводі двигуни найчастіше працюють в режимі, що перемежається. Цикл включає періоди роботи поперемінно на різних частотах обертання з різними режимами роботи автономного інвертора напруги (АІН), що забезпечує його живлення, і періоди переходів від одних частот обертання до інших. При перехідних процесах від однієї частоти обертання, що встановилася, до іншої збільшуються втрати, що впливає на зростання температур конструктивних елементів. Характер протікання перехідних процесів залежить від коефіцієнта інерції, визначуваного як відношення суми моменту інерції ротора і приведенного до валу двигуна моменту інерції усього поїзду до моменту інерції ротора з урахуванням кількості тягових двигунів. Окрім цього, режим тяги характеризується відносною (у відсотках до тривалості циклу) тривалістю навантаження на кожній з частот обертання. Аналіз температур конструктивних елементів АТД з АІН, зокрема найбільш важливого елементу – обмотки статора, повинний виконуватися з урахуванням роботи двигуна в заданому режимі.

Таким чином для визначення теплового стану АТД у кожному з режимів роботи необхідно визначитися скласти систему рівнянь для кожного з тіл з конструкції АТД. Кількість та вид рівнянь залежить від конструктивних особливостей системи обходження двигуна.

Тяговий електропривод відрізняються типами напівпровідникових перетворювачів, видами регулювання і законами управління, використовуваними в них. Двигуни таких приводів можуть мати як різні виконання, так і різні конструкції систем охолодження. Тому має бути передбачена можливість враховувати при теплових розрахунках як в режимах, що встановилися, так і в перехідних, усю різноманітність конструктивних рішень систем охолодження АТД. Найбільш ефективним для таких розрахунків видається метод еквівалентних теплових схем заміщення [11,12]. Універсальна ЕТС (рис. 1) АТД дає можливість вести нестационарні теплові розрахунки в двигунах закритого (IP44, IP54) і захищеного (IP22, IP23) виконань як з примусовим, так і з самоохолодженням, а також з використанням в системі вентиляції аксіальних і радіальних вентиляційних каналів.

У ЕТС для теплових розрахунків нестационарних режимів, складеній на підставі універсальної

еквівалентної теплової схеми заміщення АТД для стаціонарних теплових розрахунків [13], враховується те, що конструктивні елементи електричної машини мають визначені теплоємності C_b , значення яких залежать від використовуваних матеріалів і їх геометричних розмірів.

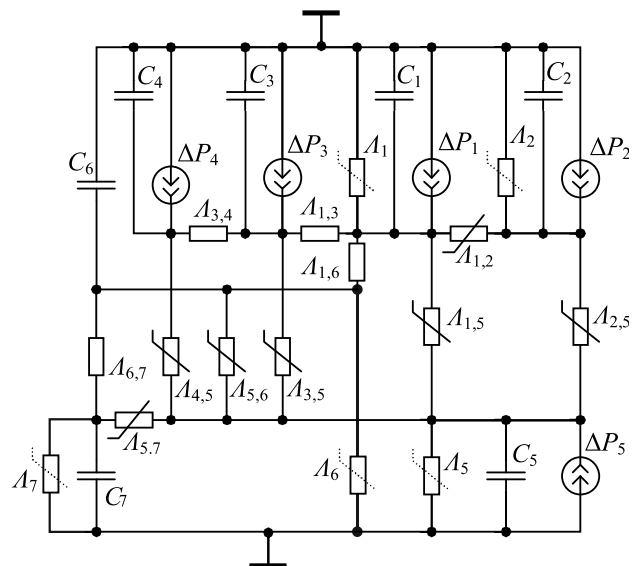


Рис. 1. Універсальна еквівалентна теплова схема заміщення АТД для аналізу несталих теплових процесів

При перехідних процесах деяка теплова провідність між конструктивними елементами АТД при регулюванні частоти обертання змінюється. Така провідність зображена на схемі як змінні. Провідність, зображена як змінні пунктиром, змінюється при самоохолодженні та залишається незмінними при обдуванні незалежним вентилятором.

При рішенні задачі визначення перевищення температур різних конструктивних частин електричної машини над температурою довкілля в дану еквівалентну схему заміщення включені наступні конструктивні частини АТД:

1. Сердечник статора (зубці і спинка) з середньою температурою перегрівання θ_1 , теплоємністю C_1 і потужністю тепловиділення ΔP_1 (магнітними втратами в сердечнику з урахуванням додаткових втрат в сталі статора).

2. Короткозамкнена клітка ротора і зубці ротора з середньою температурою перегрівання θ_2 , теплоємністю C_2 і потужністю тепловиділення (сума усіх втрат основних і додаткових в стержнях ротора, короткозамкнених кільцях і в магнітній системі ротора).

3. Пазова частина обмотки статора з середньою температурою перегрівання θ_3 , теплоємністю C_3 і потужністю тепловиділення ΔP_3 .

4. Лобові частини обмотки статора з середньою температурою нагріву θ_4 , теплоємністю C_4 і потужністю тепловиділення ΔP_4 .

5. Внутрішнє повітря (ВП) з середньою температурою θ_5 , теплоємністю C_5 і потужністю тепловиділення ΔP_5 , обумовленою внутрішніми вентиляційними втратами.

6. Станина з середньою температурою перегрівання θ_6 , теплоємністю C_6 .

7. Підшипникові щити з середньою температурою θ_7 , теплоємністю C_7 .

У ЕТС АТД (рис.1) представлена наступна теплова провідність:

Λ_1 – провідність між пакетом статора і охолоджувальним середовищем (при безкорпусному виконанні).

$\Lambda_{1,2}$ – провідність повітряного проміжку між сердечником статора і ротором.

$\Lambda_{1,3}$ – провідність ізоляції пазової частини обмотки від міді обмотки до сердечника статора.

$\Lambda_{1,5} = \Lambda_{\text{ркс}} + \Lambda_{\text{акс}} + \Lambda_{\text{пов}}$ – провідність від пакету статора до ВП, складається з провідностей: $\Lambda_{\text{ркс}}$ – від радіальних вентиляційних каналів статора, $\Lambda_{\text{акс}}$ – від аксіальних вентиляційних каналів статора, $\Lambda_{\text{пов}}$ – від поверхні сердечника статора до ВП.

$\Lambda_{1,6}$ – провідність від пакету статора до станини (для закритих АТД).

Λ_2 – провідність від ротора до повітря, що охолоджує (через аксіальні канали при пакеті ротора, що продувається).

$\Lambda_{2,5} = \Lambda_{\text{л2}} + \Lambda_{\text{ркр}} + \Lambda_{\text{акр}} + \Lambda_{\text{вал}}$ – провідність від активної зони ротора до внутрішнього повітря, складається з провідностей: $\Lambda_{\text{л2}}$ – провідність від лобових частин білячої клітини до ВП, $\Lambda_{\text{ркр}}$ – від радіальних вентиляційних каналів ротора, $\Lambda_{\text{акр}}$ – від аксіальних вентиляційних каналів ротора до ВП та $\Lambda_{\text{вал}}$ – провідність через вал до ВП.

$\Lambda_{3,4}$ – провідність обмотки статора в аксіальному напрямі.

$\Lambda_{3,5}$ – провідність від пазової частини обмотки статора до ВП через радіальні вентиляційні канали статора.

$\Lambda_{4,5}$ – провідність від лобових частин обмотки статора, що обдуваються, до ВП.

Λ_5 – умовна провідність, що враховує підігрівання охолоджувального повітря усередині АД (для двигунів захищеного виконання).

$\Lambda_{5,6}$ – провідність від ВП до станини.

$\Lambda_{5,7}$ – провідність від ВП до підшипникових щитів.

$\Lambda_{6,7}$ – провідність між станиною і підшипниковими щитами.

Λ_6 – провідність від поверхні станини, що обдувається, до охолоджувального повітря.

Λ_7 – провідність від підшипникових щитів до охолоджувального повітря.

Належність або відсутність провідностей у узагальненої ЕТС визначається за табл. 1.

Таким чином для IP44, IP54 універсальну ЕТС можна представити у виді, показаному на рис. 2.

Таблиця 1

Склад теплової провідності
при різних системах охолодження

Виконання	IP44, IP54		
Система вентиляції	IC0141	IC0151	IC0161
$\Lambda_{1,2}$	+	+	+
$\Lambda_{1,3}$	+	+	+
$\Lambda_{1,6}$	+	+	+
Λ_1	–	–	+
$\Lambda_{л1}$	+	+	+
$\Lambda_{\text{ркс}}$	–	–	–
$\Lambda_{\text{акс}}$	–	–	+
$\Lambda_{\text{пов}}$	–	–	–
$\Lambda_{3,4}$	+	+	+
$\Lambda_{3,5}$	–	–	–
$\Lambda_{л1}$	+	+	+
$\Lambda_{л2}$	+	+	+
$\Lambda_{\text{вал}}$	+	–	+
$\Lambda_{\text{ркр}}$	–	–	–
$\Lambda_{\text{акр}}$	–	–	+
$\Lambda_{\text{пр}}$	–	+	–
$\Lambda_{5,6}$	+	+	+
$\Lambda_{5,7}$	+	+	+
Λ_6	–	–	–
$\Lambda_{6,7}$	+	+	+
$\Lambda_{\text{щц}}$	+	+	+
Λ_7	+	+	+
$\Lambda_{\text{щц}}$	+	+	+

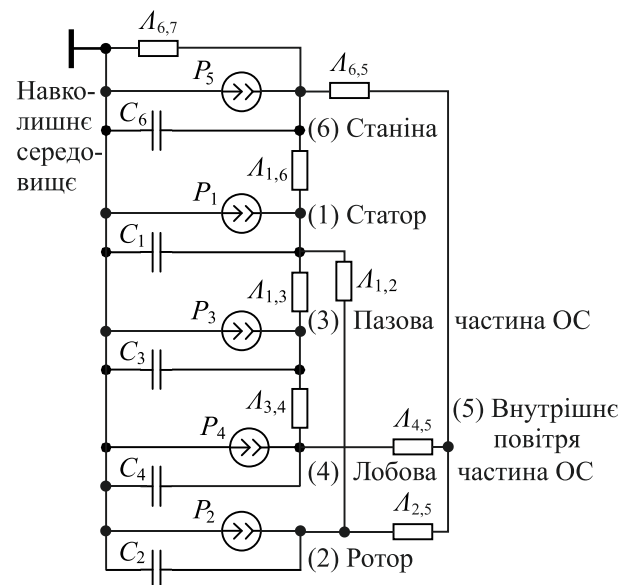


Рис. 2. ЕТС для АТД з ступенем захисту IP44, IP54

Так само, як і для стаціонарних теплових розрахунків [11], універсальна ЕТС перетвориться для тієї або іншої схеми охолодження шляхом виключення або зміни різних гілок і елементів. У таблиці представлені варіанти зміни складу теплових провідностей ЕТС при різних конфігураціях систем охолодження і виконань АТД.

Для розрахунку ЕТС пропонується використати метод вузлових потенціалів для електричних кіл. На його підставі для запропонованої універсальної ЕТС може бути складена система диферен-

ціальних рівнянь теплового балансу. У матричному виді система представляється виразом

$$\frac{d}{dt}u = [C]^{-1} \cdot [ДР + Л \times u] \quad (3)$$

де u – матриці-стовпці середніх перегрівів над температурою охолоджувального середовища у відповідних конструктивних елементах електричної машини,

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}; \quad (4)$$

C – матриця теплоємностей відповідних конструктивних елементів, на які умовно розбивається АД,

$$C = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & C_n \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$ДР$ – матриця-стовпець потужностей тепловиділення у відповідних конструктивних елементах АД,

$$ДР = \begin{bmatrix} ДР_1 \\ ДР_2 \\ \vdots \\ ДР_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Величини потужностей тепловиділення розраховуються при аналізі режимів роботи, що встановилися, або нестационарних, за даними втрат в елементах машини, $Л$ – матриця теплових провідностей

$$Л = \begin{bmatrix} -Л_{1,1} & Л_{1,2} & \dots & Л_{1,n} \\ Л_{2,1} & -Л_{2,2} & \dots & Л_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Л_{n,1} & Л_{n,2} & \dots & -Л_{n,n} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де $Л_{1,2}$ $Л_{1,3}$..., $Л_{n,n}$ – теплова провідність між елементами двигуна.

Матриці потужностей тепловиділення $ДР$ та провідностей $Л$ складаються на основі метода вузлових потенціалів для електричних кіл:

$$Л_{n,n} = \sum_k \Lambda_{k,n}, \quad (8)$$

$$Л_{n,m} = Л_{m,n} = \Lambda_{n,m}. \quad (9)$$

Вирішення цієї системи першого порядку, методом Рунге-Кутта, дозволяє розглянути зміну температур конструктивних елементів АД при перехідних процесах. Адекватність математичної моделі істотно підвищується при врахуванні змін на кожному кроці інтегрування як втрат (у тому числі від усіх вищих гармонік, що враховуються), так і теплової провідності.

Моделювання режимів проводилось на прикладі АД 931 виробництва ДП завод «Електроважмаш» з зовнішньою системою охолодження та ступенем захисту IP 54. Основні технічні характеристики якого приведено у [14]. Моделювання

проводилось в режимі нагріву двигуна до здійснюється за $2 \cdot 10^4$ с та його охолодження за такий самий час. Живлення здійснювалося як в режимі однократної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) так і при застосуванні просторово-векторної ШІМ. Режим роботи двигуна номінальний. Результати моделювання сталого режиму роботи штатної само вентиляції АД 931 наведені на рис. 3 та 4.

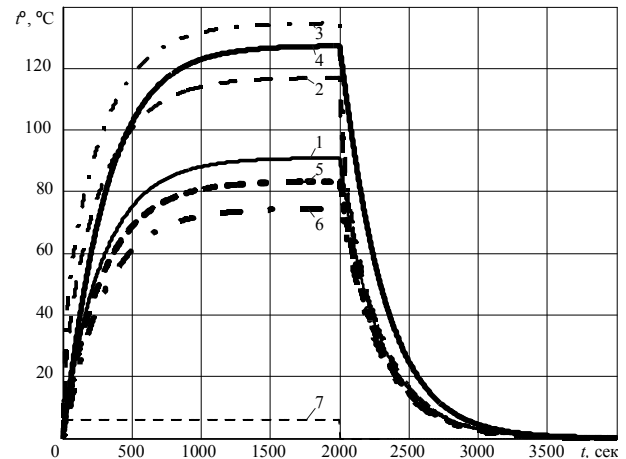


Рис. 3. Перегрівання елементів конструкції АД 931 в залежності від часу роботи при зовнішній вентиляції та живленні від напівпровідникового перетворювача, що працює в режимі однократної ШІМ. 1 – осердя статора, 2 – пазова частина обмотки статора, 3 – лобова частина обмотки статора, 4 – ротор, 5 – ВП, 6 – станина, 7 – навантаження

Слід зазначити, що при моделюванні знаходилися перевищення температур над температурою навколишнього середовища, тому для визначення реальних значень температури необхідно додавання до них температури навколишнього середовища.

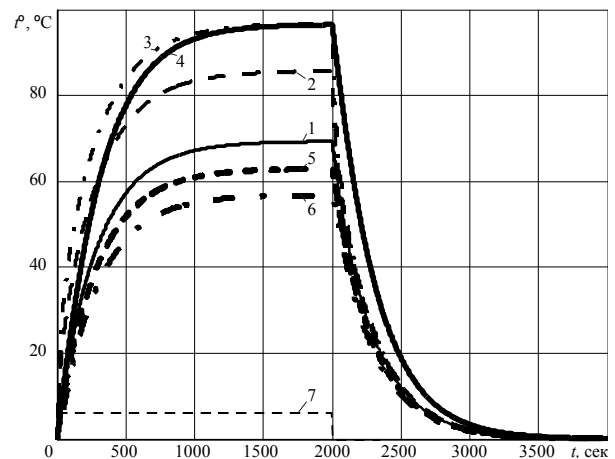


Рис. 4. Перегрівання елементів конструкції АД 931 в залежності від часу роботи при зовнішній вентиляції та живленні від напівпровідникового перетворювача, що працює в режимі просторово-векторної ШІМ. 1 – осердя статора, 2 – пазова частина обмотки статора, 3 – лобова частина обмотки статора, 4 – ротор, 5 – ВП, 6 – станина, 7 – навантаження

За результатами моделювання теплових режимів визначено наступне. Так лобова частина обмотки статора, яка має найбільше температурне навантаження може нагрітися до сталого перегрівання $134,67^{\circ}\text{C}$ (рис. 3) в режимі однократної ШІМ (рис. 4) та $96,64^{\circ}\text{C}$ в режимі просторово-векторної ШІМ. Перегрівання ротора досягає $127,3^{\circ}\text{C}$ (рис. 3) в режимі та однократної ШІМ та $96,47^{\circ}\text{C}$ в режимі просторово-векторної ШІМ (рис. 3 та 4). Цей факт обумовлено неможливістю безпосереднього підводу охолоджуючої речовини (повітря) до джерел втрат – активних елементів АТД (ротору та статору). Постійні часу нагріву складають 560..580 с. Більшу постійну часу має ротор АТД.

Висновки

Розроблено методику визначення теплового стану елементів конструкції асинхронного тягового двигуна трамвайного вагону на підставі еквівалентної теплової схеми заміщення. За результатами моделювання нагріву та охолодження тягового двигуна АД 931 для трамвайного вагону встановлено, що лобова частина обмотки статора, яка має найбільше температурне навантаження може нагрітися до сталого перегрівання $134,67^{\circ}\text{C}$ в режимі однократної ШІМ та $96,64^{\circ}\text{C}$ в режимі просторово-векторної ШІМ. Перегрівання ротора досягає величини $127,3^{\circ}\text{C}$ в режимі однократної ШІМ та $96,47^{\circ}\text{C}$ в режимі просторово-векторної ШІМ. Постійні часу нагріву складають 560..580с. Більшу постійну часу має ротор АТД.

Список літератури

1. Любарський Б.Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електродвигуна. – Дисертація ... д-ра технічних наук за спеціальністю 05.22.09. – «Електротранспорт». НТУ «ХПІ». Харків, - 2014. – 368 с.
2. Гетьман Г.К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств желез-

нодорожного транспорта [Текст]: моногр. / Г.К. Гетьман. – Днепр, 2008. – 444 с.

3. Мокін О.Б. Моделювання та оптимізація руху багатомасових електричних транспортних засобів поверхнями зі складним рельєфом : моногр. / О.Б. Мокін, Б.І. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 192 с.

4. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. - Х.: НТМТ, 2013. - 248 с.

5. Петренко О.М. Визначення ефективності електродвигуна складу. Основні положення та підходи / О.М. Петренко, Б.Г. Любарський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. № 6 – С. 8-13.

6. Todorov, Emanuel. "Optimal control theory." Bayesian brain: probabilistic approaches to neural coding (2006): 269-298.

7. Алексеев А.Е. Конструкция электрических машин. – М.: ГЭИ, 1949. – 562 с.

8. Борисенко А.И., Костилов А.И., Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.

9. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 346 с.

10. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высш. шк., 1989. – 239 с.

11. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Расчет температур конструктивных элементов асинхронных двигателей в динамических режимах // Вісник НУ «Львівська політехніка», – 2000. – № 403. – С. 145 – 149.

12. Коваль-Лесков А.В. Тепловые процессы в асинхронном электродвигателе при работе в перемежающемся режиме // Електромашинобудування та електрообладнання. – 1997. – Вип 49. – С. 68 – 73.

13. Петрушин В.С., Якимец А.М. Универсальная тепловая схема замещения асинхронных двигателей // Електромашинобуд. та електрообл. – Вип. 59. – 2002. – С. 75-79.

14. БИЛТ.652414.001ПС. Электродвигатель асинхронный тяговый типа АД914У2 [Транспорт] – Х.: ГП «завод Электротяжмаш», 2010 – 72 с.

Надійшла до редколегії 18.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Т. Доманський, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ

А.Н. Петренко, Б.Г. Любарский, М.Л. Глебова

В статье разработана методика определения теплового состояния элементов конструкции асинхронного тягового двигателя трамвайного вагона на основании эквивалентной тепловой схемы замещения. По результатам моделирования нагрева и охлаждения тягового двигателя АД 931 для трамвайного вагона установлено, что лобовая часть обмотки статора, которая имеет наибольшее температурную нагрузку может нагреться до устойчивого перегрева $134,67^{\circ}\text{C}$ в режиме однократной широтно-импульсной модуляции и $96,64^{\circ}\text{C}$ в режиме пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции.

Ключевые слова: трамвайный вагон, эквивалентная тепловая схема замещения, тяговый асинхронный двигатель, перегрев над температурой охлаждающей среды, широтно-импульсной модуляции.

MATHEMATICAL MODEL OF THE THERMAL CONDITION OF TRACTION ASYNCHRONOUS MOTOR TRAMWAGON MOTORS

O.M. Petrenko, B.G. Liubarskyi, M.L. Glebova

In the article the technique of definition of a thermal condition of elements of a design of the asynchronous draft engine of the tram car on the basis of an equivalent thermal scheme of replacement is developed. Based on the results of modeling the heating and cooling of the traction engine AD 931 for a tram car it is established that the frontal part of the stator winding that has the greatest temperature load can be heated to a stable overheat of $134,67^{\circ}\text{C}$ in the mode of single pulse width modulation and $96,64^{\circ}\text{C}$ in the space-vector pulse-width modulation mode.

Keywords: Tramcar, an equivalent thermal replacement circuit, a traction induction motor, overheating over the temperature of the cooling medium, pulse width modulation.

УДК 004.67, 621.317

А.О. Подорожняк, А.М. Клименко, Д.В. Гончаров

Національний технічний університет "Харківський політехнічний університет", Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ СЕРВЕРНОЇ КІМНАТИ

В статті наведений опис моделі мікропроцесорного вимірювача температури та проведене її дослідження для різних умов функціонування і характеристик температурних датчиків в мікропроцесорних вимірювальних системах. Розроблені пропозиції по застосуванню методів вимірювання температури з коригуванням похибки для мікропроцесорних вимірювачів. Наведені результати роботи схемотехнічної моделі розробленої мікропроцесорної системи контролю температури серверної кімнати з обробкою даних від декількох температурних датчиків та корекцією похибки вимірювання.

Ключові слова: вимірювальна система, температурні вимірювання, мікропроцесорний вимірювач, обробка даних.

Аналіз публікацій та постановка проблеми

В наш час будь яка організація потребує встановлення серверного обладнання для обслуговування веб-сайта, поштової скриньки, охорони приміщення, створення локальної мережі, та інше. Для розміщення серверного обладнання виділяється окрема серверна кімната. Як правило, це закриті приміщення, найчастіше невеликих розмірів, достатніх для розміщення серверних стійок з певним набором мережевого обладнання. У більшості випадків серверна кімната розміщується або в підвальному / напівпідвальному приміщенні, або в горищному приміщенні [1, 2].

Для нормального функціонування обладнання потребується підтримання нормальних температурних показників, від +18 до +24 °C, та відносної вологості повітря, від 30 до 50%. Для контролю температури повітря у серверній кімнаті використовуються спеціальні пристрої – мікроконтролерні системи, які вимірюють температуру та контролюють вентиляцію або кондиціонер. Однією із вимог до таких пристроїв є висока точність вимірювання. Мікроконтролерна система являє собою автономну 8-канальну 12-розрядну вимірювально-інформаційну систему (BIC). Виходячи з призначення та вимог до BIC, до її складу входять сучасні датчики та пристрої [3, 4].

Для визначення шляхів реалізації запропонованої концепції необхідно створити модель системи та провести її дослідження.

Проведений аналіз літератури показав [5-9], що існує багато варіантів вимірювання температури однак вони не розглядають процес вимірювання з урахуванням роботи великої кількості сучасних пристроїв, на які впливають різні дестабілізуючі фактори. Основним завданням для точного вимірювання є безпосередній контакт із вимірювальною поверхнею та зменшення дестабілізуючих факторів на систему. Для автоматизації ро-

боти система повинна бути обладнана необхідною кількістю датчиків і приладами автоматизації.

Таким чином, актуальності набуває питання створення мікроконтролерної системи з використанням декількох датчиків для більш точного вимірювання температури в серверних кімнатах.

Мета статті. Дана стаття присвячена розробці та дослідженню моделі, а також пропозицій щодо побудови мікропроцесорної системи вимірювання температури з використанням декількох датчиків в серверній кімнаті.

Основна частина

Розробка моделі мікропроцесорного вимірювача температури (MBT) була проведена в середовищі моделювання MATLAB та наведена на рис. 1.

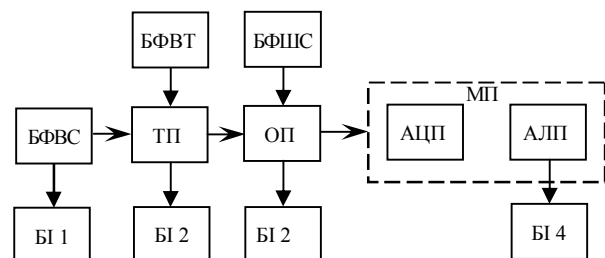


Рис. 1. Модель мікропроцесорного вимірювача температури

На приведеній схемі: БФВС – блок формування вхідного сигналу; БФВТ – блок формування вимірюваної температури; ТП – температурний перетворювач; ОП – операційний підсилювач; БФШС – блок формування шумового сигналу; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; АЛП – арифметико-логічний пристрій; МП – мікропроцесор; БІ 1, 2, 3, 4 – блоки індикації.

БФВС в наведеній моделі формує два види досліджуємих сигналів зміни температури за часом – $X_{вх1} = \text{const}$, $X_{вх2} = kx$, які видаються для графічної індикації на БІ 1.

В сигнал після температурного перетворювача (ТП) адитивно подається шумова складова randn , яка має розподіл за нормальним законом із визначеними параметрами розподілу, що змінюються під час дослідження:

$$X_{\text{ТП}_1} = \text{const} + \text{randn} ;$$

$$X_{\text{ТП}_2} = kt + \text{randn} .$$

На виході операційного підсилювача маємо сигнал вигляду:

$$X_{\text{ОП}_1} = k_{\text{ОП}} (\text{const} + \text{randn}) + x_0 ;$$

$$X_{\text{ОП}_2} = k_{\text{ОП}} (kt + \text{randn}) + x_0 .$$

Аналіз причин появ похибки вимірювань їх виявлення та зменшення є одним з основних етапів процесу вимірювань. В нашому випадку основну частину займають контактні методи вимірювання температури та пов'язані з цим похибки, то розглянемо їх більш детально. Основним є те, що всі контактні методи основані на перетворенні в сигнал вимірювальної інформації будь-якої термічної властивості термоперетворювача, а не об'єкта дослідження. Тому, всі відповідні засоби вимірювальної техніки вимірюють температуру чутливого елемента термоперетворювача, яка в загальному випадку не дорівнює температурі об'єкту.

Крім того, при даних методах вимірювання суттєве значення має похибка, яка обумовлена взаємодією об'єкту вимірювання та засобом вимірювальної техніки, особливо якщо останній використовується тільки для періодичних вимірювань та є штатним приладом даного об'єкту.

Методичні похибки терморезистивного методу обумовлені нагрівом термоперетворювача струмом, який проходить через нього та впливом опору ліній, а термоелектричного – похибки від нестабільності температури вільних кінців термодіодів, впливу постійних магнітних полів та інших факторів.

Загальними для всіх контактних методів є похибки, обумовлені недостатнім тепловим контактом між перетворювачем та об'єктом дослідження. При проведенні вимірювань з використанням мікроконтролера пропонується відмовитися від звичайного способу калібрування вимірювального приладу за допомогою вимірювального підсилювача і компенсаційного потенціометра, а перекласти завдання калібрування/корекції на мікроконтролер.

Окрім перелічених похибок існують ще й такі як: похибка за рахунок особистого споживання теплової енергії термоперетворювачем; похибка від паразитного теплообміну між об'єктом дослідження та навколишнім середовищем через термоперетворювач; динамічна похибка.

Найважливішими завданнями є підвищення точності як найбільш важливого показника якості вимірювань. Воно досягається зменшенням усіх складових похибки МВТ, причинами яких є внутрішні

впливні величини та зовнішні впливні величини, до яких належать умови експлуатації МВТ і неінформативні параметри вхідних (вимірювальних) сигналів.

Відомо багато методів підвищення точності МВТ, які розділяють на дві групи:

– методи, що забезпечують усунення або зведення до мінімуму причин виникнення окремих складових похибки МВТ. Ці методи називають також консервативними;

– методи, які направлені на зниження рівня похибок МВТ. Їх називають також методами корекції похибок.

Консервативні методи запобігають появі тих чи інших похибок МВТ або не припускають перевищення ними допустимих значень. Вони відрізняються простотою реалізації, бо не потребують чуттєвого структурного ускладнення МВТ. До консервативних методів належать конструктивно-технологічні та захисно-запобіжні методи. Відомо також багато методів корекції похибок МВТ, але найбільш поширеними є структурні, статистичні й алгоритмічні методи. Структурні методи підвищення точності МВТ ґрунтуються на використанні принципу інваріантності (нечутливості), згідно з якими МВТ виконуються так, щоб зменшити їх чутливість до певної впливної величини, або їх сукупності, що призводять до тих чи інших похибок МВТ. Досить перспективними є алгоритмічні методи підвищення точності МВТ. Вони ґрунтуються на використанні таких алгоритмів обробки декількох результатів вимірювань, які дозволяють зменшити похибку вимірювань.

Пропонується також використовувати статистичні методи корекції похибки МВТ призначені для зменшення випадкової складової похибки вимірювань, коли відомі статистичні характеристики похибки (оцінка інтервалу кореляції похибки, оцінка взаємної кореляційної функції похибки тощо). Такі методи ґрунтуються на часовому осередненні результатів вимірювань, тобто на їх цифровому інтегруванні та використовуються при умові, що інтервал кореляції похибки є значно меншим від допустимого значення часу вимірювання або перетворення. Часове осереднення здійснюється на основі багаторазових вимірювань фізичної величини X постійного розміру одним МВТ за незмінних умов і з наступним обчисленням результату вимірювань, яким є середнє арифметичне значення \bar{Y} окремих результатів вимірювань Y_i , виконаних послідовно в часі:

$$\bar{Y} = \frac{1}{N_{\text{oc}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{oc}}} Y_i .$$

Середньоквадратична похибка отриманих після осереднення результатів вимірювань може бути оцінена за формулою

$$\sigma(\bar{Y}) = \frac{\sigma(Y)}{N_{\text{oc}}} ,$$

де N_{oc} – кількість відліків вимірювання, що підлягають осередненню.

Результати дослідження мікропроцесорного вимірювача температури наведені рис. 2 – 3.

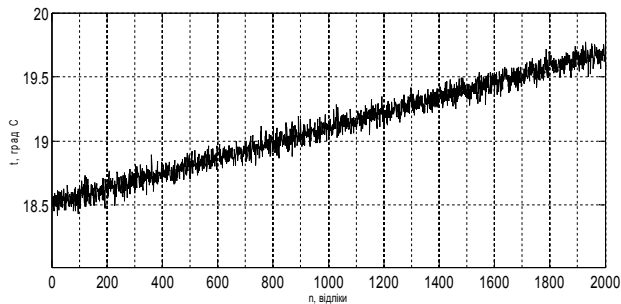


Рис. 2. Температура на виході термодатчика, з урахуванням випадкової похибки (температура термодатчика лінійно зростає)

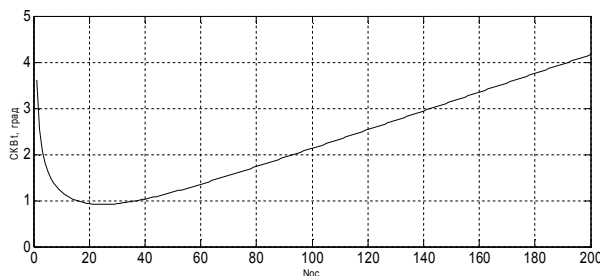


Рис. 3. Середньоквадратична похибка вимірювань, з урахуванням осереднення у мікропроцесорі (температура термодатчика лінійно зростає)

На основі проведеного дослідження було зроблено та протестовано на працездатність схематичну модель системи в середовищі Proteus, що наведена на рис. 4. РБМ є універсальними апроксиматорами і при цьому вони мають просту структуру. Розглянемо блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера, представлену на рис. 5. Спочатку програма проходить ініціалізацію та пошук датчиків. Якщо

знайдено бодай 1 датчик, то програма продовжує працювати, інакше видає помилку про відсутність датчиків та припиняє роботу. Далі програма отримує результати з датчиків і виводить дані на LCD-дисплей окремо по кожному з датчиків. Після того, як з усіх датчиків були зняті показники, програма на основі отриманих результатів регулює систему охолодження або підігріву серверної кімнати. Якщо ж охолодження або підігрів не допомогли і температура піднялась або впала від заданих налаштувань більше ніж на 5 градусів, то програма сповіщає адміністрацію про критичний стан. Далі програма повертається до зняття показників з датчиків і так знов і знов.

Для підвищення точності підтримки температури, при аналізі використовуються показники з декількох датчиків і приймається рішення про ввімкнення або вимкнення охолодження або підігріву на основі декількох датчиків. Кількість датчиків для прийняття рішення встановлюється при налаштуванні температурних кордонів. Цей показник не може бути більше ніж кількість встановлених датчиків. Так при отриманні результатів вимірюної температури з датчиків, результат кожного датчика аналізується, і якщо результат виходить за допустимі кордони, в пам'ять мікроконтролера записується кількість датчиків, які вийшли за допустимі межі. Потім, на основі кількості датчиків, які перевищили показники і налаштувань приймається рішення про ввімкнення або вимкнення охолодження або підігріву. При перевищенні температурних показників більше ніж на 5° система вмикає сигналізацію для оповіщення адміністрації про перевищення температури в серверній кімнаті. Також замість сигналізації можна підключити лінію до пульта охорони приміщення. Якщо на лінії з'явилася напруга, то це сигнал про перевищення критичних показників температури.

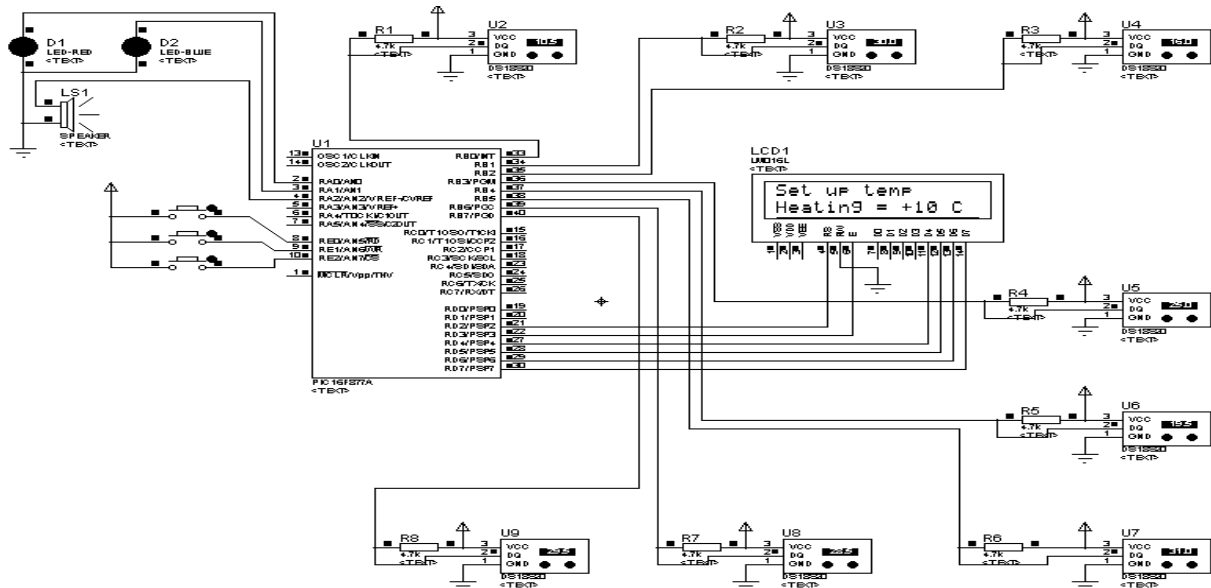


Рис. 4. Схематична модель мікропроцесорної системи контролю температури в серверній кімнаті

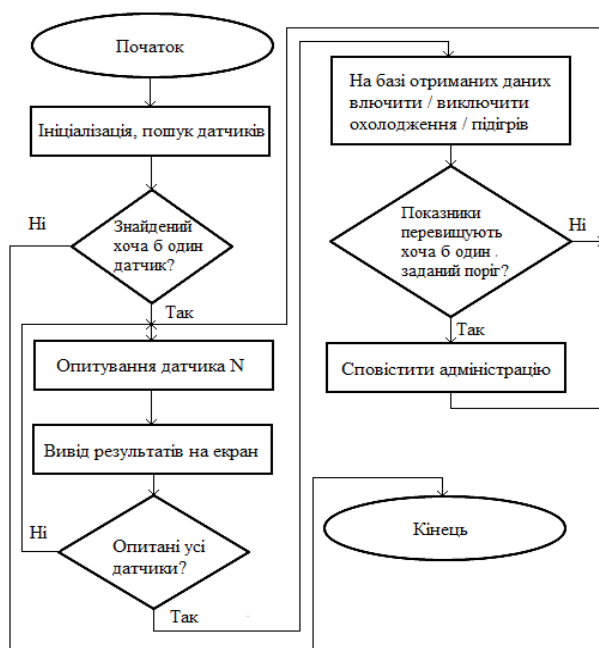


Рис. 5. Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Висновки

В статті наведені моделі та принципи функціонування мікропроцесорного вимірювача температури в серверній кімнаті з використанням декількох датчиків для прийняття більш точного рішення щодо охолодження або підігріву серверної кімнати та проведені дослідження для різних умов функціонування і характеристик температурних датчиків. Розроблені пропозиції для зменшення похибок при вимірюванні температури.

Приведено алгоритм роботи мікроконтролерної програми з описом усіх частин функціонування програми. Результати дослідження можуть бути застосовані при охолодженні серверних стійок, які знаходяться як в «проблемних» серверних кімнатах, так і тих, які відповідають усім нормам.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ TEMPERATURE СЕРВЕРНОЙ КОМНАТЫ

А.А. Подорожняк, А.Н. Клименко, Д.В. Гончаров

В статье приведено описание модели микропроцессорного измерителя температуры и проведено ее исследование для различных условий функционирования и характеристик температурных датчиков в микропроцессорных измерительных системах. Разработаны предложения по применению методов измерения температуры с корректировкой погрешности для микропроцессорных измерителей. Приведены результаты работы схмотехнической модели разработанной микропроцессорной системы контроля температуры серверной комнаты с обработкой данных от нескольких температурных датчиков и коррекцией погрешности измерений.

Ключевые слова: измерительная система, температурные измерения, микропроцессорный измеритель, обработка данных.

RESEARCH MICROPROCESSOR TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN THE SERVER ROOM

A.O. Podorozhniak, A.M. Klimenko, D.V. Honcharov

The article describes the model of the microprocessor temperature and carried out its investigation for various operating conditions and characteristics of temperature sensors in microprocessor measuring systems. Proposals on the application of temperature measurement methods with error correction for microprocessor meters have been developed. The results of the circuit-technical model of the developed microprocessor system for monitoring the temperature of the server room with data processing from several temperature sensors and correction of the measurement error are presented.

Keywords: measuring system, temperature measurement, microprocessor meter, data processing.

Список літератури

1. Датчики температуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.devicesearch.ru/article/datchiki-temperature>.
2. Hashemian H.M. Monitoring and measuring I&C performance in nuclear power plants / H.M. Hashemian. – USA: International Society of Automation, 2014. – 376 с.
3. Подорожняк А.О., Гончаров Д.В. Модель вимірювально-інформаційної системи для контролю температури у серверній кімнаті / Х. Університетська науково-практична студентська конференція магістрантів НТУ «ХПІ»: матеріали конференції: у 3-х ч. – Ч. 3. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – С. 104.
4. Дослідження моделі мікропроцесорного вимірювача системи терморегулювання / Любченко Н.Ю., Клименко А.М., Подорожняк А.О., Гурський В.М. // Стандартизація, сертифікація, якість. – К.: ДП «УНДіНЦПССтаЯ». – вип. 5 (102). – 2016. – С. 54 – 60.
5. Дослідження мікропроцесорної системи вимірювання температури / Безкоровайний П.Ю., Клименко А.М., Любченко Н.Ю., Е.К. Мирко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 2 (139). – С. 10 – 13.
6. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах / Г.Я. Мирский. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
7. Подорожняк А.О. Динамична неймережева модель первинного перетворювача / А.О. Подорожняк, О.В. Полярус, А.О. Коваль // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – 2014. – Вип. 35 (1078). – С. 152-160.
8. Кохц Д. Измерение, управление и регулирование с помощью PIC-микроконтроллеров / Д. Кохц. – К.: МК - Пресс, 2006. – 304 с.
9. Документація по PIC мікроконтролерам [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.microchip.ru>.

Надійшла до редколегії 12.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

УДК 681.5.015

А.М. Сільвестров¹, Г.І. Кривобока², Р.В. Захарченко³¹Національний технічний університет України «КПІ імені І.Сікорського», Київ²Національний університет харчових технологій, Київ³Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Розглянуто новий метод ідентифікації об'єктів за наявності випадкових похибок у вимірах вхідних і вихідних сигналів. Підтверджено можливість отримання не зміщених ефективних оцінок параметрів об'єкта запропонованим методом.

Ключові слова: ідентифікація, оцінювання, адаптивне керування.

Вступ

Отримання адекватних моделей об'єктів керування здійснюються на основі теорії ідентифікації. При ідентифікації в умовах недостатньої апріорної інформації про об'єкт та похибки вимірювань вхідних X та Y вихідних сигналів методи регресійного аналізу є малоефективними. Тому актуальним є дослідження нових методів, які малочутливі до рівня апріорного опису властивостей сигналів.

Основна частина

Інтегрований метод найменших квадратів (ІМНК) забезпечує зменшення розкиду значень функціоналу, не зменшуючи його чутливості в зоні екстремуму. Це можливо зробити для незглажених X , Y шляхом додаткового усереднення на множині квазістатистично незалежних функціоналів, близьких до середньоквадратичного [1]. Такими функціоналами можуть бути зсунуті у часі t на інтервал θ середні добутки $\frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon(t) \cdot \varepsilon(t+\theta) dt$, де $\varepsilon(t)$ – нев'язка між Y і моделлю $X\beta$. Усереднюючи їх на інтервалі $[-\tau_1, \tau_1]$ отримуємо функціонал:

$$I = \frac{1}{2} \int_{-\tau_1}^{\tau_1} \eta(\theta) \int_0^T \varepsilon(t) \cdot \varepsilon(t+\theta) dt d\theta, \quad (1)$$

де $\eta(\theta)$ – функція ваги.

Необхідною умова I по β_k , $k = \overline{1, n}$ є:

$$\frac{\partial I}{\partial \beta_k} = 0. \quad (2)$$

З виразу (2) для дискретних у часі вимірів витікає система нормальних рівнянь:

$$A \cdot \hat{\beta} = B, \quad (3)$$

де A – матриця $n \times n$ з елементами a_{ik} ; B – матриця-стовпчик $n \times 1$ з елементами b_k ,

$$a_{ij} = \sum_{k=m}^{N_1} \sum_{l=-m}^m \eta(l) \cdot [x_i(k) \cdot x_j(k+l) + x_i(k+l) \cdot x_j(k)], \quad (5)$$

$$b_j = \sum_{k=m}^{N_1} \sum_{l=-m}^m \eta(l) \cdot [y(k+l) \cdot x_j(k) + y(k) \cdot x_j(k+l)]. \quad (6)$$

Вибір вагової функції $\eta(m)$ функціоналу (1) в класі багаторазових адаптивних систем ідентифікації [2] виконується за зовнішнім показником якості роботи підсистеми верхнього рівня. Вагова функція $\eta(m)$ знаходиться у класі симетричних відносно $m = 0$ фінітних функцій:

$$\eta(m) = (1 + |m|)^{\theta} \cdot \left(1 - \cos\left(\pi |m| / m_{\text{кр}}\right)\right)^{\gamma}, \quad (7)$$

де $\theta \in (\pm \infty)$, $\gamma \in (0, \infty)$, $m_{\text{кр}}$ – визначається за умови додатної визначеності матриці A .

Розв'язок системи (3) дає оцінку вектора β :

$$\hat{\beta} = A^{-1} \cdot B.$$

Для дослідження роботи методу ІМНК використано модель в середовищі Simulink (рис. 1).

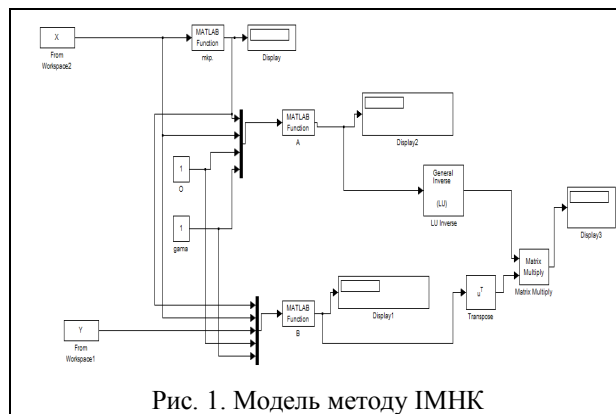


Рис. 1. Модель методу ІМНК

Тестування ІМНК. Для тестування ІМНК згенеровано множину вхідних (x_1, x_2) та вихідних (y) сигналів моделі $y(t) = \beta_1 x_1(t) + \beta_2 x_2(t) + e_y(t)$ для 1000 вимірів, де $\beta_1 = \beta_2 = 1$; $\phi \approx 30^\circ$, $t = k\Delta t$ ($k = \overline{1, N}$); $N = 1000$; $\Delta t = 0.001 T$; $x_1(t) = \sin \omega t + e_1(t)$; $x_2(t) = \sin(\omega t + \phi) + e_2(t)$; $\omega = 2\pi / T$; e_y, e_1, e_2 – 10% «білий шум».

Коефіцієнти вагової функції обрано з врахуванням типу шуму, тобто «білого шуму»: $\theta = -2$, $\gamma = 0.1$. Графік вагової функції $\eta(l, \theta, \gamma)$ подано на рис. 2.

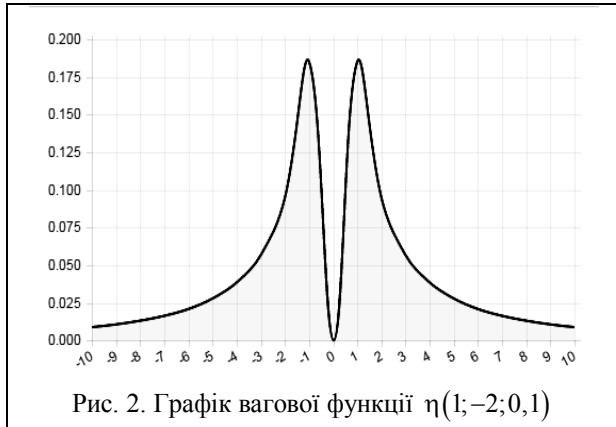


Рис. 2. Графік вагової функції $\eta(l; -2; 0,1)$

За допомогою ІМНК отримано модель $\hat{y}(t) = 0.98x_1(t) + 1.05x_2(t)$, де оцінки 0.98 та 1.05 близькі до істинних одиничних. У середовищі MS Excel, отримано модель $\hat{y}(t) = 0.76x_1(t) + 0.75x_2(t)$ із суттєво заниженими оцінками 0.76 та 0.75 істинних одиничних коефіцієнтів.

Використання ІМНК для визначення моделі зерносушарки (рис. 3). Задача полягала в оцінюванні коефіцієнтів прямих і перехресних передаточних функцій $V_{11}(p)$, $V_{12}(p)$, $W_{11}(p)$, $W_{12}(p)$, $V_{21}(p)$, $V_{22}(p)$, $W_{21}(p)$, $W_{22}(p)$, як ланок першого порядку.

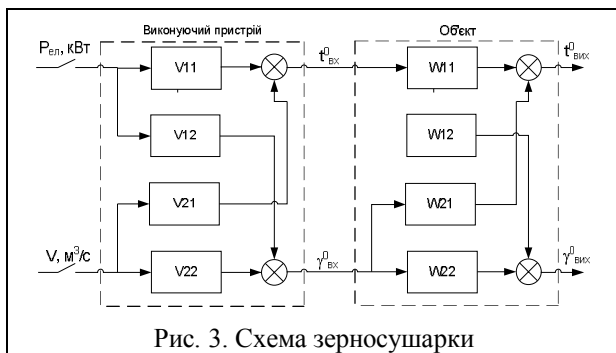


Рис. 3. Схема зерносушарки

Тоді з рівнянь виду:

$$\frac{dy}{dt}(t_n) = -\frac{1}{\tau}y(t_n) + \frac{k}{\tau}x(t_n), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N.$$

за методом ІМНК визначались $-1/\tau$, k/τ .

В результаті активного експерименту отримано:

$$V_{11}(p) = \frac{6.7}{490 \cdot p + 1}; \quad V_{12}(p) = \frac{-0.9}{310 \cdot p + 1};$$

$$W_{11}(p) = \frac{0.6}{380 \cdot p + 1}; \quad W_{12}(p) = \frac{-0.58}{525 \cdot p + 1};$$

$$V_{21}(p) = \frac{-28}{160 \cdot p + 1}; \quad V_{22}(p) = \frac{-8.7}{150 \cdot p + 1};$$

$$W_{21}(p) = \frac{-0.3}{337 \cdot p + 1}; \quad W_{22}(p) = \frac{0.4}{390 \cdot p + 1}.$$

Отримані значення коефіцієнтів передаточних функцій дають можливість побудувати розв'язку каналів керування і, взагалі, автономне оптимальне керування процесом сушіння зерна.

Висновки

Таким чином, запропонований метод ІМНК для побудови моделей об'єктів керування, в умовах недостатньої апріорної інформації про об'єкт дослідження, дає можливість не збільшуючи числа вимірювань, тобто складність і вартість натурного експерименту, отримати прості локальні моделі. Запропонований метод дозволяє об'єднати в єдину для всього діапазону змінних об'єкта ідентифікації аналітичну залежність, тобто в повну математичну модель, за допомогою вагових функцій — аналогів частотних фільтрів, без суттєвого ускладнення.

Подальше вдосконалення цього методу можливе в плані оптимізації структури вагових функцій, щоб за меншого числа n вони краще наближались до сигнум-функцій, що є аналогами ідеальних фільтрів.

Список літератури

1. Островерхов М.Я. Системи і методи ідентифікації електротехнічних об'єктів / М.Я. Островерхов, А.М. Сильвестров, О.М. Скринник, К.: НАУ, 2016. — 324 с.
2. Сильвестров А.Н. Идентификация и оптимизация автоматических систем / А.Н. Сильвестров, П.И. Чинаев, М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.
3. Зеленський К.Х., Ігнатенко В.М., Коц О.П. Комп'ютерні методи прикладної математики. — К.: Академ-періодика, 2002. — 480 с.
4. Методи теорії автоматического управління / Под. ред. Н.Д. Егунова. — М.: МГТУ им. Баумана, 2000. — 748 с.

Надійшла до редколегії .02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, професор П.І. Бідюк, НТУ України «КПІ ім. І. Сікорського», Київ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ

А.Н. Сильвестров, Г.И. Кривобока, Р.В. Захарченко

Рассмотрен новый метод идентификации объектов при наличии случайных погрешностей в измерениях входных и выходных сигналов. Подтверждена возможность получения несмещенных эффективных оценок параметров объекта.

Ключевые слова: идентификация, оценивание, адаптивное управление.

RESEARCH OF THE INTEGRATED METHOD OF AUTHENTICATION

A.M. Silvestrov, G.I. Kryvoboka, R.V. Zaharchenko

The new method of authentication of objects is considered at presence of random error terms in measuring of entrance and output signals. Possibility of receipt of the undisplaced effective estimations of parameters of object is confirmed by the offered method.

Keywords: identification, assessment, adaptive management.

УДК: 378.14.003.13

О.В. Строкань, В.М. Малкіна

Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь

МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОІОННОГО РЕЖИМУ НА ОБ'ЄКТАХ ЗІ ШТУЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ІСНУВАННЯ

З метою підвищення ефективності управління аероіонним режимом на об'єктах зі штучним середовищем існування виконаний аналіз комп'ютерних систем визначення аероіонного розподілу на горизонтальній площині. Розглянуті системи забезпечують визначення аероіонного розподілу у вигляді ізоліній різного рівня концентрації від'ємних аероіонів, по яких можна визначати зони аероіонного комфорту і дискомфорту на заданому розрахунковому рівні. На основі проведеного аналізу у роботу запропонований алгоритм моделювання аероіонного розподілу у вигляді поверхонь. Таке представлення аероіонного розподілу дасть змогу моделювати аероіонний режим у шарі повітря, що в свою чергу підвищить ефективність створення комфортних умов на робочих місцях, а також дозволить прогнозувати даний процес.

Ключові слова: аероіонний режим, ізоповерхня, алгоритм моделювання, аероіонізатор, аероіонний розподіл.

Вступ

Постановка проблеми. Мікроклімат на об'єктах зі штучним середовищем існування на відміну від відкритих просторів, можна регулювати і керувати ним, забезпечуючи нормовані показники [1, 2, 9]. Управління параметрами аероіонізаційного режиму на таких об'єктах забезпечує боротьбу з такими небезпечними для організму людини факторами як забрудненість, запиленість та загазованість повітря. Пил здатний негативно впливати на внутрішні органи і центральну нервову систему, сприяти виникненню та інтенсивному протіканню професійних захворювань. Тому боротьба із пилом в наш час набуває величезного значення. Для усунення негативного впливу повітря робочого середовища використовується спеціальні аероіонізаційні системи, головним елементом яких є аероіонізатор [3, 11, 12].

Створення комфортних умов на об'єктах зі штучним середовищем існування можливе за рахунок моделювання аероіонного розподілу від штучних джерел аероіонного випромінювання у даному середовищі, яке забезпечить визначити картину розподілення аероіонів, зони аероіонного комфорту і дискомфорту, а також прогнозувати даний процес. Тому моделювання аероіонного розподілу на об'єктах зі штучним середовищем існування є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наш час моделювання аероіонного поля на об'єктах зі штучним середовищем можливе за допомогою спеціалізованих програмних продуктів (рис. 1, 2) [6, 7]. Наведені на рис. 1-2 програмні продукти призначені для моделювання аероіонного розподілення у вигляді ізоліній – ліній однакового рівня концентрації від'ємних аероіонів.

Система моделювання аероіонного режиму, наведена на рис. 1, призначення для визначення ізоліній концентрації аероіонів у випадку одночасного використання розсіювальних аероіонізаторів

та аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання. Дана система є desktop-додатком.

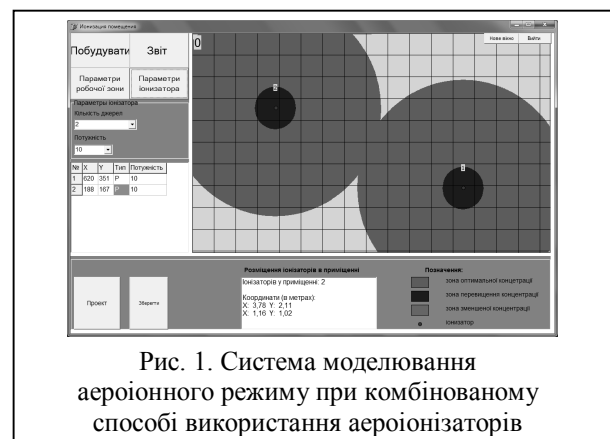


Рис. 1. Система моделювання аероіонного режиму при комбінованому способі використання аероіонізаторів

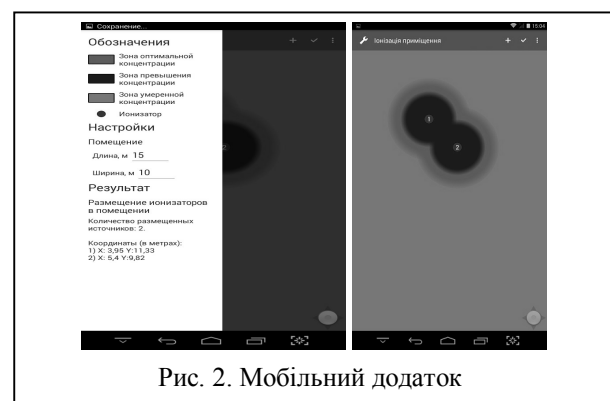


Рис. 2. Мобільний додаток

Наступним кроком у напрямку моделювання аероіонного розподілу від аероіонізаторів стала розробка мобільного додатка на базі операційної системи Android (рис. 2). Дані системи забезпечують моделювання аероіонного розподілу у вигляді ізоліній тільки на рівні, який відповідає рівню дихання людини [5 – 7]. В реальності людина знаходиться в так званому шарі дихання, який являє собою тривимірну модель концентрації від'ємних аероіонів. Тому з метою оптимізації аероіонного режиму на об'єктах зі штучним

середовищем існування пропонується розробити алгоритм моделювання аероіонного режиму у вигляді поверхні аероіонного розподілу.

Формулювання мети статті. Пропонується на основі отриманих практичних результатів дослідження розподілення концентрації аероіонів [5, 8] розробити алгоритм моделювання аероіонного розподілу від розсіювальних аероіонізаторів і аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання у вигляді поверхонь.

Виклад основного матеріалу

Для забезпечення нормативних значень концентрації від'ємних аероіонів на об'єктах зі штучним середовищем існування використовуються штучні джерела аероіонного випромінювання – розсіювальні та аероіонізатори спрямованого аероіонного випромінювання [3]. Розсіювальне джерело аероіонів рекомендується підвищувати безпосередньо над зоною аероіонного опромінювання, а аероіонізатор спрямованого аероіонного випромінювання направляти у необхідну для аероіонізації зону.

Побудова поверхонь аероіонного розподілу базується на використанні законів аероіонного розподілення [5, 8]. Розподілення концентрації аероіонів від розсіювального аероіонізатора описується рівнянням, запропонованим Кунгуровим С.Г. [8]:

$$n = 1 / (a r^2 + b), \quad (1)$$

де n – концентрація аероіонів в розрахунковій точці на площині, іон/см³; r – відстань від проекції джерела випромінювання на заданій площині до розрахункової точки, м; a, b – коефіцієнти, які характеризують силу випромінювання аероіонізатору.

Розподілення негативних аероіонів від аероіонізатора направлено аероіонного випромінювання характеризується описується виразом [5]:

$$n = n_0 2^{-h/K_H}, \quad (2)$$

де n_0 – сила випромінювання аероіонізатора, іон/см³; h – траєкторія шляху аероіона від аероіонізатора до заданого шару повітря робочої зони, м; K_H – коефіцієнт, що характеризує змінення величини концентрації аероіонів у два рази при зміні відстані на один метр.

Аналітичний опис поверхні розподілення концентрації аероіонів при і джерел випромінювання отримано, виходячи з наступних міркувань. Нехай дано і аероіонізаторів, сила інтенсивності випромінювання яких $n_1 = n_2 = \dots = n_i$ відповідно, розташованих довільно по відношенню один до одного. Для будь якої точки A^i , інцидентній заданій поверхні, віддаленій від джерел на певну відстань, справедливо співвідношення (1) для розсіювального аероіонізатора і співвідношення (2) для аероіонізатора спрямованого аероіонного випромінювання.

Складемо рівняння для моделювання аероіонного розподілення від двох розсіювальних аероіонізаторів, інтенсивність випромінювання яких n_1 і n_2 відповідно, і які розташовані на одній осі (осі x). Розрахункова точка A^i , що належить горизонтальній площині, проведеній центри аероіонізаторів n_1 і n_2 , має координати $(x_A; y_A)$ (рис. 3).

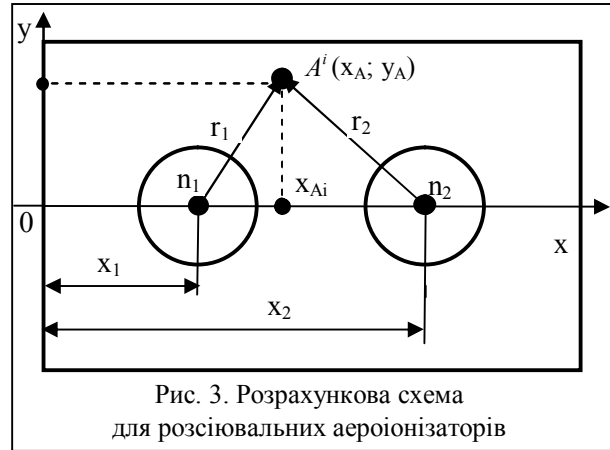


Рис. 3. Розрахункова схема для розсіювальних аероіонізаторів

Квадрат відстані r_1^2 від першого джерела аероіонного випромінювання до розрахункової точки A^i :

$$r_1^2 = x_A^2 - 2x_A x_1 + x_1^2 + y_A^2, \quad (3)$$

де x_1 — відстань від початку координат до першого джерела, м. Квадрат відстані від другого аероіонізатора r_2^2 до розрахункової точки A^i :

$$r_2^2 = x_A^2 - 2x_A x_2 + x_2^2 + y_A^2, \quad (4)$$

де x_2 - відстань від початку координат до другого джерела, м. Підставивши отримані вирази у рівняння (1), рівняння поверхні двох розсіювальних аероіонізаторів прийме вигляд:

$$n = 1 / \left(a(x_A^2 - 2x_A x_1 + x_1^2 + y_A^2) + b \right) + 1 / \left(a(x_A^2 - 2x_A x_2 + x_2^2 + y_A^2) + b \right). \quad (5)$$

Аналогічно отримуємо рівняння для 2 аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання:

$$n = n_{01} 2^{-\sqrt{r_1^2 + h_1}/K_{H1}} + n_{02} 2^{-\sqrt{r_2^2 + h_2}/K_{H2}}. \quad (6)$$

Розрахункова схема для аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання наведена на рис. 4.

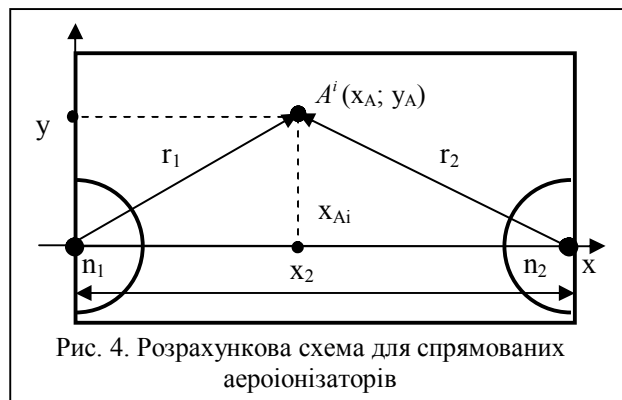


Рис. 4. Розрахункова схема для спрямованих аероіонізаторів

Враховуючі координати аероіонізаторів і розрахункової точки, отримуємо:

$$n = n_{01} 2^{-\sqrt{x_A^2 + y_A^2 + h_1^2} / K_{H1}} + n_{02} 2^{-\sqrt{x_A^2 - 2x_A x_2 + x_2^2 + h_2^2} / K_{H2}} \quad (7)$$

У випадку більшої кількості аероіонізаторів моделювання поверхні концентрації аероіонів виконується аналогічним чином за таким алгоритмом:

- вводиться декартова система координат, відносно якої визначаються координати аероіонізаторів;
- для спрощення розрахунку поверхня, яка моделюється, розбивається на сітку, вузли якої приймаються за розрахункові точки;
- за основу береться величина відрізка за ко-

ординатами кінця, що з'єднує центри джерел з розрахунковою точкою;

- визначається рівень концентрації аероіонів у розрахунковій точці;
- отримані точки з'єднуються і отримується вихідна поверхня концентрації аероіонів.

Отриманні математичні вирази опису ізоповерхонь концентрації аероіонів являються основою для розробки алгоритмів комп'ютерної візуалізації процесу розподілення концентрації аероіонів від аероіонізаторів. Як особливий випадок на рис. 5 представлені результати моделювання ізоповерхні концентрації від'ємних аероіонів на основі розробленого алгоритму для одного (а), двох (б) та трьох (в) розсіювальних аероіонізаторів.

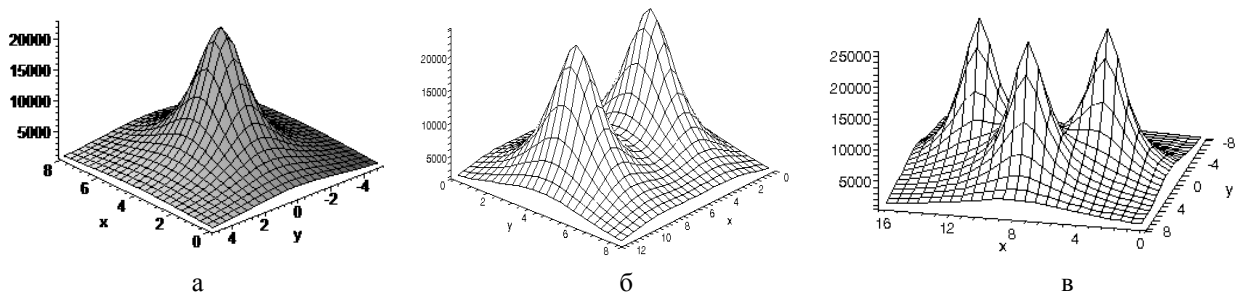


Рис. 5. Ізоповерхні аероіонів від розсіювальних аероіонізаторів

Враховуючі математичний опис ізоліній концентрації аероіонів для аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання алгоритм моделювання аероіонного поля буде включати врахування постійних параметрів – інтенсивності випромінювання, висоти підвісу, відстані між аероіонізаторами. Як особливий випадок на рис. 6 представлені результати моделювання ізоповерхні концентрації від'ємних аероіонів на основі розробленого алгоритму для двох (а) та трьох (б) аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання.

Представлення аероіонного розподілу у вигляді ізоповерхонь надає змогу аналізувати аероіонний розподіл у заданій зоні: визначати зони з підвищеним та збідненим рівнем концентрації аероіонів. В таких зонах знаходження людей не бажано. Також за допомогою наведеного алгоритму моделювання можна прогнозувати процес аероіонного розподілу і тим самим самостійно створювати необхідний аероіонний режим в точно визначеній зоні.

Подальшим розвитком запропонованого алгоритму є моделювання аероіонного розподілу при комбінованому способі використання розсіювальних та спрямованих аероіонізаторів. При такому способі спрямовані аероіонізатори встановлюються таким чином, що б спрямовувати аероіонний потік у необхідну зону, а розсіювальні аероіонізатори встановлюються безпосередньо в цій зоні. Комбіноване застосування розглянутих аероіонізаторів дозволить оптимізувати аероіонний режим на об'єктах зі штучним середовищем існування, забезпечуючи необхідний рівень концентрації аероіонів в заданій зоні [4].

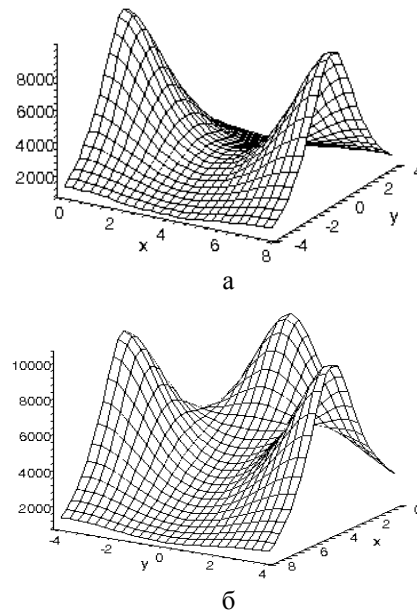


Рис. 6. Ізоповерхні аероіонів від аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання

Висновки

Моделювання аероіонного поля від штучних джерел аероіонізації у вигляді ізоповерхонь дає можливість визначити аероіонний розподіл у шарі дихання людини і, тим самим, забезпечувати заданий аероіонізаційний режим у заданому середовищі.

Перевагами запропонованого у статті алгоритму моделювання аероіонного розподілу на об'єктах зі штучним середовищем існування від розсіювальних аероіонізаторів та аероіонізаторів спрямованого

аеріонного випромінювання є представлення аеріонного поля у вигляді ізоліній. Даний алгоритм дає можливість візуалізувати процес моделювання за допомогою графічних процесорів і виконати аналіз аеріонного розподілу в зоні дихання людини. Це в свою чергу дасть змогу оптимізувати аеріонний режим згідно вимог до мікроклімату на об'єктах зі штучним середовищем існування. Також запропонований алгоритм моделювання аеріонного розподілу може бути реалізований шляхом розробки спеціалізованого програмного забезпечення, яке дасть змогу визначати аеріонний розподіл у заданому середовищі, на основі якого давати рекомендації стосовно оптимального розміщення аеріонізаторів у цьому середовищі. Алгоритм автоматизованої побудови ізоповерхні концентрації аеріонів передбачає отримання просторової моделі як рішення самостійної задачі, так і як особливий випадок при розгляді просторової моделі шляхом перетину отриманих ізоповерхонь горизонтальними площинами.

З метою раціоналізації використання розсіювальних аеріонізаторів та аеріонізаторів спрямованого аеріонного випромінювання доцільно їх використовувати сумісно.

Список літератури

1. Мещеряков А.Ю. Проблемы оценивания аэроионного состояния среды обитания. [Текст]/ А.Ю. Мещеряков, Ю. А. Федотов // Приборы и системы управления. – М., 1998. – № 11. – С.75-79.
2. Мещеряков А.Ю. Медико-биологические аспекты управления физическими характеристиками воздуха на объектах с искусственной средой обитания [Текст] / С.Н. Осипов, С.В. Колерский // Труды ИСА РАН. – 2006. – Т. 19. – С. 182.
3. Мітрофанова Т.В. Класифікація іонізаторів за принципом отримання аеріонів та їх вплив на здоров'я людини [Текст]/Т.В. Мітрофанова, Т.М. Нікітчук // Вісник ЖДТУ. – ЖДТУ, 2015. – №2(73). – с. 149- 153.
4. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. - [Чинний від 01.12.99]. – К.: МОЗ України, 1999. – 10 с.
5. Строкань О.В. Спосіб побудови ізоліній аеріонів [Текст]/ О.В. Строкань / Прикладна геометрія та інженерна графіка // Праці ТДАТУ.- Мелітополь, 2008. – Випуск 4. – Т. 39. – С.149 - 154.
6. Строкань О.В., Стрелкова М.А. Програмна реалізація задачі забезпечення проектування процесу іонізації [Текст] / М.А. Стрелкова, О.В. Строкань // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – Випуск 62(1171). – 2015. – С. 94-98.
7. Строкань О.В. Нова технологія управління фізичними характеристиками повітря на об'єктах зі штучним середовищем існування [Текст]/ Ю.О. Литвин, О.В. Строкань, М.Ю. Мирошніченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 76-80.
8. Чижевский Л.О. Аэроионификация в народном хозяйстве [Текст] / Л.О. Чижевский. - М.: Госпланиздат, 1960. – 758с.
9. Glaser D.A. Some effects of ionizing radiation on the formation of bubbles in liquids [Text]/ D.A.Glaser// "The Physical Review".- G, 1991. - v. 87. – P. 135-139.
10. Hagen D. E. Mobility of intermediate sized aqueous ions in neutral gas. [Text]/ D. E. Hagen, P.C. Yue, J. L. Kassner // J. of Colloid and Interface Science. 1995. Vol. 52. P. 526-537.
11. Bricard J. Formation and properties of neutral ultrafine particles and small ions conditioned by gaseous impurity of the air [Text] / J. Bricard // J. of Colloid and Interface Science. 1992. - Vol. 39. - P. 42-58.
12. Liu L. The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator [Text] / L. Liu, J. Guo, L. Sheng // J. of Electrostatics. 2000. 48. P. 81- 91.

Надійшла до редколегії 8.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Осадний, Мелітопольський державний педагогічний університет, Мелітополь.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОИОННОГО РЕЖИМА НА ОБЪЕКТАХ С ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ

О.В. Строкань, В.М. Малкина

С целью повышения эффективности управления аэроионным режимом на объектах с искусственной средой обитания выполнен анализ компьютерных систем определения аэроионного распределения на горизонтальной плоскости. Рассмотренные системы обеспечивают определение аэроионного распределения в виде изолиний разного уровня концентрации отрицательных аэроионов, по которым можно определять зоны аэроионного комфорта и дискомфорта на заданном расчетном уровне. На основе проведенного анализа в работе предложен алгоритм моделирования аэроионного распределения в виде поверхностей. Такое представление аэроионного распределения позволит моделировать аэроионный режим в слое воздуха, что в свою очередь повысит эффективность создания комфортных условий на рабочих местах, а также позволит прогнозировать данный процесс.

Ключевые слова: аэроионный режим, изоповерхность, алгоритм моделирования, аэроионизатор, аэроионное распределение.

MODELING AEROIONIC MODE ON OBJECTS WITH ARTIFICIAL HABITAT

O.V. Strokan, V.M. Malkina

With the purpose of increase of efficiency of management of aeroionic mode on objects with artificial habitat the analysis of computer systems definition of aeroionic distribution on a horizontal plane is considered in this article. Reviewed systems provide the definition of aeroionic distribution of isolines of different levels of concentration of negative ions, which can determine areas of aeroionic comfort and discomfort at a given current level. On the basis of the analysis in this paper, a simulation algorithm aeroionic distribution in the form of surfaces. This representation of aeroionic distribution will allow you to simulate aeroionic mode in the layer of air, which in turn will increase the efficiency of creation of comfortable conditions in the workplace, and will allow us to predict this process.

Keywords: aeroionic mode, isosurface, algorithm modeling, aeroionizator, aeroionic distribution.

УДК 621.3.049.77:620.3

О.І. Филипенко, О.О. Чала, М.І. Відешин

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ТЕХНОЛОГІЧНІ ДЕФЕКТИ ВИРОБНИЦТВА КРЕМНІЄВИХ ПІДКЛАДОК ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВІДБИВАЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ МОЕМС-ПЕРЕМИКАЧІВ

У статті розглянуто основні дефекти та способи їх мінімізації, що виникають під час виробництва кремнієвих підкладок, які використовуються у якості функціональних відбиваючих поверхонь для МОЕМС-перемикачів та безпосередньо впливають на якість оптичних дзеркал та внесені втрати у оптичну систему в цілому.

Ключові слова: мікрооптоелектромеханічні компоненти, оптичні перемикачі, оптичні дзеркала, технології, технології виробництва, кремній, втрати, кривизна оптичних поверхонь, технологічні дефекти, спотворення сигналу, технологічний контроль.

Номенклатура

МЕМС – мікроелектромеханічні системи;
МОЕМС – мікрооптоелектромеханічні системи;
ТП – технологічний процес;
ТСМ – тунелюючий скануючий мікроскоп.

Вступ

МЕМС технологія – це технологія виготовлення електромеханічних структур, що створені в обмеженому обсязі твердого тіла або на його поверхні у вигляді складних мікросистем субміліметрового розміру, що представляють собою впорядковані композиції областей матеріалу із заданим складом, структурою і геометрією, статична або динамічна сукупність яких забезпечує реалізацію процесів генерації, перетворення і передачі енергії в тісній інтеграції з сприйняттям, обробкою, трансляцією і зберіганням інформації при виконанні запрограмованих операцій і дій в необхідних умовах експлуатації з заданими функціональними, енергетичними, часовими і надійнісними показниками.

Особливою сферою застосування МЕМС є телекомунікаційні пристрої, що працюють у оптичних каналах зв'язку. Важливою перевагою МЕМС є можливість роботи на мікрорівні безпосередньо з променем світла [1].

Оптичні перемикачі – на сьогоднішній день найбільш активна область застосування МЕМС в оптичних каналах, проте вона не є єдиною.

МОЕМС-перемикачі на основі мікродзеркал застосовуються в активних джерелах, керованих фільтрах, змінних оптичних атенуаторах і пристроях корекції.

Мікроелектромеханічні перемикачі на даний момент визнаються найбільш надійними і гнучкими. Вони являють собою системи мікродзеркал, керованих мікроприводом, що налічують від сотень до тисяч дзеркальних поверхонь на одному кристалі. Дзеркала

можуть пересуватися уздовж двох (2D) або трьох (3D) осей в залежності від типу МОЕМС-пристроїв.

Той факт, що перемикання променя здійснюється без перетворення світло-електричний сигнал-світло, дозволяє уникнути обмежень спектра і спотворень сигналу, але накладає додаткові, чіткі обмеження та вимоги до якості функціональних характеристик, як окремих елементів так, і системи в цілому.

Найбільш суттєвим для оптичних перемикачів є фактична відповідність технологічних та функціональних характеристик відбиваючих функціональних поверхонь заданим.

Низка технологічних факторів, таких як: кривизна, шорсткість, деформації, різного роду мікро- забруднення можуть призвести до значних помилок в роботі системи, що характеризуються не тільки уповільненням передачі даних чи сканування, зменшенням величин потужності, що передається, та збільшенням втрат, але й спотворенням оптичного сигналу, повною або частковою втратою інформації.

Актуальність, дослідження спрямоване саме на визначення особливостей дефектів, що виникають на етапах технологічного проектування та виготовлення оптичних дзеркал і прямо впливають на якість функціональних відбиваючих покриттів оптичних компонентів МЕМС-перемикачів, що без сумніву є основною причиною внесення похибок, втрат та спотворення сигналу в оптичній магістралі в цілому.

Основна частина

В даний час відомо більше двадцяти технологічних методів та напрямків виготовлення МЕМС та МОЕМС виробів, їх кількість невпинно збільшується.

Більшість з них базується на напівпровідникових КМОП-технологіях, у яких основним функціональним і конструкційним матеріалом є кремній [2, 3].

МОЕМС – це безліч мікропристроїв найрізноманітнішої конструкції і призначення, у виробництві яких використовуються модифіковані технологічні прийоми мікроелектроніки.

Мікроелектромеханічні системи формують комбінуванням механічних елементів, датчиків і електроніки на загальній кремнієвій підкладці за допомогою технологій мікро- та нановиробництва [4].

Всі методи можна віднести до одного з наступних класів:

- об'ємної обробки з отриманням високого аспектного відношення;
- поверхневої обробки;
- змішаної технології, що використовує перші дві;
- гібридної технології зі складанням механічних та електронних частин на рівні атомно-молекулярного зрощування;
- інші (волоконні, мікромеханічної обробки, об'ємні полімерні);
- багат шарові плівкові структури [2, 3, 5].

Перш ніж перейти до розгляду цих технологічних напрямків та технологічних дефектів, що ними спричинені, необхідно відзначити істотну значимість механічних напруг, що виникають при виготовленні мікроелементів.

Більшість технологічних процесів виготовлення багат шарових структур пов'язано з високотемпературними операціями.

Через розбіжності фізико-механічних властивостей матеріалів в шарах виникають значні механічні та структурні напруги, які суттєво впливають на технологічні процеси формування шарів і складання МЕМС та МОЕМС, як і на електричні так і на оптичні параметри і якість виробів взагалі.

Кремній є технологічним матеріалом для МЕМС внаслідок можливості його нанесення у вигляді тонких плівок, високої відтворюваності форми та властивостей напівпровідникових приладів, групових методів обробки, простоти одержання ізоляції шарів, а також хімічного захисту. Корисною властивістю кремнію є залежність швидкості травлення від орієнтації кристалічної ґратки. Вона використовується для одержання різних профілів елементів конструкції. Але він має ряд недоліків, таких як:

- зазвичай мають справу із пластинами кремнію товщиною 0,25 – 0,5 мм і діаметром 50 – 200 мм. Навіть нержавіюча сталь за таких розмірів зразків легко деформується;
- як монокристалічний матеріал кремній має тенденцію розколюватися вздовж кристалографічних площин, особливо якщо крайові, поверхневі або об'ємні дефекти структури призводять до концентрації та орієнтації напружень уздовж площин відколу;

– розколювання можуть викликати ушкодження країв або появу дефектів при різанні або скрайбуванні;

– високотемпературна обробка та багаторазове нанесення тонких плівок призводять до виникнення внутрішніх напружень, які в поєднанні із крайовими, поверхневими та об'ємними недосконаlostями структури можуть призводити до напружень уздовж площин відколу.

Підсумовуючи, можна виділити три види найсуттєвіших та найпоширеніших «класичних» дефектів, що утворюються на кремнії, що є підкладкою для нанесення відбиваючого металізованого шару:

– поверхневі: утворюються за рахунок різного роду механічних обробок (ларезна порізка, шліфівка, поліровка), основним способом усунення є стравлювання поверхневого шару кремнієвої підкладки;

– кутові: за рахунок анізотропного травлення, що викликає зародки тріщин – основним способом усунення є використання ізотропного травлення, за допомогою якого закруглюються краї підкладки, що практично виключає (мінімізує) кутові дефекти;

– об'ємні: виникають за рахунок термообробки та призводять до виникнення внутрішніх напружень, які в поєднанні із крайовими, поверхневими та об'ємними недосконаlostями структури можуть призводити до концентрації напружень і наступного розколювання підкладки по площині.

Загальні правила, яких варто дотримуватися, для мінімізації виникнення дефектів, можна сформулювати наступним чином:

1. Кремній повинен мати якомога меншу щільність об'ємних, поверхневих і крайових дефектів, щоб число потенційних областей концентрації напружень було мінімальним.

2. Компоненти, які можуть піддаватися сильному тертю, абразивному впливу або механічним напруженням, повинні мати мінімальні розміри та укріплюватися від ударів механічною опорою, наприклад, з'єднанням зі склом методом анодного окислювання.

3. Всі процеси механічної обробки виключити, замінивши їх травленням.

4. У випадку різання, шліфування й інших механічних операцій після них варто обтравлювати краї та поверхню, що піддавалися механічним діям.

5. При утворенні гострих кутів, країв під час анізотропного травлення їх необхідно округлити наступним ізотропним травленням.

6. Щоб уникнути безпосередніх механічних контактів з Si, варто наносити міцні, тверді, корозійностійкі тонкоплівкові покриття SiC або Si₃N₄ методом хімічного парофазного осадження.

7. Низькотемпературні ТП, наприклад плазмове окислювання, хімічне парофазне осадження при виготовленні мікромеханічних елементів, до-

звolyають уникнути напружень, викликаних термічною неузгодженістю різних легованих, осаджених шарів і кремнію [5, 6].

MEMC-технологія виготовлення оптичних дзеркал передбачає нанесення, частіше за все на кремнієву основу (в яку можуть бути додані метали в малих кількостях для надання певних властивостей), як правило, – металічних покриттів.

Висновки

В комунікаційних мережах та радіоелектронній техніці оптичні перемикачі є одними з ключових пристроїв, оскільки вони відіграють особливу роль у контролі, моніторинзі, захисті, управлінні та інших функціях.

Використання MEMC-оптичних перемикачів є альтернативним підходом до мініатюризації і поліпшення характеристик апаратури зв'язку, що обумовлює актуальність дослідження можливостей їх застосування і поліпшення існуючих характеристик.

Для отримання виробів з високоточними заданими електрофізичними та оптичними параметрами, безвідмовною, довгостроковою, стабільною, коректною роботою в часі, а також високою надійністю окремих компонентів і вузлів необхідні високоточний контроль якості функціональних відбиваючих покриттів для MEMC-оптичних перемикачів, мінімізація часу перебування їх в безвакуумному середовищі зі створенням спеціального технологічного мікроклімату, використання герметичного обладнання для транспортування та складальних операцій, ретельне очищення виробів від забруднень та високоточне полірування на всіх технологічних етапах виробництва та технологічного, операційного, приймального, суцільного, вимірювального контролю та комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення виробництва продукції із заданим рівнем якості у заданих обсягах.

Список літератури

1. MEMS in Optical Networks [Electronic resource] Режим доступу: <http://www.allaboutmems.com/memsapplications-optical.html>. Title screen.
2. Невлюдов І.Ш., Палагин В.А., Чалая Е.А. «Технологии микросистемной техники», НТЖ «Технология приборостроения». – Х., 2014. – № 3.
3. Невлюдов І.Ш., Палагин В.А., Чалая Е.А. «Технологии микросистемной техники (часть II)», НТЖ «Технология приборостроения». – Х., 2015. №2.
4. Петерсен, К. Э. Кремний как механический материал [Текст]/ К.Э. Петерсен // ТИИЭИР. – Т. 70, № 5. – 1982. – С. 5-49.
5. Семенець, В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології [Текст]/ В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін / Харків «Комп. СМТ», 2011. – 416 с.
6. Мікросистемна техніка та нанотехнології [Текст]: монографія/ І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін, / Київ НАУ, 2017. – 528 с.
7. Чалая Е.А., Влияние поляризационных эффектов на характеристики оптических переключателей [Текст]: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та світі: стан, досягнення, перспективи розвитку», м. Черкаси., 2015. – С. 49 – 51.
8. Филипенко О.І., Чала О.О. Конструктивно-технологічні фактори втрат в оптичних перемикачах на основі МОЕМС-компонентів, Міжнародна науково-практична конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи», 10-16 березня 2014 року, Київ, Україна.
9. Чалая Е.А. Потери в оптических микрзеркалах [Текст]: Матеріали 19-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь в XXI сторіччі», Міжнародна конференція «Автоматизовані системи та комп'ютеризовані технології радіоелектронного приладобудування», Том 2, 20-22 квітня, 2015 року, Харків, Україна.

Надійшла до редколегії 8.02.2017

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. І.М. Бондаренко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОЕМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ

А.И. Филипенко, Е.А. Чалая, М.И. Видешин

В статье рассмотрены основные дефекты и способы их минимизации, возникающие при производстве кремниевых подложек, используемых в качестве функциональных отражающих поверхностей для МОЕМС-переключателей и непосредственно влияющие на качество оптических зеркал и вносимые потери в оптическую систему в целом

Ключевые слова: микрооптоэлектромеханические компоненты, оптические переключатели, оптические зеркала, технологи производства, кремний, технологические покрытия, потери, кривизна оптических поверхностей, технологические дефекты, искажение сигнала, технологический контроль.

TECHNOLOGICAL DEFECTS OF SILICON SUB-FILM PRODUCTION FOR THE FUNCTIONAL REFLECTIVE SURFACES OF MOEMS-SWITCHES

O.I. Filipenko, O.O. Chala, M.I. Videshyn

In the article the main defects and how to minimize them, resulting in the production of silicon wafers, which are used as functional surfaces for reflecting MOEMS switches and directly affect the quality of mirrors and optical insertion loss of the optical system as a whole.

Keywords: mikrooptoelektromehanichni components, optical switches, optical mirrors, technology, manufacturing technology, silicon, loss, curvature of the optical surfaces, technological defects, signal distortion, technological control.

УДК 629.1

М.Л. Шуляк

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка, Харків

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОВЕРХНІ АПРОКСИМАЦІЇ ДЛЯ ОБЛАСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ, ЩО ЗАДАЄТЬСЯ РАДІУС-ВЕКТОРАМИ ЙОГО ПРИСКОРЕННЯ

Моделювання роботи транспортного агрегату за допомогою вектора прискорення дозволяє оцінювати як енергозбереження, так і функціональну стабільність. Отримані експериментальним шляхом радіус-вектори прискорення утворюють область функціонування транспортного агрегату, за об'ємом якої можливо порівнювати різні режими роботи агрегату. Апроксимація області функціонування транспортних агрегатів, на основі поверхні другого порядку – еліпсоїда, дозволяє математично досліджувати витрати енергії при роботі агрегату. В роботі проаналізовані різні види еліпсоїдів та обрано найбільш придатний для вирішення поставленої задачі.

Ключевые слова: трактор, прискорення, апроксимація, поверхня, еліпсоїд.

Вступ

Моделювання транспортної операції, а саме функціонування трактора та машини, що транспортується є складним об'єктом, що параметризуються великим числом змінних. На значення цих змінних накладається безліч обмежень, пов'язаних з геометричними особливостями і властивостями, як об'єктів, так і умов самого процесу, що моделюються.

Аналіз джерел інформації. Для ефективної апроксимації області функціонування транспортних машин та агрегатів можливо застосувати методи зниження розмірності. При їх застосуванні множина допустимих значень змінних в вихідному просторі переходить в допустиму множину в просторі меншої розмірності. При такому перетворенні структура і властивості допустимої множини можуть істотно ускладнитися. Тим більше при переході в стислий простір втрачається інформація про властивості функціонування. У зв'язку з цим актуальною є задача апроксимації наявного набору даних, що належить допустимій множині, будь-якими простішими геометричними тілами. В роботах [1, 2] запропоновано апроксимувати область функціонування за допомогою поверхні другого порядку – еліпсоїда, але виникає питання обґрунтування саме такого вибору з наукової точки зору.

Мета роботи. Обґрунтувати вибір еліпсоїда як поверхні апроксимації області функціонування ТА.

Основна частина

Емпірична залежність компонент прискорення транспортного агрегату представлена, як сукупність радіус-векторів, що характеризують переміщення в просторі. Їх кінці формують собою кінцевий набір точок фазового простору, а допустима множина є випуклим багатогранником [3]. Найпростіший в реалізації метод апроксимації – паралелепіпед з гранями

паралельними координатним площинам, має недолік, проілюстрований на (рис. 1). У разі, якщо дані утворюють нахилене вузьке облако, усередині паралелепіпеда є великі області, які не відповідають реальним об'єктам. З ростом розмірності, обсяг «корисна множина» всередині паралелепіпеда зменшується експоненціально [4].

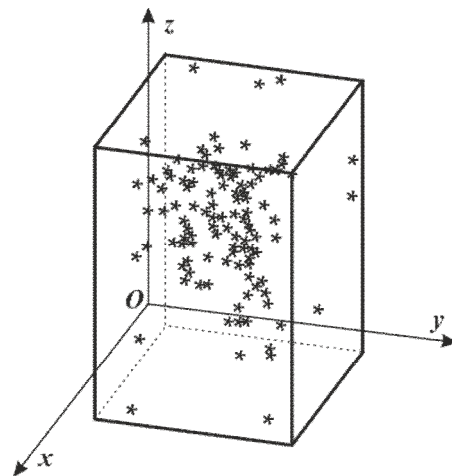


Рис. 1. Прямокутний паралелепіпед – грубе і неефективне наближення даних

Інший можливий підхід пов'язаний з побудовою випуклої оболонки даних. Побудова випуклої оболонки – обчислювально складна задача [5]. Крім того, випукла оболонка може мати досить складну структуру, що не дозволяє ефективно з нею працювати.

Для встановлення закономірностей будь-яких явищ проводяться експериментальні дослідження, в ході яких вимірюють значення тих чи інших величин. При проведенні будь-якого експерименту використовуються прилади різного ступеня точності. Тому результати будь-якого вимірювання завжди містять помилки і похибки. Як правило, при вирішенні прикладних задач необхідно визначити точ-

кові та інтервальні оцінки параметрів функцій відомого виду за отриманими експериментальними даними. У цьому випадку застосовують метод центру невизначеності (МЦН) [4]. При невеликому числі вимірювань досить точні моделі дозволяє отримати метод інтервальної оцінки параметрів трипараметричного полінома, що враховує апріорну інформацію про помилки вимірювань безпосередньо при розрахунках. Завдання належить до класу апроксимації з метою побудови однієї загальної кривої, що проходить через всі задані точки. Існує два випадки: апроксимуюча крива проходить через точки заданої функції в вузлах; крива може не проходити через точки, задані таблицею, але відхилення від них мінімально. В обох випадках намагаються мінімізувати відхилення. Складність полягає в тому, що значення координат точок задані у вигляді інтервалів. Щоб обійти подібне використовують метод центру невизначеностей, де фігурою, яка оцінює розкид параметрів апроксимуючих функцій, є еліпсоїд.

У зв'язку з цим вельми перспективним напрямком апроксимації є поверхня другого порядку – еліпсоїд, оскільки він позбавлений багатьох з перерахованих вище недоліків. Проте існує багато різних еліпсоїдів та методів їх побудови, завдання полягає в знаходженні «хорошого» еліпсоїда, що належить допустимій множині, та містить більшість точок вибірки і має найменший об'єм. Для апроксимації множини експериментальних векторів запропоновано кілька підходів з використанням різних еліпсоїдів. Ряд цих еліпсоїдів отримують при проведенні серії експериментів. В даний час відомо кілька класичних еліпсоїдів [4]. Завдання оптимізації формулюються у вигляді задач випуклого програмування з обмеженнями виду лінійних матричних нерівностей.

Деякі еліпсоїди (еліпсоїд мінімального об'єму, який містить всі задані точки) в своєму класичному формулюванні не враховує наявності допустимої множини. Для випадку, коли допустима множина є випуклий багатогранник, запропонована процедура «вписування» еліпсоїдів в допустиму множину. Необхідною умовою застосування еліпсоїда мінімального об'єму є потрапляння мінімум точок за межі поверхні апроксимації [4].

Рівняння еліпсоїда матиме вид:

$$E = \left\{ \bar{x}_a \mid (\bar{x}_a - \hat{I})^T P_a^{-1} (\bar{x}_a - \hat{I}) \leq 1 \right\}, \quad (1)$$

де \bar{x}_a – кінець радіус-вектора повного прискорення агрегату; \hat{I} – центр еліпсоїда, для ідеального випадку співпадає з початком системи координат, P_a – його матриця.

Запропоновані методи відрізняються різними підходами до визначення центру і матриці еліпсоїда.

Є вибірка точок:

$$X_a = \{ \bar{x}_{ai} \}_i^N, \bar{x}_{ai} \in R^d. \quad (2)$$

Допустиме множина є випуклий багатокутник, заданий системою лінійних нерівностей.

Розглянемо еліпсоїди, які будуються виключно на множині точок і не враховують накладаються на них обмеження та еліпсоїди, які добре описують багатогранник, але можуть погано описувати множину точок. Для виправлення цих недоліків була розроблена додаткова процедура, яка змінює параметри еліпсоїда таким чином, що він належить допустимій множині, і краще описує облако точок.

Еліпсоїд головних компонент описує множину точок матрицею головних компонент (рис. 2).

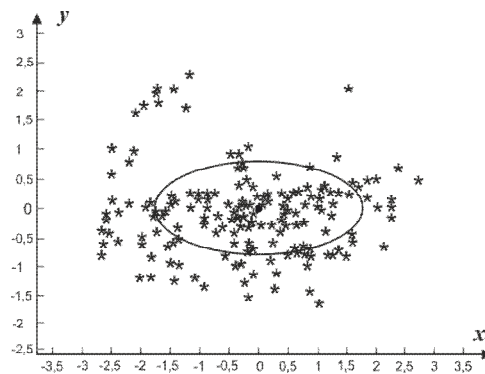


Рис. 2. Еліпсоїд головних компонент

Центром еліпсоїда головних компонент є середнє арифметичне точок вибірки:

$$O = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{x}_{ai}. \quad (3)$$

а матрицею еліпсоїда є коваріаційна матриця вибірки:

$$P_a^{-1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{x}_{ai} - O)(\bar{x}_{ai} - O)^T. \quad (4)$$

Еліпсоїд мінімального об'єму. У неформальній постановці завдання було відмічено, що одним з критеріїв «якості» еліпсоїда є його невеликий об'єм. Тому сформулюємо і вирішимо завдання знаходження еліпсоїда мінімального об'єму, що містить всі задані точки вибірки (рис. 3).

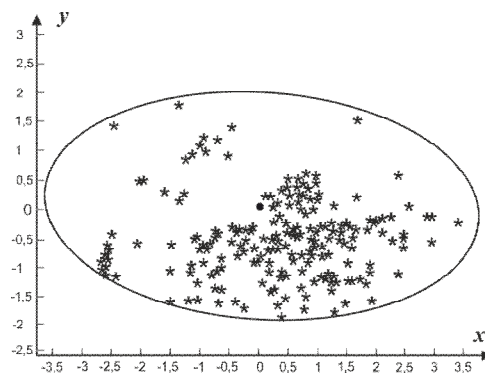


Рис. 3. Еліпсоїд мінімального об'єму, що містить задані точки

Об'єм еліпсоїда обчислюється за формулою:

$$\text{vol}(E) = w_n (\det P_a)^{1/2}, \quad (5)$$

де w_n – об'єм одиничного n-мірного шара.

Тому оптимізаційна задача для знаходження даного еліпсоїда має вигляд [6]:

$$\min_{P_a, O} (\det P_a) \text{ s.t. } (x_{ai} - O)^T P_a^{-1} (x_{ai} - O) \leq 1, \quad (6)$$

$$i = 1 \dots N.$$

За допомогою леми Шура і заміни змінних $Q = P_a^{-1/2}$ и $b = P_a^{-1/2} \cdot O$ її можна переписати з використанням лінійних матричних нерівностей у вигляді задачі лінійного програмування:

$$\min_{Q, b} -\ln \det Q$$

$$\text{ s.t. } \begin{bmatrix} 1 & (Qx_{ai} - b)^T \\ Qx_{ai} - b & 1 \end{bmatrix} \geq 0, i = 1 \dots N, \quad (20)$$

Функція $-\ln \det Q$ є випуклою [7].

Еліпсоїд з мінімальним слідом його матриці будувався через мінімізацію детермінанта. Спорідненою до цього завдання є завдання мінімізації сліду матриці еліпсоїда (рис. 4):

$$\min_{P_a, c} (\text{tr } P_a) \text{ s.t. } (x_{ai} - O)^T P_a^{-1} (x_{ai} - O) \leq 1, \quad (21)$$

$$i = 1 \dots N.$$

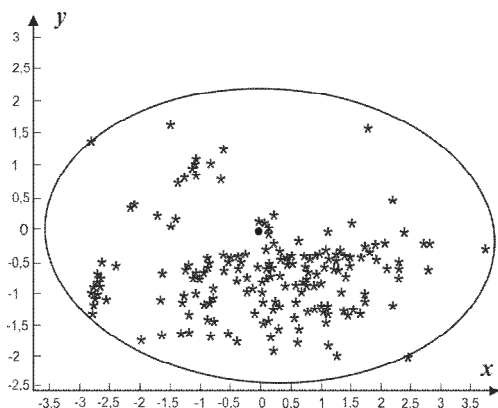


Рис. 4. Еліпсоїд з мінімальним слідом його матриці

За допомогою леми Шура обмеження можуть бути записані у вигляді системи лінійних матричних нерівностей:

$$\begin{bmatrix} P_a & x_{ai} - c \\ (x_{ai} - c)^T & 1 \end{bmatrix} \geq 0, \quad i = 1 \dots N, \quad (22)$$

Еліпсоїд максимального об'єму (рис. 5). Для опису многогранника може бути використаний еліпсоїд, що належить многограннику, і має максимальний об'єм. Нехай многогранник задається системою лінійних нерівностей:

$$a_k^T x_a \leq b_k, k = 1 \dots M, \quad (23)$$

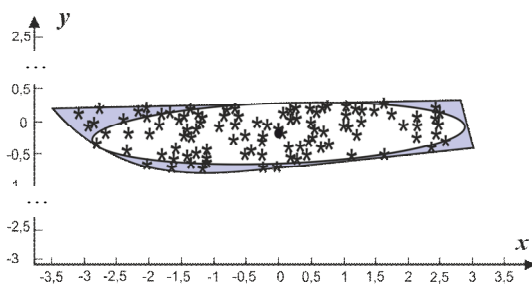


Рис. 5. Еліпсоїд максимального об'єму, що міститься в многограннику

Тоді поставлену задачу можна сформулювати наступним чином [5]:

$$\min_{B, O} -\log \det B$$

$$\text{ s.t. } \begin{bmatrix} (b_k - a_k^T O)I & Ba_k \\ (Ba_k)^T & (b_k - a_k^T O) \end{bmatrix} \geq 0, \quad (24)$$

де матриця B виражається через матрицю еліпсоїда $B = P_a^{-1/2} > 0$.

Еліпсоїд Дікіна (рис. 6). Для системи лінійних нерівностей (23), яка задає не порожній обмежений многогранник розглянемо логарифмічну бар'єрну функцію:

$$\phi(x_a) = -\sum_{k=1}^M \log(b_k - a_k^T x), \quad (25)$$

Точка x_{a1} , в якій ця функція досягає мінімуму, називається аналітичним центром многогранника.

Гесіан бар'єрної функції розраховується за формулою:

$$H(x_a) = \nabla^2 \phi(x_a) = \sum_{k=1}^M d_k^2 a_k a_k^T, \quad (26)$$

$$\text{де } d_k = \frac{1}{b_k - a_k^T x_a}.$$

Еліпсоїдом Дікіна називається еліпсоїд з центром в точці x_{a1} і матрицею $(H(x_{a1}))^{-1}$.

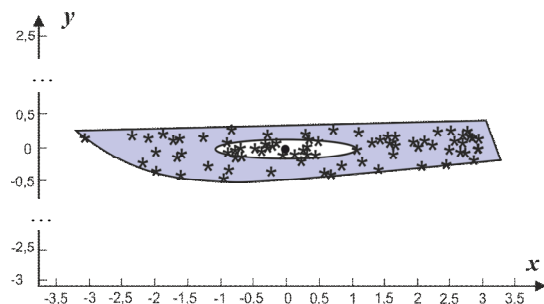


Рис. 6. Еліпсоїд Дікіна

Якщо многогранник має витягнуту форму, то таким же буде і еліпсоїд. Недоліком еліпсоїда Дікіна є залежність вирішення оптимізаційної задачі від залежних нерівностей у системі.

У просторах малої розмірності таких нерівностей може бути багато. Тому необхідно перед побудовою еліпсоїда Дікіна відфільтрувати залежні нерівності, щоб еліпсоїд описував реальний многогранник.

Як вказувалося, у процесі побудови деяких еліпсоїдів не беруть до уваги многогранник існуючих обмежень, а при побудові інших еліпсоїдів враховується тільки цей многогранник.

Розглянуто порівняння еліпсоїдів за двома критеріями: об'єму і кількості точок, які не містяться в еліпсоїді (табл. 1). Розглянуто кілька класичних підходів до пошуку «хорошого» еліпсоїда. Однак можна

розглянути задачу двохкритеріальної мінімізації об'єму і кількості виключених з еліпсоїда точок вибірки за умови, що еліпсоїд належить многограннику.

Таблиця 1

Порівняння еліпсоїдів
для апроксимації множини

Еліпсоїд	Об'єм	n
Еліпсоїд головних компонент	$0,1286 \cdot 10^3$	15
Еліпсоїд мінімального об'єму	$0,561 \cdot 10^2$	26
Еліпсоїд з мінім. слідом матриці	$0,839 \cdot 10^2$	26
Еліпсоїд максимального об'єму, що міститься в многограннику		
– доп. паралелепіпед в вихідному просторі	$0,613 \cdot 10^2$	5
– доп. паралелепіпед в стиснутому просторі	$0,1057 \cdot 10^3$	49
Еліпсоїд Дікіна (доп. паралелепіпед в вихідному просторі)	$0,577 \cdot 10^3$	15

n – кількість точок за межами поверхні апроксимації

Проаналізувавши порівняння еліпсоїдів для апроксимації множини можливо підкреслити основні, що відповідають вимогам даного дослідження. Найбільш прийнятними для застосування є еліпсоїди з номерами 1, 2, 4, бо вони домінують над іншими як по показникам об'єму так і по кількості точок вибірки, що знаходяться поза межами поверхні апроксимації. Для практичного застосування необхідно спростити апроксимацію результатів дослідження базуючись на проведеному пошуку «хорошого» еліпсоїда. Для порівняльних досліджень наявність кількох методик апроксимації з різним кінцевим результатом по об'єму може привести до протиріч в оцінці того чи іншого режиму, чи агрегату, тому запропоновано в подальшому застосовувати «Еліпсоїд мінімального об'єму».

Висновки

Результатами дослідження виявлено, що найкраще апроксимує область функціонування ТА поверхня другого порядку – еліпсоїд. Аналіз різних, за методами побудови еліпсоїдів дозволяє стверджувати, що «Еліпсоїд мінімального об'єму» найбільш доцільно використовувати для оцінки функціонування ТА та вибору раціональних режимів його роботи.

Список літератури

1. Шуляк М.Л. Область функціонування машинотракторного агрегату, що апроксимована поверхнею другого порядку / М.Л. Шуляк // Технічні науки: зб. наук. праць ВНАУ. – Вінниця, 2016. – Вип. 1(93), т. 1. – С. 28 – 31.
2. Шуляк М.Л. Вибір раціонального режиму роботи МТА на основі аналізу еліпсоїда функціонування / М.Л. Шуляк // Інженерія природо користування – 2016. – № 2 (6). – С. 99 – 104.
3. Шуляк М.Л. Оцінка функціонування сільськогосподарського агрегату за динамічними критеріями / М.Л. Шуляк, А.Т. Лебедев, М.П. Артёмов, Є.І. Калінін // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів – 2016. – № 4. – С. 218 – 226.
4. Бедринцев А. А. Представление данных с помощью минимальных эллипсоидов / А. А. Бедринцев, В. А. Чепыжов. // Труды 56-й научной конф. Управление и прикладная математика. – М.: МФТИ, 2013. – С. 55 – 60.
5. Stephen Boyd et al., Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory, SIAM studies in applied mathematics ; vol. 15, 1994.
6. C. Bradford Barber et al., The Quickhull Algorithm for Convex Hull, ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 22, No. 4, 1996, pp. 469-483.
7. Boyd S., Convex Optimization, Cambridge University Press, 2004.

Надійшла до редколегії 14.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Т. Лебедев, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОВЕРХНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ОБЛАСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА, ЗАДАЮЩЕЙСЯ РАДИУС-ВЕКТОРОМ ЕГО УСКОРЕНИЯ

М.Л. Шуляк

Моделирование работы транспортного агрегата с помощью вектора ускорения позволяет оценивать как энергосбережение, так и функциональную стабильность. Полученные экспериментальным путем радиус-вектора ускорения образуют область функционирования транспортного агрегата, по объему которой можно сравнивать различные режимы работы агрегата. Аппроксимация области функционирования транспортных агрегатов, на основе поверхности второго порядка – эллипсоида, позволяет математически исследовать затраты энергии при работе агрегата. В работе проанализированы различные виды эллипсоидов и выбран наиболее подходящий для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: трактор, ускорение, аппроксимация, поверхность, эллипсоид.

SUBSTANTIATION OF THE SURFACE SELECTION FOR THE APPROXIMATION OF THE REGION OF FUNCTIONING OF THE TRANSPORT UNIT, WHICH IS DETERMINED BY THE RADIUS VECTOR OF THE TOTAL ACCELERATION

M.L. Shulyak

Modeling the work of the transport aggregate with the help of the acceleration vector, allowing to estimate energy saving and functional stability. The acceleration radius vectors obtained experimentally form the area of functioning of the transport unit by volume of which it is possible to compare the various modes of operation of the unit. Approximation of the area of functioning of transport units, in the basis of the second order surface - ellipsoid, permitting mathematically to explore the energy loss in the work unit. In this article, various types of ellipsoids are analyzed and the chosen one most suitable for the solution of this problem.

Keywords: tractor, acceleration, approximation, surface, ellipsoid.

Математичні моделі та методи

УДК 681.324

О.В. Барабаш¹, В.В. Кіреєнко²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КОДУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Стаття присвячена адаптації відомих евристичних алгоритмів для вирішення задач забезпечення структурної надійності системи передачі радіолокаційної інформації із застосуванням методів налаштування їх параметрів до вирішення поставлених задач з використанням евристичного підходу. Зважаючи на характер ієрархічної побудови існуючої системи передачі радіолокаційної інформації дослідження проводились за допомогою графової моделі, а саме розглядалися питання побудови оптимально-зв'язних структур. Ефективність вирішення задач впливає в кінцевому результаті на якість отриманих рішень. Так як синтез топології системи передачі радіолокаційної інформації пов'язано з витратами на прокладку резервних каналів передачі та їх обслуговування, то якість отриманих структур системи має важливе значення. На основі отриманих результатів з'являється можливість оптимальним чином обирати необхідну структуру системи передачі радіолокаційної інформації за критерієм максимуму функціональної стійкості.

Ключові слова: система передачі радіолокаційної інформації, неорієнтований граф, структура.

Вступ

Постановка проблеми. При вирішенні задачі проектування та модернізації топології системи передачі радіолокаційної інформації (СПРІ) в якості моделей використовується орієнтовані та неорієнтовані графи, мережі Петрі, моделі масового обслуговування, нечіткі графи, гіперграфи. Відношення між елементами структури СПРІ формалізуються шляхом використання математичного апарату теорії графів.

Проте інформаційні технології при визначенні оптимальної побудови СПРІ, як основи для проведення всіх розрахунків даної складної системи, практично не використовуються, а це, як наслідок, спричиняє неповне використання бойових можливостей угрупованням радіотехнічних військ.

Для вирішення задач визначення оптимальної топології системи передачі радіолокаційної інформації розглянемо можливість застосування наступних евристичних алгоритмів: генетичного, імунного та методу імітації отжигу.

Для синтезу оптимальних топологій СПРІ з використанням евристичних алгоритмів вирішуються такі задачі: побудова функцій кодування (декодування) задачі до зручного вигляду для роботи евристичних алгоритмів; побудова функції оцінювання згенерованих результатів; розробка методу генерації початкової множини рішень; розробка способу відбору рішень на наступну ітерацію алгоритму; налаштування параметрів евристичного алгоритму.

Ефективність вирішення запропонованих задач в кінцевому рахунку впливає на якість отриманих

результатів. Розглянуті евристичні алгоритми є ітераційними. На кожному етапі відбувається формування нових рішень на основі вже існуючих та відбір на нову ітерацію найбільш ефективних.

На кожній ітерації евристичні алгоритми будуть опрацьовувати деяку множину топологій. Евристичні алгоритми продовжують свою роботу до тих пір, поки дозволяють обмеження, або не буде згенерована задана кількість ітерацій. У множині рішень будуть отримані результати заданої якості.

Недоліки існуючих методів і алгоритмів визначення оптимальної побудови СПРІ обумовлені наявністю внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів, які на етапі побудови не враховуються, але є достатньо суттєвими. Практична відсутність комп'ютеризації підтримки рішення при побудові СПРІ в сукупності вимагають пошуку вирішення цієї задачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Об'єм і характер розв'язуваних системами передачі радіолокаційної інформації задач, а також вимоги, що висуваються до їх рішення, в значній мірі визначають принципи побудови СПРІ. Науково-обґрунтовані підходи до побудови СПРІ [1 – 3] відкривають нові можливості для підвищення виконання завдань за призначенням, підвищення надійності і живучості радіотехнічних комплексів у цілому. Разом з тим, зростає необхідність підвищення показників ефективності СПРІ, тому що прорахунки у побудові структури СПРІ можуть привести до суттєвих негативних наслідків.

Аналіз літератури показав [4 – 6], що особливості функціонування СПРІ вимагають обґрунтованих підходів до підвищення ефективності. Існуючи

особливості роботи СПРІ дозволили зробити висновок про те, що, незважаючи, на діючи підходи до її побудови, досліджувані в них математичні моделі складних систем не здатні адекватно описати процес функціонування СПРІ.

Метою статті є адаптація евристичних методів для визначення оптимальної побудови структури системи передачі радіолокаційної інформації та подальшим оцінюванням функціональної стійкості.

Виклад основного матеріалу дослідження

При вирішенні завдань синтезу топологій мереж, побудованих на великій кількості вузлів, точні алгоритми побудови рішень не працюють. Тому застосовуються евристичні методи. Проте, при проектуванні топологій мереж евристичними методами в результаті роботи класичних операторів, таких, як кросовер і мутація генерується значна частка неприпустимих рішень, що представляють собою незв'язні граф-моделі. Аналіз робіт [1, 2, 5] в цій області показав, що автори враховують цю особливість, як правило, відкидаючи неприпустимі рішення.

Евристичні алгоритми [6, 7], працюють з бітовими рядками що описують рішення. Тому необхідно розробити механізми кодування топологій мережі передачі даних в бітовий рядок та її декодування. При цьому від способу кодування і розміру бітового рядка залежить обчислювальна складність алгоритмів.

Початковим етапом під час вирішення оптимізаційної задачі є визначення простору множини всіх можливих рішень. У загальному вигляді це є простором потенційних рішень з заданими обмеженнями, що містить множину зв'язних топологій структури системи передачі радіолокаційної інформації.

Необхідно розробити методи коректування отриманих неприпустимих рішень, забезпечивши їх різноманітність з метою якісного дослідження області допустимих рішень, дослідження структурних зв'язків граф-моделі мережі і локалізації уразливих структурних частин СПРІ.

Крім того, модернізація СПРІ є ітераційним процесом, побудованим на аналізі топології існуючої мережі. Синтез її структури направлено на урахування сукупності обмежень, що існує на практиці при формуванні множини альтернативних рівноцінних рішень для їх подальшого дослідження. Вибір одного рішення здійснюється із застосуванням експертних методів та повторення ітерацій аналізу і синтезу у разі виявлення нових обмежень та формування вимог до функціональної стійкості СПРІ.

Для подальших досліджень скористуємось математичною моделлю у вигляді неорієнтованого графа [2], вузлам і ребрам відповідають кінцеві пункти (вузли комутації) і лінії передачі

$$G(V, L), \quad V = \{i\}, \quad L = \{l_{ij}\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Вважатимемо, що у графі $G(V, L)$ відсутні орієнтовані ребра, оскільки передача інформації в реальних СПРІ про повітряну обстановку здійснюється в двох напрямках. Вважатимемо, що в графі відсутні петлі та кратні ребра. Граф можна задати 3 способами:

– матрицею зв'язності розміром n

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i, j = 1 \dots n, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } l_{ij} \in L; \\ 0, & \text{при } l_{ij} \notin L. \end{cases} \quad (1)$$

– списком суміжності, якому кожній вершині N_{V_i} ставиться у відповідність список вершин, суміжних з v_i . Під цей список досить відвести $\deg(v_i)+1$ чарунок – по одній на кожен елемент і одна чарунка для позначення кінця списку. Крім того, формується список $N = (N_1, N_2, \dots, N_n)$, де N_i – номер чарунки, у якій зберігається перший елемент списку. Отже, такий спосіб представлення графа вимагає $m = |L|$ чарунок пам'яті;

– матрицею інцидентності розмірністю $n \times m$.

Запишемо параметри досліджуваних рішень у вигляді бінарного рядка розмірністю $n^*(n-1)/2$, який дорівнює потужності множини E^{all} . Кожному елементу множини E^{all} ставиться відповідна змінна, яка визначає приналежність даного елемента до множини E^* . Нехай кожна змінна x_i для i -го елемента ($i = 1, \dots, n^*(n-1)/2$) у множині E^{all} може приймати тільки два значення:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо ребро } e_i \text{ існує;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2)$$

У відповідності з (2), постановка задачі побудови оптимальної топології СПРІ має такий вигляд:

$$\begin{cases} Q(x_1^{\text{opt}}, x_2^{\text{opt}}, \dots, x_m^{\text{opt}}) = \text{opt} Q(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*); \\ X = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) \in T^{\text{allow}}, \end{cases} \quad (3)$$

де $Q(x)$ – цільова функція, $X = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ – множина допустимих рішень, $x_1^{\text{opt}}, x_2^{\text{opt}}, \dots, x_m^{\text{opt}}$ – оптимальне рішення.

Зазначмо, якщо змінна x_i буде мати s значень, то для її кодування буде потрібний бінарний підрядок довжиною $\log(2s)$, а загальна довжина бітового рядка, буде відповідно дорівнювати $E^* \log(2s)$. Кожний параметр цільової функції кодується за допомогою одного біта бітового рядка, тобто значення i -го біта бітового рядка відповідає значенню параметру.

В якості прикладу кодування розглянемо елемент типової структури СПРІ, яка представлена на (рис. 1), а її граф-модель відповідно на рис. 2.

Якщо в топології структури СПРІ можливо реалізувати будь-який канал зв'язку, то цільова функція $Q(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ залежить від значень аргументів, тобто розмірність матриці інцидентності буде дорівнювати $n \times m$ (рис. 3).

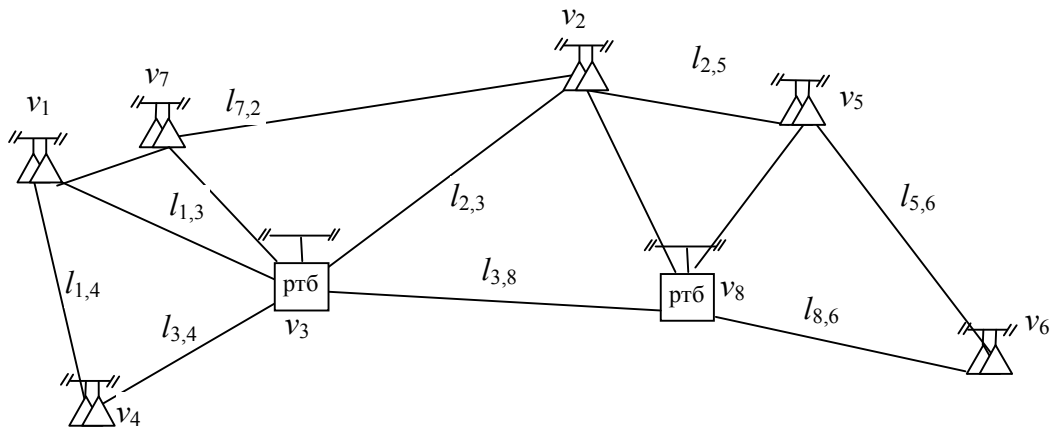


Рис. 1. Елемент структури СПРІ

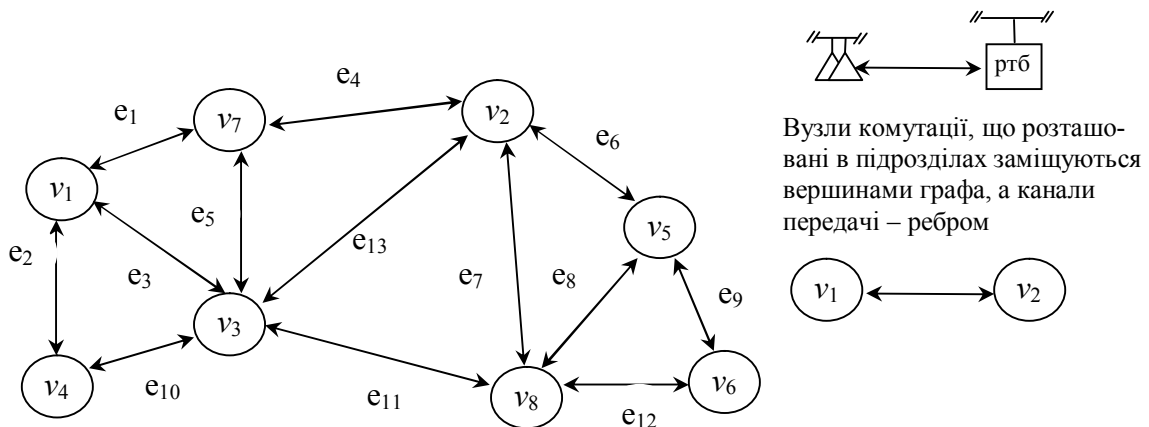


Рис. 2. Неорієнтований граф структури СПРІ

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	\cdot	\cdot	e_{28}
v_1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	.	.	0
v_2	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	.	.	0
v_3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	.	.	0
v_4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	.	.	0
v_5	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	.	.	0
v_6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	.	.	0
v_7	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	.	.	0
v_8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	.	.	0

Рис. 3. Приклад повної матриці інцидентності структури СПРІ

При цьому наявність одиничного значення змінної x_i визначає існування ребра e_i . Наприклад, x_2 визначає існування e_2 .

Тоді бітовий рядок, який кодує рішення топології структури СПРІ має наступний вигляд (рис. 4).

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{28}
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Рис. 4. Бітовий рядок, який кодує рішення

Таким чином, графу, що представлено на рис. 2, буде відповідати згенерований бітовий рядок (рис. 5).

1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Рис. 5. Значення бітового рядка

Після завершення ітераційних процесів роботи евристичних алгоритмів необхідно виконати декодування отриманого результату, тобто виконати перетворення бітового рядка в топологію структури. Задача функції декодування полягає у відображенні бітового рядка X у рішення, тобто множина E^* , яка описує оптимальну топологію структури СПРІ. Декодування бітового рядка у множині E^* здійснюється наступним чином.

Елемент e_1 множини E^{all} , який описується матрицею інцидентності, додаємо до множини $E^*(e_1 \in E^*)$, якщо відповідне значення $b_1 = 1$ та елемент множини $E^*(e_1 \notin E^*)$, якщо відповідне значення $b_1 = 0$, де b_i – біт з номером i бітового рядка X .

Після отримання множини ребер E^* результат видається у вигляді неорієнтованого графу G .

На практиці, при вирішенні задачі синтезу топології структури системи передачі радіолокаційної інформації, особливо при введенні оптимальним чином додаткової лінії зв'язку, на існуючу структу-

ру можуть бути веденні додаткові обмеження (умови):

- 1) попереднє включення в топологію підмножини E^+ каналів зв'язку, реалізація яких обов'язкова;
- 2) виключення існування в топології підмножини E каналів зв'язку, реалізація яких на практиці неможлива в силу фізичних обмежень

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, найбільш прийнятним способом формального опису структури системи передачі радіолокаційної інформації на етапі вибору оптимальної топології з заданими обмеженнями є застосування методу кодування. Зазначені обставини сприяють застосуванню відомих евристичних алгоритмів для вирішення задачі синтезу структури системи передачі радіолокаційної інформації за визначеними критеріями та обмеженнями.

За використанням методом кодування при вирішенні задачі синтезу СПРІ можна корегувати параметри алгоритмів у відповідності з поставленими задачами до системи передачі радіолокаційної інформації.

Отримані наукові результати можуть знайти подальше застосування під час наукових досліджень в напрямку розроблення перспективних систем передачі даних.

Список літератури

1. Пирогов В.В. Исследование применимости генетических алгоритмов в автоматизированном проектировании вычислительных сетей и в задачах размещения / В.В. Пирогов. – Ульяновск.: 2001. – 199 с.
2. Рубан І.В. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І.В. Рубан, Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.
3. Кучук Г.А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 7 (123). – С. 93 – 96.
4. Барабаш О.В. Формалізований опис структури системи радіолокаційної розвідки повітряного противника з використанням елементів теорії графів / О.В. Барабаш, В.В. Кірієнко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС. – № 1 (14). – 2014. – С. 108 – 111.
5. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения: монография / А.В. Шмалько. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
6. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1981. – 336 с.
7. Харитонова Е.В. Графы и сети / Е.В. Харитонова. – М.: Наука, 2006. – 92 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Вишнівський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОДИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.В. Барабаш, В.В. Киреенко

Статья посвящена адаптации известных эвристических алгоритмов для решения задач обеспечения структурной надежности системы передачи радиолокационной информации с применением методов настройки их параметров к решению поставленных задач с использованием эвристического подхода. Ввиду характера иерархического построения существующей системы передачи радиолокационной информации исследование проводилось с помощью графовой модели, а именно рассматривались вопросы построения оптимально связанных структур. Эффективность решения задач влияет в конечном результате на качество полученных решений, а так как синтез топологии системы передачи радиолокационной информации связан с расходами на прокладку резервных каналов передачи и их обслуживания, то качество полученных структур системы имеет важное значение. На основе полученных результатов появляется возможность оптимальным чином избирать необходимую структуру системы передачи радиолокационной информации за критерием максимума функциональной стойкости.

Ключевые слова: система передачи радиолокационной информации, неориентированный граф, структура.

APPLICATION OF METHOD OF ENCODING IN THE PROCESS OF DECISION IN TASK OF SYNTHESIS TO STRUCTURE THE SYSTEM AND PASSING TO RADIO-LOCATION INFORMATION

O.V. Barabash, V.V. Kireienko

The article is devoted adaptation to the known heuristic algorithms for the decision to tasks of providing of structural reliability of the system of radio-location information transfer with the use of methods of tuning their parameters to the decision of the put tasks with the use of heuristic approach. Because of character of hierarchical construction and the existent system of radio-location information the research transfer conducted by a graph model, the questions of construction of optimum coherent structures were namely examined. Efficiency of decision of tasks influences in an eventual result on quality of the got decisions, and so as a synthesis of topology of the system of radio-location information transfer is related to the charges on the gasket of reserve channels of transmission and their service, quality of the got structures of the system has an important value. Because of character the hierarchical construction of the existent system of passing to radio-location information, researches were conducted by a count model, the questions the construction optimum of coherent structures were namely examined. On the basis of the got results possibility appears by an optimum rank to elect the necessary structure of the system of radio-location information transfer after the criterion on the maximum of functional firmness.

Keywords: system of radio-location information transfer, a count, structure, is unoriented.

УДК 004.925

В.М. Гусятин, М.В. Гусятин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДА СФЕРИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В статье рассмотрены вопросы построения плоских и пространственных кривых методом сферической интерполяции. Приведены конечные соотношения для определения точки гладких кривых и поверхностей. Приведены результаты моделирования в пакете Wolfram Mathematica кривых и поверхностей с оценкой погрешностей. Совмещение метода сферической интерполяции и синтеза изображений кривых и поверхностей методом обратного трассирования (Ray Tracing) дает возможность использовать существующие базы данных кривых, заданных отрезками прямых линий, и триангулированных поверхностей, используемых для конструирования различных объектов в современной компьютерной графике, с сохранением высокого реализма, присущего методу обратного трассирования.

Ключевые слова: метод обратного трассирования, моделирование пространственных кривых и поверхностей, квадрик, метод сферической интерполяции.

Введение

Выполнение требования высокой реалистичности синтеза изображений является важным фактором, например, при проектировании систем визуализации тренажеров транспортных средств различного назначения (авиатренажеры и др.), при создании художественных фильмов с применением компьютерной графики и др. Одним из возможных путей решения этой проблемы является применение метода обратного трассирования при решении задач синтеза изображений [1, 3].

Метод обратного трассирования (Ray Tracing) активно развивается в последние годы [3]. Этот метод позволяет синтезировать изображение аналитически описываемых поверхностей без их предварительной триангуляции, что существенно повышает реалистичность синтезируемых изображений объектов. В тоже время накопленная в компьютерной графике база моделей объектов и программного обеспечения ориентированы на кривые, заданные отрезками прямых и триангулированные поверхности. Такое представление необходимо при синтезе изображений кривых и поверхностей в классической компьютерной графике методом прямого трассирования (Rasterization method).

Возникает задача совмещения метода обратного трассирования с накопленной базой моделей объектов и программного обеспечения с сохранением его особенностей высокой реалистичности.

Решение этой задачи существенно упрощается, если для интерполяции кривых и поверхностей используется метод сферической интерполяции [10].

Таким образом, решение задачи совмещения новых методов моделирования гладких геометрических форм пространственных кривых, заданных прямыми линиями, триангулированных поверхностей и метода обратного трассирования является

актуальной задачей на данном этапе развития компьютерной графики.

Анализ литературы. Параметрическое описание кривых и поверхностей затрудняет применение стандартных алгоритмов нахождения точек пересечения поверхностей для синтеза изображений с использованием метода обратного трассирования [1-5]. Такая особенность параметрического описания заставила исследователей обратиться к алгебраическим кривым и поверхностям [6-10]. Авторами работ [6, 7] предлагается использовать для интерполяции алгебраические поверхности высоких порядков. Недостатком такого подхода является сложность расчета коэффициентов таких поверхностей. В [8] предлагается для интерполяции исходной сетки высокой детализации использовать алгебраическую поверхность второго порядка. По мнению автора этого метода, он может быть использован в системах интерактивного объемно ориентированного геометрического моделирования. В работах [9,10] предлагается использовать метод сферической интерполяции, который является универсальным, позволяющим выполнять сглаживание как кривых, так и поверхностей. Такой подход упрощает нахождение точки пересечения проекционного луча с интерполирующей поверхностью методом обратного трассирования.

Цель статьи. Излагаются основные этапы конструирования и результаты моделирования плоских и пространственных кривых, а также результаты моделирования поверхностей, выполненные авторами, с целью показать универсальность метода сферической интерполяции.

Основные этапы моделирования

1. Область интерполяции. В качестве примера рассмотрим конструирование пространственной кривой. На рис. 1 представлены геометрические элемен-

ты задачи. Показана правая система координат с/к XYZ (ось направлена вверх). В сцене, которая на рисунке ограничена кубом, набором точек ($p_1 - p_{12}$) представлены исходные данные для конструируемой гладкой кривой. Эти исходные данные дополняются единичными нормальными $n_1 \{n_{1x}, n_{1y}, n_{1z}\} - n_{12}$ в каждой точке [9]. В соответствии с [9] метод сферической интерполяции позволяет построить гладкую кривую, как локально для отдельного отрезка, так и в целом для всех отрезков. Поэтому, излагая основные этапы конструирования, будем рассматривать процесс вычислений для локального (отдельного) отрезка. Поскольку, в дальнейшем, в соотношениях в основном будут записаны векторные величины - не будем обозначать их стрелкой. По аналогии с [9] выделим для каждого отрезка область интерполяции. Для этого построим сферу наибольшей кривизны для выбранного отрезка. Эта сфера ограничивает пространство таким образом, что любая пространственная кривая, построенная на отрезке, например, p_1, p_2 , будет находиться внутри этой сферы. Определим радиус-вектор c_0 для середины отрезка p_1, p_2 , в которой расположен центр сферы наибольшей кривизны.

$$c_0 = (p_1 + p_2) / 2. \quad (1)$$

Радиус сферы равен:

$$R = |p_1 + p_2| / 2. \quad (2)$$

Запишем уравнение для сферы наибольшей кривизны в векторной форме

$$|r - c_0| - R = 0, \quad (3)$$

где r – произвольный радиус-вектор.

2. *Соотношения для построения опорных сфер.* Для упрощения обозначений будем считать, что на предыдущем этапе выбран отрезок p_1, p_2 .

Векторное поле направляющих, на которых собственно и будут лежать точки интерполирующей кривой, построенной методом сферической интерполяции, определим, как прямые, расположенные перпендикулярно к прямой линии, соединяющей две последовательно заданные точки p_1, p_2 в области интерполяции [9]. Основной особенностью метода сферической интерполяции является использование такого квадрата как сфера для построения пространственной кривой произвольной формы между двумя точками. Наличие нормалей к будущей кривой в каждой точке, через которые она проходит, позволяет получить наряду со связностью (C0) и непрерывность первой производной т.е. гладкость (C1) синтезируемой кривой [1, 9, 10]. В процессе синтеза изображения кривой выполним следующие геометрические построения. Через концы отрезка каждой прямой, например, через точки p_1, p_2 проведем две сферы (так называемые опорные сферы). При этом центр o_1 одной сферы должен находиться на прямой, проходящей через точку p_1 и совпадающей с вектором n_1 нормали в этой точке. Центр o_2

второй сферы должен находиться на прямой, проходящей через точку p_2 и совпадающей с вектором нормали n_2 . Соотношения для уравнений этих прямых имеют вид:

$$p o_1 = p_1 + n_1 \cdot t, \quad p o_2 = p_2 + n_2 \cdot t. \quad (4)$$

Введем обозначение и запишем уравнение для плоскости, проходящей через точку (1) перпендикулярно этому отрезку:

$$(r - c_0)(p_2 - p_1) = 0. \quad (5)$$

Найдем совместное решение уравнений (4) для каждой прямой и (5) относительно t и подставим полученные значения в (4). Таким образом, получим радиус-вектора для центров опорных сфер o_1, o_2 .

Запишем скалярные значения радиусов для опорных сфер:

$$R_1 = |p_1 - o_1|; \quad R_2 = |p_2 - o_2|.$$

В окончательном виде запишем уравнения для опорных сфер в векторной форме:

$$|r - o_1| - R_1 = 0; \quad |r - o_2| - R_2 = 0. \quad (6)$$

3. *Соотношения для построения пространственной кривой.* В [9] подробно изложены все этапы построения пространственной кривой методом сферической интерполяции. Запишем уравнение прямой параллельной вектору отрезка $p_2 - p_1$ и проходящей, например, через точку p_1 :

$$p(t) = p_1 + (p_2 - p_1) \cdot t. \quad (7)$$

Построим векторное поле направляющих [9]. Запишем для каждой опорной сферы вектора:

$$v o_1 = c_0 - o_1; \quad v o_2 = c_0 - o_2. \quad (8)$$

Далее для каждой опорной сферы запишем уравнения прямых, проходящих через произвольные точки $p(t)$ на отрезке p_1, p_2 прямой (7) и параллельно соответствующим векторам (8)

$$l_1 = p(t) + v o_1 \cdot t^0; \quad l_2 = p(t) + v o_2 \cdot t^0. \quad (9)$$

Подставляем (9) в уравнения сфер (6) и находим значения t^0 , при которых выполняется пересечение прямых (9) соответственно со сферами (6). Пусть для 1-й сферы t_{11}^0, t_{12}^0 , а для 2-й – t_{21}^0, t_{22}^0 . Подставим эти значения в уравнение (9) и получим для каждой точки пересечения значения координат в с/к XYZ. Для каждой сферы имеем по две точки пересечения. Пусть это будут: для первой и второй сферы соответственно: $(p_{11}^0, p_{12}^0), (p_{21}^0, p_{22}^0)$. Для правильного выбора корней воспользуемся [9]. Пусть, например, это p_{11}^0 и p_{21}^0 . В соответствии [9] запишем соотношения для направляющих векторов:

$$s_{11} = p_{11}^0 - p(t); \quad s_{21} = p_{21}^0 - p(t).$$

Окончательно выражение для радиуса – вектора, задающего точку на конструируемой кривой, например, на отрезке между точками p_1, p_2 , запишем в виде соотношения:

$$s(t) = p(t) + (s_{11}(1-t) + s_{21} \cdot t); \quad (10)$$

где t – параметр, изменяющейся от нуля до единицы на отрезке p_1, p_2 .

В уравнении (10) второе слагаемое образует векторное поле направляющих, на которых собственно и лежат точки интерполирующей кривой. При изменении параметра t выполняется линейная интерполяция векторов s_{11}, s_{21} и образуется некоторая линейчатая поверхность, в которой лежат направляющие вектора, расположенные перпендикулярно к отрезку p_1, p_2 , как это следует из соотношений (9). При моделировании плоской кривой вектора s_{11}, s_{21} лежат в одной плоскости, при моделировании пространственной кривой вектора эти вектора не лежат в одной плоскости. В работе [10] подробно изложены этапы сглаживания триангулированной поверхности методом сферической интерполяции. Выражение для радиуса – вектора, задающего точку на конструируемой поверхности в этом случае, имеет вид

$$r = r_p + (s_{11} \cdot b_1 + s_{21} \cdot b_2 + s_{31} \cdot b_3). \quad (11)$$

В уравнении (11) во втором слагаемом (сумма в скобках) барицентрические координаты учитывают степень влияния соответствующей интерполирующей сферы на формирование точки конструируемой поверхности. Радиус-вектор r_p задает точку на поверхности треугольника, для которой строится соответствующая точка гладкой поверхности.

4. Математическое моделирование. Моделирование предлагаемого метода сферической интерполяции выполнено с использованием математического пакета Wolfram Mathematica. В качестве примера на рис.1 представлены результаты построения пространственных кривых. Показаны произвольно расположенные, пронумерованные в порядке их задания точки $p_1 - p_{12}$ и интерполирующая кривая, построенная в соответствии с предлагаемым методом и проведенная через эти точки с учетом порядка их задания.

Наряду с построением интерполяционной кривой с помощью пакета Wolfram Mathematica выполнена оценка погрешности. В табл. 1, 2 представлены результаты оценки погрешности соответственно для кривых и поверхностей.

В качестве эталонных выбраны аналитически описываемые кривые и поверхности. Для таких разных кривых и поверхностей погрешность будем оценивать, как относительную погрешность отклонения точек конструируемой кривой и поверхности от эталонных, лежащих на направляющей прямой. Запишем в нашем случае относительную погрешность в следующей форме:

$$\delta = \Delta / M; \quad (12)$$

где Δ – абсолютная погрешность отклонения точек конструируемой кривой от эталонных, лежащих на направляющей прямой; M – некоторый параметр, имеющий максимальное значение, для той или иной эталонной функции.

В нашем случае это максимальное значение диаметра спирали. На рис. 1, б показан пример интерполирования кривой – спираль с переменным радиусом (проведена сплошной линией), интерполяционная кривая (проведена пунктирной линией). В табл. 1 приведены результаты оценки погрешности в соответствии с (12). В колонке нормаль представлены два случая: первый – нормаль совпадает с биссектрисой; второй – нормаль рассчитана аналитически для эталонных кривых.

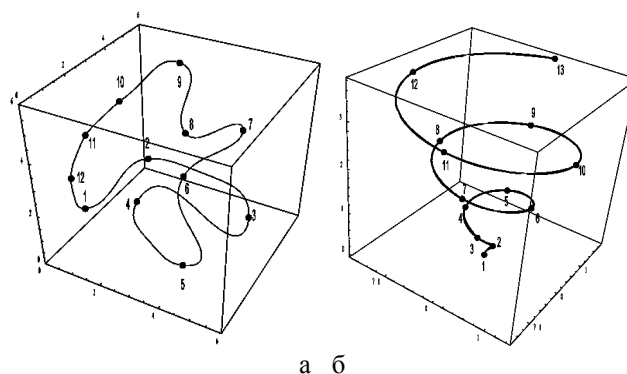


Рис. 1. Геометрические элементы задачи:
а – произвольное задание точек $p_1 - p_{12}$ и интерполирующая их кривая, б – пример интерполирования по точкам $p_1 - p_{13}$ кривой – спираль с переменным радиусом

В табл. 2 представлена оценка погрешностей конструируемой поверхности.

Таблица 1

Результаты оценки погрешности

Тип	Эталон	Кол. точек интерполяции	Нормаль	δ_{\max}
Плоская кривая	эллипс	8	биссектриса	0,02
	парабола	3	аналитика	0,0029
		3	биссектриса	0,012
	синус	5	аналитика	0,0066
Пространственная кривая- спираль	R = const	5	биссектриса	0,006
		5	аналитика	0,00056
	R = var	13	биссектриса	0,011
		13	аналитика	0,011
Пространственная кривая- спираль	R = var	13	биссектриса	0,028
			аналитика	0,028

Результаты оценки поверхностей

Эталон	Количество треугольников	Погрешность макс.	Погрешность средн.
Цилиндр	8	0,023	0,007
	16	0,017	0,0045
Конус	8	0,0085	0,002
Тор	64	0,039	0,0075
	80	0,017	0,0046
	96	0,015	0,0045
Сфера (куб)	12	$2,3 \cdot 10^{-16}$	$7,67 \cdot 10^{-17}$
Сфера (тетраэдр)	4	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$9,26 \cdot 10^{-9}$

Выводы

Метод сферической интерполяции является универсальным и позволяет построить плоскую и пространственную гладкую кривую как локально для двух точек, так и для ансамбля произвольно расположенных точек в порядке их задания, а также позволяет конструировать гладкую поверхность, как для отдельного треугольника, так и сглаживать произвольные триангулированные поверхности. Метод основан на использовании простейшего квадрата – сферы, что упрощает расчеты при конструировании кривой и поверхности. Дальнейшая работа авторов направлена на визуализацию этих кривых и поверхностей методом обратного трассирования

Список литературы

1. John F. Hughes, Andries van Dam, Morgan McGuire, David F. Sklar, James D. Foley, Steven K. Feiner, Kurt Akeley *Computer Graphics (principles and practice)* by Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 2014. – 1209 p.
2. Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2003. – 550 с.
3. Jim Hurley. *Ray Tracing Goes Mainstream* / Jim Hurley // Intel Technology Journal “Compute-Intensive, Highly Parallel Applications and Uses” – 2005, May 19. – Vol. 09, Published, Issue 02.

4. W. Barth. *Efficient Ray Tracing for Bezier and B-Spline Surfaces* / W. Barth and W. Sturzlinger // *Computers & Graphics*. – 1993 17(4): 423-430.

5. S. Campanga. *Improving Bezier Clipping and Chebyshev Boxing for Ray Tracing Parametric Surfaces*. / S. Campanga and P. Slusallek // – Technical report, University of Erlangen, Computer Graphics Group, – 1996.

6. Bajaj, C., Ihm, I., Warren, J. *Higher-order interpolation and least-squares approximation using implicit algebraic surfaces*. *ACM Trans. Graphics* 1993. – 12, 4, 327–347.

7. Bajaj, C., Chen, J., Xu, G. *Modeling with Cubic A-Patches*. *ACM Trans. on Graphics*. 1995. – 14, 2, 103-133.

8. Вяткин С.И. Моделирование сложных поверхностей с применением функций возмущения / С.И. Вяткин // *Автометрия*. – 2007. – № 3.

9. Гусятин В.М. Построение пространственной кривой методом сферической интерполяции в задачах компьютерной графики / В.М. Гусятин, М. В. Гусятин // *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*. – Суми, 2013. – С. 23-30.

10. Гусятин В.М. Сглаживание триангулированной поверхности методом сферической интерполяции в задачах компьютерной графики / В.М. Гусятин, М.В. Гусятин // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2013. – № 3 (62) – С. 59-64.

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків.

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ СФЕРИЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

В.М. Гусятин, М.В. Гусятин

У статті розглянуті питання побудови плоских і просторових кривих методом сферичної інтерполяції. Наведено кінцеві співвідношення для визначення точки гладких кривих і поверхонь. Наведено результати моделювання в пакеті Wolfram Mathematica кривих і поверхонь з оцінкою похибок. Поєднання методу сферичної інтерполяції і синтезу зображень кривих і поверхонь методом зворотного трасування (Ray Tracing) дає можливість використовувати існуючі бази даних кривих, заданих відріzkами прямих ліній, і триангульованих поверхонь, використовуваних для конструювання різних об'єктів в сучасній комп'ютерній графіці, зі збереженням високого реалізму, властивого методу зворотного трасування.

Ключові слова: метод зворотного трасування, моделювання просторових кривих і поверхонь, квадрик, метод сферичної інтерполяції.

SIMULATION OF THE METHOD OF SPHERICAL INTERPOLATION

V.M. Gusiatin, M.V. Gusiatin

The problems of constructing plane and spatial curves by the method of spherical interpolation are considered in the article. Finite relations are given for the definition of a point of smooth curves and surfaces. The results of modeling in the Wolfram Mathematica package of curves and surfaces with an error estimate are presented. Combining the method of spherical interpolation and the synthesis of images of curves and surfaces by the method of reverse tracing (Ray tracing) makes it possible to use the existing database of curves given by straight line segments and triangulated surfaces used to construct various objects in modern computer graphics, while maintaining the high realism inherent in Method of reverse tracing.

Keywords: ray tracing method, modeling of spatial curves and surfaces, quadrics, spherical interpolation method.

УДК 519.6:311.214

В.Ю. Дубницький, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин

¹ Харківський учебно-научний інститут ГВУЗ «Університет банківського дела», Харків² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАТИНСКОГО КВАДРАТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА, СУЩЕСТВЕННО ВЛИЯЮЩИХ НА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ВЫЧИСЛЕНИЙ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ

Для определения величины неопределённости типа **B**, возникающей при подготовке исходных данных в процессе вычисления основных типов экономических индексов: сводного индекса товарооборота, сводного индекса физического объёма реализации, сводного индекса цен, определяемого по методу Пааше и сводного индекса цен, определяемого по методу Ласпейреса использованы интервальные вычисления. Вычисления проведены с числами, представленными в системе центр-радиус. Факторами, влияющими на расчетную величину неопределённости, выбраны: тип вычисляемого индекса; соотношение порядков в каждой паре сомножителей, используемой при вычислении экономических индексов; ширина интервала неопределённости исходных данных, используемых в процессе вычисления индексов. Для оценки значимости влияния выбранных факторов на итоговый интервал неопределённости проведен численный эксперимент, спланированный по схеме латинского квадрата без повторений.

Ключевые слова: численный эксперимент, интервальные вычисления, система «Центр-радиус», индексный метод, дисперсионный анализ, латинский квадрат.

Введение

В настоящее время принято рассматривать процесс вычислений как технологический процесс, цель которого – переработка исходной информации в желаемый результат. Процессом вычислений, как всяким технологическим процессом, управляют внешними воздействиями. Такими могут быть, в общем случае, методы вычислений, их алгоритмическая и программная реализации, требования к точности исходных данных и получаемых результатов [1]. Этот подход был реализован при изучении влияния особенностей подготовки данных на ширину интервала неопределённости типа **B**, получаемую при вычислении основных видов экономических индексов [2].

В рамках данной работы продолжено изучение влияния параметров процесса вычислений на получаемую при этом неопределённость результата их вычислений.

Анализ литературы. В данной работе рассмотрены экономические индексы, описанные в работе [3]. Они представлены в форме, приведенной в работах [2, 4].

В силу сложившейся традиции в индексном методе используют запись формул, несколько отличающаяся от принятой в математике. В работе, поэтому, применим не только общепринятую символику, но и названия индексов и способы их определения.

Сводный индекс товарооборота представим в виде:

$$I_{pq} = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_0} = \sum_{i=1}^n p_{1i} q_{1i} / \sum_{i=1}^n p_{0i} q_{0i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

В выражениях (1) – (4) первый нижний индекс в соответствии с работой [2] обозначает соответственно данные, полученные в отчетном периоде, если он равен единице и данные, полученные в базисном периоде, если он равен нулю. Второй нижний индекс $i=1, 2, \dots, n$ идентифицирует наименование одного из объектов-носителей изучаемой экономической характеристики.

Сводный индекс физического объёма реализации представим в виде:

$$I_p = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum p_0 q_0} = \sum_{i=1}^n p_{0i} q_{1i} / \sum_{i=1}^n p_{0i} q_{0i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Сводный индекс цен, определяемый по методу Пааше, представим в виде:

$$P_q = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_1} = \sum_{i=1}^n p_{1i} q_{1i} / \sum_{i=1}^n p_{0i} q_{1i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Сводный индекс цен, определяемый по методу Ласпейреса, представим в виде:

$$L_p = \frac{\sum p_1 q_0}{\sum p_0 q_0} = \sum_{i=1}^n p_{1i} q_{0i} / \sum_{i=1}^n p_{0i} q_{0i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Для определения величины интервала неопределённости типа **B** ранее авторами данного сообщения был использован метод интервальных вычислений с представлением интервальных чисел в системе центр-радиус [2]. Основы этого метода

подробно изложены в работах [5, 6]. Описание численного эксперимента, целью которого было получение необходимых исходных данных, приведено в работе [2].

На первом этапе работы моделировали данные для системы, в которой предполагали отсутствие изменений. Эта схема получила условное название - «Роста нет». Для этого использовали пары равномерно распределённых в заданных интервалах чисел. Каждая пара данных соответствовала значениям p и q , то есть составным частям выражений (1) – (4). Полученные значения принимали в качестве центров интервальных чисел. Эти данные имитировали данные, полученные в начале наблюдения за экономической системой. Затем эту процедуру повторяли. Эти данные имитировали данные, полученные в конце наблюдения за экономической системой.

На втором шаге эксперимента эти процедуры повторяли, но каждую пару (p , q) данных, полученных в начале наблюдаемого процесса, умножали на увеличивающие коэффициенты, равномерно распределённые в заданных интервалах. Этот приём имитировал изменение в состоянии моделируемой системы и реализовывал схему «Рост есть». Для величины p_1 этот коэффициент составил 1,05...1,15; для величины q_1 этот коэффициент составил 1,20...1,30. Схема эксперимента показана на рис.1, пояснения к условным обозначениям приведены в тексте данной работы.

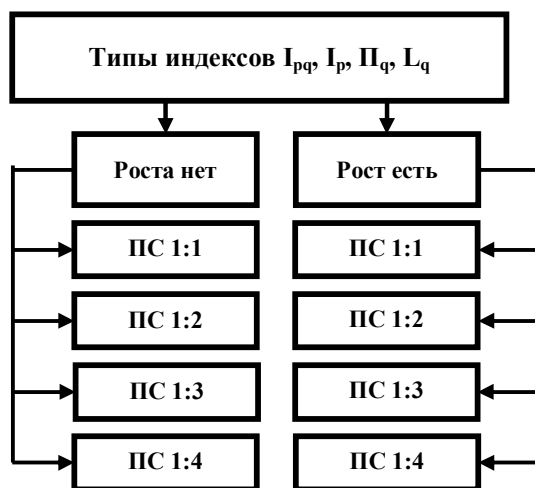


Рис. 1. Схема численного эксперимента по моделированию зависимости величины интервала неопределённости от параметров вычислительного процесса

На этой схеме принято, что, I_{pq} , I_p , $П_q$, L_p -типы индексов, соответствующие формулам (1...4). ПС - соотношение порядка сомножителей, составляющих каждую пару слагаемые в этих выражениях. В работе [2] было показано, что величина интервала неопределённости (удвоенного радиуса полученно-

го результата) зависит от вида индекса, соотношения порядков в каждом из сомножителей, входящих в суммы, стоящие в выражениях (1...4). Для удобства выполнения расчетов в качестве переменного фактора принята величина:

$$\varepsilon = \frac{2r}{a} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где r – радиус соответствующего интервального числа, a – его центр.

Подробные сведения об этих характеристиках интервальных чисел приведены в работе [6]. В данной работе принято, что $\varepsilon = 2(2)8\%$.

Таким образом, в принятой модели величина интервала неопределённости зависит от трёх факторов, один из которых качественный - тип индекса, один порядковый – соотношение порядка сомножителей (ПС) и один количественный, измеренный шкале отношений - величина ε . Свойства каждой из этих шкал описаны в работе [7]. Обще-признано, что при планировании экспериментов, результат которых зависит от факторов, измеряемых в различных шкалах, целесообразно использовать комбинаторные схемы их проведения. В нашем случае эксперимент, в котором определяли влияние перечисленных ранее факторов на интервал неопределённости результатов вычисления значений индексов, был организован по схеме латинского квадрата. Латинским квадратом называют квадратную таблицу из n элементов, измеренных в любой шкале, в которой каждый из элементов присутствует только один раз в каждом столбце и каждой строке. Комбинаторные свойства таких схем изучены в работе [8]. Необходимые сведения по обработке полученных данных приведены в работах [9 – 12]. Опыт авторов в применении латинских квадратов при планировании экспериментов изложен в работах [13, 14]. В конце 70-х годов прошлого века интерес к латинским квадратам угас и возродился только сейчас [15 – 17].

Постановка задачи. Оценка влияния на интервал неопределённости типа В, получаемый при вычислении основных типов экономических индексов, таких характеристик вычислительного процесса, как:

- тип вычисляемого индекса;
- соотношение порядков в каждом из сомножителей (ПС) используемых при вычислении основных типов экономических индексов;
- ширина интервала неопределённости исходных данных, используемых в процессе вычисления основных типов экономических индексов.

Полученные результаты

Схема латинского квадрата и условия экспериментов показаны в табл. 1.

Таблиця 1

Условия численного эксперимента

Тип индекса	Условные обозначения типа индекса	Условные обозначения порядка сомножителей			
		ПС=1:1	ПС=1:2	ПС=1:3	ПС=1:4
		b_1	b_2	b_3	b_4
I_{pq}	a_1	A	B	C	D
I_p	a_2	B	C	D	A
P_q	a_3	C	D	A	B
L_p	a_4	D	A	B	C

Латинские буквы A, B, C, D соответствуют величинам ϵ , равным 2%, 4%, 6%, 8% соответственно.

Результат вычислительного эксперимента, записанный в каждой ячейке таблицы, представим в виде величины y_{ijk} . В нашем случае символ $i=1\ldots 4$ совпадает с нижним индексом величины a_i ; символ $j=1\ldots 4$ совпадает с нижним индексом величины b_j ; символ $k=1\ldots 4$ соответствует одной из латинских букв, находящейся в ячейках табл. 1.

Введем для обозначения латинских букв символ H_k . Примем, что $k=1$ соответствует букве A, $k=2$ соответствует букве B, $k=3$ соответствует букве C, $k=4$ соответствует букве D.

Для статистического анализа полученных результатов вычислим следующие промежуточные величины (в нашем случае $n=4$):

сумму квадратов всех результатов:

$$SS_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ijk}^2; \quad (6)$$

суммы квадратов по строкам:

$$A_i = \left(\sum_{j=1}^n y_{ijk} \right)^2; \quad (7)$$

среднюю по строкам сумму квадратов:

$$SS_2 = \frac{\sum_{i=1}^n A_i^2}{n}; \quad (8)$$

суммы квадратов по столбцам:

$$B_j = \left(\sum_{i=1}^n y_{ijk} \right)^2; \quad (9)$$

среднюю по столбцам сумму квадратов:

$$SS_3 = \frac{\sum_{j=1}^n B_j^2}{n}; \quad (10)$$

сумму квадратов по латинским буквам:

$$H_k = \left(\sum_{i=1}^n y_{ijk} \right)^2; \quad (11)$$

среднюю сумму квадратов по латинским буквам:

$$SS_4 = \frac{\sum_{k=1}^n H_k^2}{n}; \quad (12)$$

корректирующий член:

$$SS_5 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ijk} \right)^2}{n^2}; \quad (13)$$

сумму квадратов для строки:

$$SS_a = SS_2 - SS_5; \quad (14)$$

сумму квадратов для столбца;

$$SS_b = SS_3 - SS_5; \quad (15)$$

сумму квадратов для латинской буквы:

$$SS_c = SS_4 - SS_5. \quad (16)$$

После этого определяют общую ($SS_{общ}$) и остаточную ($SS_{ост}$) суммы квадратов:

$$SS_{общ} = SS_1 - SS_5; \quad (17)$$

$$SS_{ост} = SS_{общ} - (SS_a + SS_b + SS_c). \quad (18)$$

Так как результат эксперимента, представляемый в каждой ячейке – значение индекса только одного типа, вычисленного при неповторяющихся условиях эксперимента и притом, только один раз, то обработка его результатов проведена по схеме «Без повторения опытов» [12, с. 58].

Таблица дисперсионного анализа, используемая в этом случае, имеет вид, показанный в табл. 2.

Подробное её описание дано в работе [10, с.20]. Результаты численного эксперимента по вычислению значений индексов в интервальном виде в системе центр-радиус приведены для схемы «Ростает» в табл. 3, для схемы «Рост есть» – в табл. 4.

Таблица 2

Дисперсионный анализ латинского квадрата (без повторения опытов)

Источник дисперсии	Число степеней свободы	Сумма квадратов SS	Средний квадрат MS	F-отношение
Строки (A)	n-1	$SS_a = SS_2 - SS_5$	$MS_a = SS_a / (n-1)$	$F_a = MS_a / MS_{ост}$
Столбцы (B)	n-1	$SS_b = SS_3 - SS_5$	$MS_b = SS_b / (n-1)$	$F_b = MS_b / MS_{ост}$
Латинские буквы (H)	n-1	$SS_h = SS_4 - SS_5$	$MS_c = SS_c / (n-1)$	$F_H = MS_H / MS_{ост}$
Остаток	(n-1)(n-2)	$SS_{ост}$	$MS_{ост} = SS_{ост} / ((n-1)(n-2))$	–
Итого	n^2-1	–	–	–

Таблица 3

Результаты численного эксперимента по вычислению значений индексов в интервальном виде в системе центр-радиус для схемы «Роста нет» *)

	b_1	b_2	b_3	b_4
a_1	$A \left(\frac{0,993}{0,079} \right)$	$B \left(\frac{1,046}{0,166} \right)$	$C \left(\frac{1,218}{0,287} \right)$	$D \left(\frac{0,996}{0,309} \right)$
a_2	$B \left(\frac{0,975}{0,155} \right)$	$C \left(\frac{1,029}{0,242} \right)$	$D \left(\frac{1,044}{0,324} \right)$	$A \left(\frac{0,975}{0,077} \right)$
a_3	$C \left(\frac{1,058}{0,249} \right)$	$D \left(\frac{1,087}{0,337} \right)$	$A \left(\frac{1,197}{0,095} \right)$	$B \left(\frac{0,987}{0,156} \right)$
a_4	$D \left(\frac{1,057}{0,328} \right)$	$A \left(\frac{1,007}{0,080} \right)$	$B \left(\frac{1,184}{0,188} \right)$	$C \left(\frac{0,955}{0,225} \right)$

Таблица 4

Результаты численного эксперимента по вычислению значений индексов в интервальном виде в системе центр-радиус для схемы «Рост есть» *)

	b_1	b_2	b_3	b_4
a_1	$A \left(\frac{1,369}{0,109} \right)$	$B \left(\frac{1,442}{0,229} \right)$	$C \left(\frac{1,674}{0,394} \right)$	$D \left(\frac{1,365}{0,423} \right)$
a_2	$B \left(\frac{1,217}{0,193} \right)$	$C \left(\frac{1,287}{0,303} \right)$	$D \left(\frac{1,303}{0,404} \right)$	$A \left(\frac{0,975}{0,078} \right)$
a_3	$C \left(\frac{1,168}{0,275} \right)$	$D \left(\frac{1,197}{0,371} \right)$	$A \left(\frac{1,317}{0,105} \right)$	$B \left(\frac{1,082}{0,171} \right)$
a_4	$D \left(\frac{1,163}{0,361} \right)$	$A \left(\frac{1,111}{0,088} \right)$	$B \left(\frac{1,298}{0,206} \right)$	$C \left(\frac{1,048}{0,247} \right)$

Примечание. *) Над чертой приведено значение центра, под чертой – радиуса соответствующего индекса.

Если величина F-отношения для соответствующего фактора, способ вычисления которого указан в табл. 2, более критического значения, в нашем случае величины $F_{0,05}(3,6) = 4,76$, то влияние данно-

го фактора на результат признают значимым. Результаты вычислений приведены в табл. 5. Курсивом в этой таблице выделены значения, превосходящие критическое.

Таблица 5

Оценка значимости влияния параметров вычислительного процесса на его результат

F-отношение	Варианты расчёта			
	Схема роста нет		Схема рост есть	
	Центр	Радиус	Центр	Радиус
F_a	2,135	0.565	480,280	11,922
F_b	11,584	4,118	316,652	6,573
F_H	0,339	259,953	42,368	235,476

Из приведенных в табл. 5 результатов следует, что на результат вычислений существенно влияют все выбранные факторы. Следовательно, процедура вычисления значений основных типов экономических индексов требует, для получения сопоставимых результатов, разработки мер по улучшению сравнимости результатов расчета.

Выводы

1. Для определения величины неопределенности типа В, возникающей при подготовке исходных данных для вычисления основных типов экономических индексов: сводного индекса товарооборота, сводного индекса физического объема реализации,

сводного индекса цен, определяемого по методу Паше и сводного индекса цен, определяемого по методу Ласпейреса использованы интервальные вычисления.

2. Вычисления проведены с числами, представленными в системе центр-радиус.

3. Факторами, влияющими на расчетную величину неопределенности, выбраны: тип вычисляемого индекса; соотношение порядков в каждом из сомножителей, используемых при вычислении основных типов экономических индексов; ширина интервала неопределенности исходных данных, используемых в процессе вычисления основных типов экономических индексов.

4. Для оценки значимости влияния выбранных факторов на итоговый интервал неопределённости проведен численный эксперимент, проведенный по схеме латинского квадрата без повторений.

5. Обработка результатов эксперимента показала значимое влияние выбранных факторов на его результат.

Список литературы

1. Барановская Т.П. Информационные системы и технологии в экономике : Учебник. – 2-е изд., доп. и перераб. под ред. В.И. Лойко / Т.П. Барановская, В.И. Лойко, М.И. Семенов, А.И. Трубилин. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 416 с.
2. Дубницкий В.Ю. Влияние особенностей подготовки данных на ширину интервала неопределённости типа В при вычислении основных видов экономических индексов / В.Ю. Дубницкий, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 1 (41). – С. 86-91.
3. Ковалевский Г.В. Статистика: учебник / Г.В. Ковалевский; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 445 с.
4. Дубницкий В.Ю. Определение интервала неопределённости при применении индексного метода экономической статистики / В.Ю. Дубницкий // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – № 8(115). – С. 171-175.
5. Дубницкий В.Ю. Вычисление значений элементарных функций с интервально заданным аргументом, определённым в системе центр-радиус / В.Ю. Дубницкий, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – № 7(144) – С. 107-112.
6. Жуковська О.А. Основи інтервального аналізу / О.А. Жуковська. – К.: Освіта України 2009. – 136 с.
7. Орлов А.И. Эконометрика: учебник / А.И. Орлов. – Москва: Экзамен 2002. – 576 с.
8. Холл М. Комбинаторика / М. Холл. – М.: Мир, 1970. – 423 с.
9. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. – М.: Мир, 1967. – 406 с.
10. Маркова Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.В. Маркова, А.Н. Лысенков. – М.: Наука, 1973. – 219 с.
11. Маркова Е.В. Комбинаторные планы в задачах планирования многофакторного эксперимента / Е.В. Маркова, А.Н. Лысенков. – М.: Наука, 1979. – 347 с.
12. Руководство по применению латинских планов при планировании эксперимента с качественными факторами / [Сост. Е.В. Маркова]. – Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 1971. – 156 с.
13. Дубницкий В.Ю. Применение квадрата Юдена при исследовании цементов / В.Ю. Дубницкий, В.Л. Чернявский // Заводская лаборатория. – 1971. – №5. – С. 76-79.
14. Арзунова Л.И. Применение греко-латинских квадратов при изучении свойств цементных бетонов. / Л.И. Арзунова, В.Ю. Дубницкий, В.Л. Чернявский // Заводская лаборатория. – 1974. – №5. – С. 63-65.
15. Математичне планування експерименту при проведенні наукових досліджень в фармації / Т.А. Грошовий, В.П. Марценюк, Л.І. Кучеренко [та ін.]; під ред. Т.А. Грошового. – Тернопіль : Укрмедкнига, 2008. – 368 с.
16. Тужилин М.Э. Латинские квадраты и их применение в криптографии / Э.М. Тужилин // Прикладная дискретная математика. – 2012. – № 3 (17). – С. 47-52.
17. Keedwal A.D. Latin Square and their application / A. Donald Keedwal. – Amsterdam : Elsevier B.V., 2008. – 424 p.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р екон. наук, доц. С.В. Кавун, Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків.

ЗАСТОСУВАННЯ ЛАТИНСЬКОГО КВАДРАТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ, ЩО ІСТОТНО ВПЛИВАЮТЬ НА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТУ ОБЧИСЛЕНЬ ОСНОВНИХ ТИПІВ ЕКОНОМІЧНИХ ІНДЕКСІВ

В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін, О.А. Кобилін

Для визначення величини невизначеності типу В, що виникає при підготовці початкових даних в процесі обчислення основних типів економічних індексів: зведеного індексу товарообігу, зведеного індексу фізичного об'єму реалізації, зведеного індексу цін, визначеного методом Пааше і зведеного індексу цін, визначеного методом Ласпейреса використані інтервальні обчислення. Обчислення проведені з числами, які подано в системі центр-радіус. Чинниками, що впливають на розрахункову величину невизначеності, вибрані: тип індексу; співвідношення порядків в кожній парі співмножників, які використані при обчисленні економічних індексів; ширина інтервалу невизначеності початкових даних, які використано в процесі обчислення. Для оцінки значущості впливу вибраних чинників на підсумковий інтервал невизначеності проведений чисельний експеримент, спланований по схемі латинського квадрату без повторень.

Ключові слова: чисельний експеримент, інтервальні обчислення, система «Центр-радіус», індексний метод, дисперсійний аналіз, латинський квадрат.

APPLICATION OF LATIN SQUARE FOR DETERMINATION OF CALCULATION PROCESS CHARACTERISTICS HAVING SUBSTANTIAL EFFECT ON UNCERTAINTY OF CALCULATION RESULTS OF BASIC TYPES OF ECONOMIC INDICES

V.Yu. Dubnitskiy, A.M. Kobylin, O.A. Kobylin

Interval calculation was used to determine the value of B type uncertainty that emerges during preparation of initial data in the calculation process of basic types of economic indices: physical sales scope index, price composite index as determined by Paasche method and composite price index as determined by Laspeyres method. Calculation was performed with numbers presented in center-radius system. Factors affecting the calculated uncertainty value were selected as follows: index type; relation of orders in each pair of multipliers used in calculation of economic indices; uncertainty interval width of initial data used in calculation process. In order to estimate significance of effect of selected factors on final uncertainty interval a numerical experiment was performed planned by Latin square pattern without repetitions.

Keywords: numerical experiment, interval calculation, center-radius system, index method, variance analysis, Latin square.

УДК 510.635

А.И. Коваленко, М.С. Широкопетлева

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ЧИСЛОВЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЛГЕБРЫ ПОНЯТИЙ

В работе изучаются свойства алгебры понятий. С этой целью рассмотрены числовые интерпретации алгебры понятий - алгебры чисел разного порядка. Проанализированы алгебры чисел нулевой, первой и n -й размерности.

Ключевые слова: алгебра конечных предикатов, алгебра понятий, каноническая алгебра, изоморфизм, интерпретации алгебры, алгебраическая система, многозначная логика.

Введение

Работа является логическим продолжением статей [1, 2]. В [1] доказана теорема о существовании и единственности стандартной формы алгебры понятий. В [2] доказана теорема об изоморфизме алгебр понятий одинаковой размерности. Обе эти теоремы вместе позволяют утверждать, что алгебра понятий каждой размерности существует и единственна с точностью до изоморфизма. Рассмотрены некоторые возможные интерпретации алгебры понятий - алгебры множеств, двоичных наборов, одноместных и многоместных предикатов первого порядка, булевых функций. В настоящей статье рассмотрены числовые интерпретации алгебры понятий - алгебры чисел разного порядка.

1. n -мерная алгебра чисел

Рассмотрим числовую интерпретацию алгебры понятий, которую получаем, заменяя элементы канонической алгебры понятий их номерами. В табл. 1 представлены в виде примера операции дизъюнкции понятий (в данной интерпретации - натуральных чисел) при $n = 1, 2, 3$.

Таблица 1

Пример операции дизъюнкции понятий

		y							
		0	1	2	3	4	5	6	7
x	0	0	1	2	3	4	5	6	7
	1	1	1	3	3	5	5	7	7
	2	2	3	2	3	6	7	6	7
	3	3	3	3	3	7	7	7	7
	4	4	5	6	7	4	5	6	7
	5	5	5	7	7	5	5	7	7
	6	6	7	6	6	6	7	6	7
	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Можно считать, что табл. 1 задает некоторые функции 2-, 4-, и 8-значной логики [3]. При $n = 1$ приходим к такой алгебре чисел, для которой дизъюнкция понятий - это дизъюнкция двузначной логики. Однако при любом $n > 1$ дизъюнкция понятий в алгебре чисел не совпадает с дизъюнкцией 2^n -значной логики $x \vee y = \max(x, y)$, поскольку в ал-

гебре чисел любой размерности $n > 1$ $1 \vee 2 = 3$, а в 2^n -значной логике $1 \vee 2 = 2$. Отличие семейства всех алгебр чисел от семейства всех многозначных логик с операцией дизъюнкции состоит в том, что алгебры чисел могут быть заданы лишь на множествах, состоящих из 2^n элементов. Многозначные же логики могут быть заданы на множестве с любым числом элементов k .

Опишем на языке алгебры конечных предикатов (АКП) в форме неявного задания [4] дизъюнкцию понятий для n -мерной алгебры чисел. С этой целью введем предикат

$$P_0(x, y, z) = x^0 y^0 z^0 \quad (1)$$

и предикат $P_k(x, y, z)$, соответствующий отношению $x \overset{k}{\vee} y = z$. Символом $\overset{k}{\vee}$ обозначена дизъюнкция понятий в алгебре чисел размерности $(k = 1, 2, \dots)$. Предикат $P_{k+1}(x, y, z)$ соответствует

отношению $x \overset{k+1}{\vee} y = z$. Символ $\overset{k+1}{\vee}$ обозначает дизъюнкцию понятий в алгебре чисел размерности $k+1$. Аргументы $P_k(x, y, z)$ предиката $P_k(x, y, z)$ заданы на множестве $\{0, 1, \dots, 2^k - 1\}$. Предикат P_{k+1} можно выразить через предикат P_k с помощью следующей зависимости:

$$P_{k+1}(x, y, z) = P_k(x, y, z) \vee P_k(x, y - 2^k, z - 2^k) \vee P_k(x - 2^k, y, z - 2^k) \vee P_k(x - 2^k, y - 2^k, z - 2^k). \quad (2)$$

Первое слагаемое, стоящее в правой части равенства (2), задает значения операции $z = x \overset{k+1}{\vee} y$, содержащиеся в левой верхней четверти ее таблицы. Второе слагаемое задает правую верхнюю четверть таблицы. Появление разностей $y - 2^k$ и $z - 2^k$ на месте второго и третьего аргументов предиката P_k обусловлено тем, что все значения переменных y и z , связанные с ячейками правой верхней четверти таблицы, возрастают на величину 2^k по сравнению со значениями тех же переменных для соответствующих ячеек левой верхней четверти таблицы.

Третье слагаемое задает значения дизъюнкции понятий для левой нижней четверти таблицы, а четвертое – для правой нижней. Появление разностей на месте аргументов предиката P_k в этих слагаемых обусловлено ростом значений соответствующих переменных на величину 2^k по сравнению с их значениями для левой верхней четверти таблицы. Неявное задание дизъюнкции понятий для n -мерной алгебры чисел получаем, выражая по формуле (2) предикат P_n через предикат P_{n-1} , предикат P_{n-1} – через предикат P_{n-2} и т.д., пока не дойдем до предиката P_0 , который выражаем по формуле (1).

В качестве примера найдем формулы, задающие в неявном виде дизъюнкцию понятий для 1- и 2-мерной алгебр чисел. Принимая $k = 0$, по формулам (2) и (1) находим:

$$\begin{aligned} P_1(x, y, z) &= P_0(x, y, z) \vee P_0(x, y - 2^0, z - 2^0) \vee \\ &\vee P_0(x - 2^0, y, z - 2^0) \vee P_0(x - 2^0, y - 2^0, z - 2^0) = \\ &= x^0 y^0 z^0 \vee x^0 (y - 1)^0 (z - 1)^0 \vee (x - 1)^0 y^0 (z - 1)^0 \vee \\ &\vee (x - 1)^0 (y - 1)^0 (z - 1)^0. \end{aligned}$$

В АКП при любых натуральных значениях x, a, b имеет место следующее равенство:

$$(x - a)^b = x^{a+b}. \quad (3)$$

Действительно, если $(x - a)^b = 1$, то $x - a = b$, $x = a + b$, $x^{a+b} = 1$; если же $(x - a)^b = 0$, то $x - a \neq b$, $x \neq a + b$, $x^{a+b} = 1$. Из (3) получаем окончательное выражение, задающее в неявном виде дизъюнкцию понятий для 1-мерной алгебры чисел:

$$P_1(x, y, z) = x^0 y^0 z^0 \vee x^0 y^1 z^1 \vee x^1 y^0 z^1 \vee x^1 y^1 z^1.$$

Используя эту формулу для предиката P_1 , с помощью (2) и (3) находим неявное задание дизъюнкции понятий для 2-мерной алгебры чисел:

$$\begin{aligned} P_2(x, y, z) &= P_1(x, y, z) \vee P_1(x, y - 2^1, z - 2^1) \vee \\ &\vee P_1(x - 2^1, y, z - 2^1) \vee P_1(x - 2^1, y - 2^1, z - 2^1) = \\ &= x^0 y^0 z^0 \vee x^0 y^1 z^1 \vee x^1 y^0 z^1 \vee x^1 y^1 z^1 \vee \\ &\vee x^0 (y - 2)^0 (z - 2)^0 \vee x^0 (y - 2)^1 (z - 2)^1 \vee \\ &\vee x^1 (y - 2)^1 (z - 2)^1 \vee (x - 2)^0 y^1 (z - 2)^1 \vee \\ &\vee (x - 2)^1 y^0 (z - 2)^1 \vee (x - 2)^1 y^1 (z - 2)^1 \vee \\ &\vee (x - 2)^0 (y - 2)^0 (z - 2)^0 \vee (x - 2)^0 \wedge \\ &\wedge (y - 2)^1 (z - 2)^1 \vee (x - 2)^1 (y - 2)^0 (z - 2)^1 \vee \\ &\vee (x - 2)^1 (y - 2)^1 \wedge (y - 2)^1 (z - 2)^1 = \vee x^0 y^0 z^0 \vee \\ &\vee x^0 y^1 z^1 \vee x^1 y^0 z^1 \vee x^1 y^1 z^1 \vee x^0 y^2 z^2 \vee \\ &\vee x^0 y^3 z^3 \vee x^1 y^2 z^3 \vee x^1 y^3 z^3 \vee x^2 y^0 z^2 \vee \\ &\vee x^2 y^1 z^3 \vee x^3 y^0 z^3 \vee x^3 y^1 z^3 \vee x^2 y^2 z^2 \vee \\ &\vee x^2 y^3 z^3 \vee x^3 y^2 z^3 \vee x^3 y^3 z^3. \end{aligned}$$

2. 0-мерная алгебра чисел

При математическом описании дизъюнкции понятий в алгебре чисел был введен никак не интерпретируемый предикат P_0 . Все остальные предикаты P_k ($k=1,2,\dots$) были проинтерпретированы как дизъюнкция понятий в алгебре чисел размерности k . Было бы естественно рассматривать предикат P_0 в одном ряду с остальными предикатами P_1, P_2, \dots и интерпретировать его как дизъюнкцию понятий в алгебре чисел нулевой размерности. Это требует определения алгебры понятий нулевой размерности. Оно получено из определения алгебры понятий размерности $n=1,2,\dots$ подстановкой вместо символа n числа 0.

Любую алгебраическую систему P_0 , которая состоит из множества S_0 , содержащего $2^0 = 1$ элемент, отношения равенства $x = y$ и операции $x \vee y$ ($x, y, x \vee y \in S_0$), назовем алгеброй понятий нулевой размерности, если для нее выполняются следующие условия:

- 1) $\forall x \in S_0 \quad x \vee x = x$;
- 2) $\forall x, y \in S_0 \quad x \vee y = y \vee x$;
- 3) $\forall x, y, z \in S_0 \quad (x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$;

4) в множестве S_0 содержится элемент 0 такой, что для любого $x \in S_0 \quad 0 \vee x = x$;

5) Из элемента 0 можно получить с помощью операции \vee любой элемент множества S_0 .

Приведенная формулировка определения алгебры понятий нулевой размерности допускает существенное упрощение. В самом деле, на множестве $\{0\}$ можно определить лишь двуместную операцию. Она характеризуется равенством $0 \vee 0 = 0$. Только эта операция может быть принята в роли дизъюнкции понятий алгебры L_0 . Эта операция обладает свойствами идемпотентности ($x \vee x = 0 \vee 0 = 0 = x$), коммутативности ($x \vee y = 0 \vee 0 = y \vee x$), ассоциативности ($((x \vee y) \vee z = (0 \vee 0) \vee 0 = 0 \vee 0 = 0 \vee (0 \vee 0) = x \vee (y \vee z))$ и нуля ($0 \vee x = 0 \vee 0 = 0 \vee x$). Поэтому требования 1) - 4) нет необходимости включать в определение алгебры понятий нулевой размерности. Требование 5) также вытекает из только что полученного прямого определения дизъюнкции понятий, согласно которому $0 = 0 \vee 0$. Таким образом, алгебру понятий нулевой размерности можно определить просто как любое одноэлементное множество с заданными на нем отношениями равенства и бинарной операцией. Ясно, что такая алгебра существует. Для построения формул алгебры L_0 используется единственный образующий символ 0, базисные символы в алгебре понятий нулевой размерности отсутствуют. Очевидно, что все алгебры понятий нулевой размерности изоморфны друг другу. Таким образом, алгебра L_0 единственна (с точностью до изоморфизма).

3. 1-мерная алгебра чисел

Отметим, что формулировку общего определения алгебры понятий можно упростить и для одномерного случая, однако это не удастся сделать столь радикально, как при $n = 0$. Любая двуместная операция, заданная на двухэлементном множестве $S_1 = \{0, 1\}$, полностью определяется аксиомами идемпотентности, коммутативности и нуля. Действительно, по аксиоме нуля находим $0 \vee 0 = 0$, $0 \vee 1 = 1$. Из аксиомы коммутативности следует $1 \vee 0 = 0 \vee 1 = 1$. Аксиома же идемпотентности дает $1 \vee 1 = 1$. Мы пришли к операции дизъюнкции двоичных знаков, которая как известно, ассоциативна. Аксиома одномерности, очевидно, также выполняется. Таким образом, при $n = 1$ аксиомы ассоциативности и одномерности логически выводимы из остальных аксиом, фигурирующих в определении понятия алгебры понятий произвольной размерности. Следовательно, эти две аксиомы можно исключить из определения одномерной алгебры понятий. Мы приходим к следующему определению. Одномерной алгеброй понятий называем любую алгебраическую систему, состоящую из двухэлементного множества S_1 , отношения равенства $x = y$ и операции $x \vee y$ ($x, y, x \vee y \in S_1$), если для нее при любом $x \in S_1$ $x \vee x = x$, $0 \vee x = x$ и при любых $x, y \in S_1$ $x \vee y = y \vee x$.

Оказывается, что аксиомы идемпотентности, коммутативности и нуля, фигурирующие в только что сформулированном определении, логически не зависят друг от друга. Докажем это. Принимаем $S_1 = \{0, 1\}$. Определим дизъюнкцию понятий как неравнозначность двоичных знаков $x \vee y = x \oplus y$. Такая операция не удовлетворяет аксиоме идемпотентности ($1 \oplus 1 = 0$), но подчиняется аксиоме коммутативности ($x \oplus y = y \oplus x$) и аксиоме нуля ($0 \oplus x = x$). Далее, определяя дизъюнкцию понятий как функцию $x \vee y = y$, видим, что она некоммутирует ($0 \vee 1 = 1$, $1 \vee 0 = 0$), но идемпотентна ($x \vee x = x$) и удовлетворяет аксиоме нуля ($0 \vee y = y$). Наконец, принимая в роли дизъюнкции понятий конъюнкцию двоичных знаков $x \vee y = xy$, находим, что она идемпотентна ($xx = x$) и коммутативна ($xy = yx$), но не подчиняется аксиоме нуля ($0 \cdot 1 = 0$). Итак, мы доказали независимость аксиом идемпотентности, коммутативности и нуля друг от друга. Поэтому ни одна из этих аксиом не может быть исключена из приведенного выше определения одномерной алгебры понятий.

В двумерном случае ни одну из пяти аксиом невозможно исключить из определения алгебры понятий. Нельзя обойтись в определении двумерной алгебры понятий и без требования четырехэлемент-

ности множества S_2 . Докажем это. Для доказательства независимости аксиомы ассоциативности определим операцию дизъюнкции понятий табл. 2. Для нее аксиома ассоциативности не выполняется, поскольку $(1 \vee 2) \vee 3 = 3 \vee 3 = 0$, но $1 \vee (2 \vee 3) = 1 \vee 3 = 3$. Вместе с тем, аксиомы идемпотентности, коммутативности и нуля, как явствует из табл. 2, выполняются.

Таблица 2

		Операция $x \vee y$			
		y			
x	0	0	1	2	3
	0	0	1	2	3
	1	1	1	3	0
	2	2	3	2	0
3	3	0	0	0	3

Выберем в качестве базисных понятий элементы 1 и 2. Так как $1 \vee 2 = 3$, то аксиома двумерности выполняется. Множество S_2 четырехэлементно. Итак, аксиома ассоциативности невыводима из остальных свойств двумерной алгебры понятий.

Для доказательства независимости аксиомы двумерности принимаем в роли дизъюнкции понятий дизъюнкцию четырехзначной логики $x \vee y = \max(x, y)$. Как известно, она коммутативна, ассоциативна и идемпотентна. Для нее выполняется и аксиома нуля. Множество S_2 четырехэлементно. Однако, аксиома двумерности не выполняется. Это обусловлено тем фактором, что в каждой дизъюнкции четырехзначной логики $a = x \vee y$, выражающей произвольно выбранный элемент $a \in S_2$, хотя бы одно из слагаемых x или y обязательно должно совпадать с элементом a . Например, элемент 3 можно представить только следующими дизъюнкциями четырехзначной логики: $3 = 0 \vee 3 = 3 \vee 0 = 1 \vee 3 = 3 \vee 1 = 2 \vee 3 = 3 \vee 2 = 3 \vee 3$. В каждой из этих дизъюнкций обязательно присутствует элемент 3. Таким образом, в данном случае существует единственный базис $\{1, 2, 3\}$, число элементов которого не совпадает с числом 2, как того требует аксиома двумерности.

Четырехэлементность носителя S_2 двумерной алгебры понятий не вытекает из совокупности всех остальных свойств этой алгебры. Чтобы доказать это утверждение, определим операцию дизъюнкции понятий табл. 3.

Таблица 3

		Переопределенная операция $x \vee y$		
		y		
x	0	0	2	3
	0	0	2	3
	2	2	2	3
	3	3	3	3

Нетрудно убедиться в том, что все пять аксиом в данном случае выполняются, однако число элемен-

тов в множестве S_2 не равно четырем. Независимость аксиом идемпотентности, коммутативности и нуля непосредственно вытекает из их независимости в одномерной алгебре понятий. Итак, мы доказали, что при $n = 2$ все шесть рассмотренных выше условий независимы друг от друга, и поэтому их число не может быть уменьшено в определении алгебры понятий. Полученный результат распространяется на любые алгебры понятий произвольной размерности $n > 2$. Отметим, что формулировка аксиомы n -мерности допускает некоторое упрощение, а именно, из нее можно исключить требование попарного различия образующих понятий $0, e_1, e_2, \dots, e_n$. Дело в том, что, согласно теореме о стандартной форме, число всех понятий в множестве S_n не может превысить величины 2^t , где t – число всех различных ненулевых базисных понятий. Если бы некоторые из базисных понятий, фигурирующих в определении n -мерной алгебры понятий совпали друг с другом или с нулем, то оказалось бы, что $t < n$. Но этот вывод противоречит требованию 2^t -элементности множества S_n . Таким образом, условие попарного различия образующих понятий вытекает из совокупности всех остальных свойств, присутствующих в определении n -мерной алгебры понятий. С учетом сказанного аксиома n -мерности может быть записана в следующей более простой формулировке: «В множестве S_n содержатся такие элементы e_1, e_2, \dots, e_n , что из них и из элемента 0 можно с помощью операции \vee получить любой элемент множества S_n ».

Опишем на языке АКП в форме неявного задания операцию k -значной дизъюнкции ($k=1,2,\dots$). С этой целью введем предикат $Q_k(x)$, задающий область определения k -значных переменных $\{0, \dots, k-1\}$. Предикат Q_{k+1} выражается через предикат Q_k следующим образом:

$$Q_{k+1}(x) = Q_k(x) \vee x \vee k. \quad (4)$$

Полагаем, что

$$Q_1(x) = x^0. \quad (5)$$

Введем, кроме того, предикат $R_k(x, y, z)$, соот-

ветствующий отношению $x \vee_k y = z$. Символ \vee_k означает операцию k -значной дизъюнкции: $x \vee_k y = z$. Предикат R_{k+1} выражается через предикат $R_k(x, y, z)$ следующим образом:

$$R_{k+1}(x, y, z) = R_k(x, y, z) Q_{k+1}(x) y^k z^k \vee \vee x^k Q_{k+1}(y) z^k. \quad (6)$$

Полагаем, что

$$R_1(x, y, z) = x^0 y^0 z^0. \quad (7)$$

Сравнение между собой формул (1) и (2), описывающих операцию понятий для алгебры чисел, с формулами (4)-(7), описывающими дизъюнкции чисел для многозначной логики, показывает, что эти операции сильно отличаются друг от друга по своему строению. Это говорит о существенном отличии алгебры понятий от любой алгебры многозначной логики, в которой дизъюнкция используется в роли базисной операции.

Вывод

В работе изучены некоторые свойства алгебры понятий. С этой целью рассмотрены числовые интерпретации алгебры понятий - алгебры чисел разного порядка. Проанализированы алгебры чисел нулевой, первой и n -й размерности.

Список литературы

1. Голян Н.В. О свойствах канонической алгебры понятий / Н.В. Голян // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ, 2016. – Вип. 4(40). – С. 44-47.
2. Голян Н.В. Изоморфизм и интерпретации алгебр понятий / Н.В. Голян // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ, 2017. – Вип. 1(41). – С. 82-85.
3. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта / Н. Нильсон. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
4. Бондаренко М.Ф. Теория интеллекта. Учебник / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – Х.: СМІТ, 2007 – 576 с.

Надійшла до редколегії 6.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ЧИСЛОВІ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ АЛГЕБРИ ПОНЯТЬ

А.І. Коваленко, М.С. Широкопетлева

У роботі вивчаються властивості алгебри понять. З цією метою розглянуті числові інтерпретації алгебри понять - алгебри чисел різного порядку. Проаналізовані алгебри чисел нульової, першої і n -ї розмірності.

Ключові слова: алгебра скінченних предикатів, алгебра понять, канонічна алгебра, ізоморфізм, інтерпретації алгебри, алгебраїчна система, багатозначна логіка.

CONCEPTS ALGEBRA NUMERICAL INTERPRETATIONS

A.I. Kovalenko, M.S. Shyrokopetleva

Properties of concepts algebra are in-process studied. Numerical interpretations of concepts algebra - numbers algebra of different order are considered. Numbers algebras of zero, first and n dimensions are analysed.

Keywords: finite predicates algebra, algebra of concepts, canonical algebra, isomorphism, algebra interpretations, algebraic system, multiple-valued logic.

УДК 510.635

И.А. Лещинская

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

КОНТРОЛЬ ОДНОЗНАЧНОСТИ ПОНЯТИЙ И ИХ ФОРМИРОВАНИЕ ПО МЕТОДУ СРАВНЕНИЯ

В работе исследуются условия применимости метода сравнения для идентификации интеллектуальной деятельности человека. Проанализированы возможности объективного изучения интеллекта человека методом сравнения при отсутствии прямого доступа к субъективным ощущениям.

Ключевые слова: алгебра конечных предикатов, алгебра понятий, интеллект, высказывание.

Введение

В работе [1] был предложен абстрактный эквивалент алгебры конечных предикатов – алгебра понятий. Элементы множества – носители алгебры понятий естественным образом интерпретируются как понятия интеллекта, вообще – как любые субъективные состояния человека, а операции алгебры понятий над этими элементами – как действия интеллекта над понятиями. Введен предикат равенства понятий и проанализирована его роль в механизме интеллекта. В статье [2] найдены и доказаны свойства предиката равенства понятий. Эти свойства проанализированы с точки зрения практического применения для идентификации интеллектуальной деятельности человека.

В настоящей статье исследуются условия применимости метода сравнения для идентификации интеллектуальной деятельности человека.

1. Контроль понятий

Чтобы исследование интеллекта человека удовлетворяло физическим стандартам строгости, следует считать, что испытуемому предъявляются не понятия, а физические стимулы. Только после того, как они окажут воздействие на органы чувств испытуемого, в его сознании смогут возникнуть соответствующие им понятия, являющиеся субъективными образами воспринимаемых предметов.

Испытуемый имеет дело лишь с этими образами предметов, т.е. с понятиями, порожденными соответствующими физическими стимулами, поскольку предметы в натуральном виде испытуемому не доступны, как «вещи в себе», да ему и не обязательно иметь к ним прямой доступ. Например, чтобы возбудить в сознании испытуемого некоторое цветовое ощущение, исследователь должен воздействовать на его орган зрения соответствующим световым излучением. Однако испытуемый в опыте оперирует не с излучениями, а только с цветами.

Поведение испытуемого определяется исключительно теми понятиями, которые он непосред-

ственно воспринимает и сравнивает. В этом смысле при описании метода сравнения можно сказать, что испытуемому предъявляются для сравнения сами понятия, а не их физические прототипы. Физические стимулы в методе сравнения необходимы, но они выполняют лишь вспомогательную роль источника понятий.

Испытуемый не имеет непосредственного доступа к физическим предметам и судит о них только по субъективным образам. Как следствие этого, сравнивать предмет с его образом он не может. Но математическое описание физических предметов – это задача не испытуемого, а исследователя. Именно исследователь регистрирует предъявленный испытуемому набор предметов ξ и его двоичную реакцию t на этот набор. Исследователь экспериментально изучает и математически описывает отношение $L(\xi, t)$ между входным ξ и выходным t сигналами испытуемого.

Рассмотрим это на примере задачи о цвете. В роли набора предметов ξ выступает пара световых излучений (x_1, x_2) . Испытуемый, сравнивая цвета u_1 и u_2 излучений x_1 и x_2 , формирует двоичный ответ. Таким образом, испытуемый в своих действиях не выходит за рамки метода сравнения. Производя логико-математическую обработку отношения L , исследователь извлекает из него математическую характеристику цвета u и вид функции $u=F(x)$, связывающей цвет u с соответствующим ему световым излучением x .

При такой методике исследования сравнивать физический предмет (в нашем примере – световое излучение) с его субъективным образом (цветом) нет необходимости.

Исследователь, как и испытуемый, не имеет прямого доступа к физическим предметам. Он судит о предметах только по их образам, возникающим в его сознании. Поэтому исследователь не сможет связывать отношением $L(\xi, t)$ набор предметов ξ с реакцией испытуемого t на этот набор.

Исследователь при изучении предметов пользуется всеми доступными ему источниками информации, в том числе всевозможными физическими приборами, созданными наукой и техникой. Поэтому он получает образ предмета более детализированный, чем испытуемый, проникает в структуру предмета глубже, чем это может сделать испытуемый. Хотя полной информации о предмете исследователь тоже не получает, но, используя весь арсенал физических средств, он имеет возможность углубиться в предмет настолько, насколько сочтет нужным, и в той мере, в какой это позволяет современное развитие науки. И этого оказывается достаточно для успешного изучения и формального описания связи между предметом, предъявляемым испытуемому, и образом предмета, возникающим в его сознании.

Поясним сказанное на примере задачи о цвете. Исследователь характеризует световое излучение его спектром. Спектр – это, действительно, не физический предмет, а всего лишь математическая абстракция, т.е. понятие. Верно и то, что спектр характеризует собой только часть качеств излучения. Так, спектр ничего не сообщает исследователю о форме электромагнитной волны излучения, о поляризационных и квантовых свойствах света. Вместе с тем, спектр содержит больше информации о световом излучении, чем цвет. В самом деле, когда спектры двух излучений совпадают, то совпадают и их цвета [3]. Обратное, вообще говоря неверно: известно, что существуют такие световые излучения различного спектра, цвета которых воспринимаются испытуемым как совершенно идентичные.

То же самое можно сказать о физической реакции испытуемого на предъявляемый ему предмет: исследователь судит о ней лишь по ее идеальному образу. Исследователь не нуждается в полной характеристике этой реакции. Например, его не интересуют подробности комплекса движений, которые совершает испытуемый в процессе кивка головой. Исследователь должен лишь установить, что стоит за этим движением – положительный или отрицательный ответ испытуемого. Следовательно, весь сложный комплекс ответных физических действий испытуемого воспринимается исследователем всего лишь как один из двух возможных ответов – 0 или 1.

Итак, получается, что исследователь связывает отношением L не сам материальный предмет, предъявляемый испытуемому, и не саму его ответную реакцию на этот предмет, но лишь идеальные образы этих двух физических явлений. Мы видим, что исследователь так же, как и испытуемый, не выходит в своих действиях за рамки, очерченные методом сравнения. В роли задания для него выступает теория, описывающая предполагаемую зависимость между предметом, предъявленным испытуе-

мому, и его ответной реакцией на этот предмет. А теория – это некоторое отношение. В процессе экспериментальной проверки теории исследователь сравнивает свой образ ξ предмета, воспринимаемого испытуемым, с образом t реакции испытуемого на этот предмет. Если эти два сигнала находятся в отношении $L(\xi, t)$, предписываемом теорией L , то исследователь формирует положительный ответ, если нет – отрицательный.

Но если исследователь не имеет непосредственного доступа к физическим предметам, то как же тогда ему удастся формировать и предъявлять испытуемому нужные предметы? Прямого доступа к предметам у исследователя нет: он контролирует параметры сформированного им предмета не непосредственно, а лишь косвенно по субъективному образу.

Манипулируя предметом в условиях неполной информации о нем, он не может дважды сформировать один и тот же предмет, поскольку не контролирует все его параметры. Но нужно ли исследователю стремиться к однозначному заданию предмета? В соответствии с требованиями метода сравнения исследователь должен однозначно сформировать нужное понятие, а не породивший его предмет. Беря наугад предмет, исследователь затем сверяет его образ, который он получает с помощью своих органов чувств и физических приборов, с интересующей его заранее выбранной идеей и устанавливает их совпадение или различие. Если имеется различие, то он начинает видоизменять предмет (опять наугад), все время наблюдая за его образом и стремясь приблизить его к заранее заданной идее.

Все это исследователь может делать, поскольку он обладает способностью измерять расстояние между фактическим и желаемым образами предмета (т.е. устанавливать степень их близости друг к другу) и определять, становится ли это расстояние в процессе регулирования больше или меньше. Действуя так, исследователь постепенно доводит расстояние до нуля и приходит в итоге к такому предмету, который порождает желаемый образ. Решая ту же самую задачу повторно, исследователь снова придет к нужному образу, однако предмет, порождающий тот же самый образ, получится, вообще говоря, другой.

Итак, эффективность метода сравнения приведенным выше возражением не подрывается. Исследователь располагает возможностью однозначно формировать нужные понятия, несмотря на то, что порождающие их физические предметы он однозначно задавать не может.

Вследствие неполного доступа к физическим предметам исследователь никогда не располагает о них исчерпывающей информацией. Как же в этих условиях можно ставить задачу о полном изучении

преобразования физического стимула в его образ, возникающий в сознании испытуемого? Ведь таким преобразованием должно связываться полное математическое описание предмета с полным описанием образа этого предмета. Поскольку исчерпывающей характеристики входного сигнала мы не имеем (и иметь не можем), то исчезает сама основа решения задачи полного формального описания процесса восприятия предметов человеком. Не следует ли отсюда вывод о неуниверсальности метода сравнения?

Это возражение преодолевается следующим образом. Оказывается, можно получить исчерпывающее описание преобразования предметов в их образы, даже не располагая полным описанием предметов. Поясним смысл этого утверждения на примере задачи о восприятии цвета. Для математической характеристики излучения исследователь использует не первое попавшее под руку качество света. Он останавливается на спектре в силу его особых качеств. Исследователь включает спектр в характеристику света по той причине, что изменение спектра излучения в ряде случаев приводит к изменению цвета. Однако он не обращает внимания на поляризационные свойства света, поскольку варьирование направлением поляризации излучения при неизменности его спектра никогда не ведет к перемене цвета. Кроме спектра, исследователь не использует в математической характеристике света никаких других его свойств потому, что цвет всецело определяется спектром излучения. Если два излучения имеют одинаковые спектры, то, как бы сильно ни разнились они другими свойствами, порожденными ими цвета будут неотличимы друг от друга.

Ввиду сказанного правомерно утверждать, что для задачи о математическом описании процесса восприятия цвета спектр некогерентного излучения может служить его достаточной характеристикой. Все другие параметры света (в том числе и те, о которых наука пока еще ничего не знает) либо несущественны для цвета, либо однозначно зависят от спектра излучения. Подведем итог: любая математическая характеристика какого бы то ни было физического стимула, которую способен сформировать исследователь, строго говоря, всегда неполна. Но если такая неполная характеристика однозначно определяет образы предметов, возникающие в сознании испытуемого, то одного этого уже достаточно, чтобы получить возможность исчерпывающе описать процесс восприятия этих предметов.

Результаты изучения человеческого интеллекта, осуществляемого исследователем по методу сравнения, объективны только в физическом смысле, но не в философском, тем не менее этого достаточно, чтобы признать их удовлетворяющими стан-

дартам строгости, принятым в физике. Важно подчеркнуть, что субъективная информация об интеллекте после ее исследования по методу сравнения превращается в объективную.

Например, информация о цвете излучения, возникающая в сознании испытуемого, остается субъективной только до тех пор, пока не проведено математическое описание процесса восприятия цвета испытуемым. После того, как исследователь изучит поведение испытуемого, сравнивающего цвета всевозможных излучений, на этой основе математически опишет цвет и его зависимость от спектра для данного испытуемого, информация о цвете объективизируется.

Теперь цветовую реакцию испытуемого на любое световое излучение можно будет определять даже без помощи испытуемого, просто вычисляя ее по найденному формальному описанию преобразования излучения в цвет.

Проводя серию опытов, исследователь предъявляет испытуемому понятия, некоторые из них - многократно. Гарантию того, что исследователь сможет сформировать то же самое понятие повторно, дает его память. Между двумя предъявлениями одного и того же понятия исследователь его помнит. Пользуясь своей способностью устанавливать равенство и неравенство понятий, он формирует нужное понятие, сравнивая его с понятием, которое хранится в памяти. Но память человека не идеальна, она часто подводит, ее содержимое забывается, размывается, искажается. Чтобы к моменту повторного предъявления понятие не изменилось, можно использовать запись, хранящую заданное понятие в виде материального предмета.

В процессе проведения опытов исследователь предъявляет испытуемому понятия. Где гарантия того, что в уме испытуемого всегда возникает точно такое же понятие, какое исследователь намеривался предъявить испытуемому? Исследователь может осуществить специальную проверку правильности передачи понятия испытуемому. Для этого он может воспользоваться тем же приемом, который практикуется на экзаменах. Чтобы убедиться в том, что учащийся правильно понял материал, преподаватель заставляет его пересказать усвоенную информацию. Если понятие, возвратившееся к исследователю от испытуемого, не совпадает с исходным понятием, то нет оснований полагать, что она была передана без искажений.

Но можно ли быть уверенным в точной передаче понятия в том случае, когда достигнуто совпадение возвратившегося понятия с исходной? Нет, поскольку возможны случайные совпадения. Однако, если учесть, что разных понятий очень много, то можно прийти к заключению, что вероятность случайного совпадения понятия ничтожно мала. При

совпадении исходной и возвращенной понятий можно быть практически уверенным, что понятие испытуемому передано правильно. Правда, возможен случай, когда испытуемый, как попугай, в точности повторяет слова, сказанные ему исследователем, и таким образом имитирует правильное усвоение понятия, которого на самом деле нет. Исследователь может принять специальные меры, чтобы этого не допустить. Он может, к примеру, предложить испытуемому пересказать сообщенную ему идею «своими словами».

2. Формирование понятий

Для изучения интеллекта испытуемого нужно сформировать множество A всех необходимых его понятий. Уточним условие повторяемости: для успешного изучения интеллекта испытуемого его понятия A должны однозначно определяться порождающими их понятиями A исследователя. В этом случае можно использовать понятия исследователя в роли имен понятий испытуемого и определить, какие из понятий множества A порождают одно и то же понятие множества A , а какие – различные, т.е. факторизовать множество A . С этой целью рассмотрим строение понятия. Испытуемый способен различать свои понятия, поэтому можно сказать, что они имеют различные признаки. Если испытуемый по заданию исследователя P реагирует на набор понятий (x_1, x_2, \dots, x_n) положительным ответом, то это означает, что понятия x_1, x_2, \dots, x_n в соответствии со своими признаками находятся в отношении L , задаваемым уравнением $P(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1$. Отрицательный ответ испытуемого означает, что понятия x_1, x_2, \dots, x_n не находятся в отношении L .

Выводы

В работе был проанализирован вопрос - можно ли достичь идеально точного совпадения понятий исследователя и испытуемого? По всей видимости, да. Если бы люди не могли передавать идеи друг другу без искажения, то эффективное общение между ними было бы невозможно.

Однако практика жизни ясно показывает, что это не так. Но, может быть, понятия передаются неточно, с определенной степенью приближения, и этого достаточно для достижения взаимопонимания между людьми?

В некоторых случаях бывает и так, тем не менее существуют понятия, например, математические утверждения, которые могут передаваться от человека к человеку абсолютно точно.

Видимо, если понятие ясное и точное, а испытуемый – понятливый, то при достаточном умении исследователь всегда сможет ее донести до сознания испытуемого в полном объеме и неискаженном виде.

Конечно, встречаются понятия неясные, нечеткие, расплывчатые. И они могут представлять интерес, например, в педагогике при выяснении степени усвоения материала учащимися. Но к таким понятиям неприменимо требование точной передачи. Представляется, что в теории интеллекта следует по возможности ограничиваться ясными и четко очерченными понятиями.

По крайней мере, на сегодняшний день в теории интеллекта имеется масса задач, которые можно успешно решать без привлечения нечетких понятий. По этой причине мы будем воздерживаться от использования нечетких понятий при исследовании интеллекта по методу сравнения.

Список литературы

1. Лецинская И.А. О свойствах предиката равенства понятий // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ, 2017. – Вип. 1(41). – С. 92-95.
2. Лецинский И.А. О модели равенства понятий // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ, 2017. – Вип. 1(41). – С. 96-99.
3. Бондаренко М.Ф. Теория интеллекта. Учебник / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – Х.: СМІТ, 2007 – 576 с.

Надійшла до редколегії 6.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

КОНТРОЛЬ ОДНОЗНАЧНОСТІ ПОНЯТЬ ТА ЇХ ФОРМУВАННЯ ЗА МЕТОДОМ ПОРІВНЯННЯ

І.О. Лещинська

В роботі досліджуються умови застосовності методу порівняння для ідентифікації інтелектуальної діяльності людини. Проаналізовані можливості об'єктивного вивчення інтелекту людини методом порівняння при відсутності прямого доступу до суб'єктивних відчуттів.

Ключові слова: алгебра скінченних предикатів, алгебра понять, інтелект, висловлювання.

CONCEPTS UNIQUENESS CONTROL AND THEIR FORMATION BY COMPARISON METHOD

I.O. Leshchynska

This paper investigates the comparison method applicability conditions for human intellectual activity identification. The possibilities of an objective study of human intelligence by comparison, in the absence of direct access to the subjective feelings.

Keywords: finite predicates algebra, algebra of concepts, intellect, utterance.

УДК 511.17

И.В. Лысенко, В.В. Бородавка

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВОГО ТУЛБОКСА ДЛЯ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ MATLAB

Представлены результаты сравнительного анализа наиболее популярных систем компьютерной математики (Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad) на предмет возможности решения в их рамках теоретико-числовых задач и вычисления функций элементарной теории чисел. Описаны возможности разработанного теоретико-числового тулбокса Number Theory Toolbox для системы Matlab, представленного набором функций для выполнения теоретико-числовых преобразований, относящихся к прикладной криптологии.

Ключевые слова: Matlab, функции теории чисел, теоретико-числовой тулбокс.

Введение

В практике инженерной и исследовательской деятельности многие прикладные задачи, допускающие формализацию, могут быть решены с помощью систем компьютерной математики (СКМ) или, как иногда говорят, систем компьютерной алгебры, представляющих собой специализированное программное обеспечение для выполнения математических расчётов самой разной направленности. К числу наиболее популярных СКМ относятся Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad [1-2]. Так, например, в [3] сделан обзор возможностей упомянутых СКМ с точки зрения решения задач оптимизации.

Следует, очевидно, ожидать от СКМ возможности вычисления в их рамках базовых функций элементарной теории чисел и решения теоретико-числовых задач, относящихся к прикладной криптологии. Проведенный анализ показывает, что наибольшими возможностями в этом отношении обладают СКМ Mathematica и Maple.

В этой связи **цель статьи** состоит в том, чтобы, во-первых, представить результаты анализа СКМ Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad на предмет возможности решения в их рамках теоретико-числовых задач и вычисления функций элементарной теории чисел, относящихся к прикладной криптологии, а, во-вторых, описать возможности разработанного теоретико-числового тулбокса для СКМ Matlab (Number Theory Toolbox).

Сравнительная характеристика возможностей СКМ по решению задач элементарной теории чисел

В СКМ Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple присутствуют следующие встроенные теоретико-числовые функции, общие для них: *primes*, *isprime*, *factor*, *gcd*, *lcm*, *mod*. Первые три из них являются функциями одного аргумента - натурального числа n и связаны с простыми числами. Так, функция *primes* возвращает строку простых чисел, меньших или рав-

ных n , а вторая позволяет установить, является ли данное число простым. Функция *factor* решает задачу факторизации - возвращает строку, содержащую простые множители числа n . Функции *gcd* и *lcm* находят наибольший общий делитель (НОД) и наименьшее общее кратное (НОК) двух чисел соответственно и, наконец, функция *mod(x,y)* возвращает остаток от деления x на y . Что касается простых чисел, в СКМ Mathematica и Maple, в отличие от Mathcad и Matlab содержатся встроенные функции, позволяющие: находить простое число с заданным порядковым номером, наименьшее простое число, превышающее заданное число n и наибольшее простое число, не превышающее его, а также все простые делители числа n . Кроме того, встроенные функции СКМ Mathematica позволяют:

- находить следующее простое число, которое расположено после n (функция *NextPrime*);
- находить совершенное число по его порядковому номеру (функция *PerfectNumber*);
- находить символ Кронекера (функция *KroneckerSymbol*);
- возводить число в степень по модулю (функция *PowerMod*);
- находить функцию Эйлера числа (функция *EulerPhi*);
- находить функцию Мебиуса числа (функция *MoebiusMu*);
- находить символ Якоби и символ Лежандра числа (функция *JacobiSymbol*);
- находить порядковый номер числа по модулю (функция *MultiplicativeOrder*);
- выбрать случайное простое число (функция *RandomPrime*).

В состав СКМ Mathematica входит пакет Number Theory, который содержит все выше перечисленные функции и насчитывает всего 56 функций для теоретико-числовых вычислений.

В состав СКМ Maple также входит пакет Number Theory, который содержит команды, используемые для исследования свойств натуральных и целых

чисел. Всего данный пакет содержит 42 функции для теоретико-числовых вычислений. Функции пакета Number Theory в СКМ Maple позволяют:

- проверить, является ли данное число числом Мерсенна (функция *IsMersenne*);
- найти количество простых чисел меньше заданного числа (функция *PrimeCounting*);
- находить квадратичные вычеты числа (функция *QuadraticResidue*);
- вычислять количество простых сомножителей целого числа n с учетом кратности (функция *NumberOfPrimeFactors*);

Таблица 1

Сравнительная таблица возможностей СКМ

Системы компьютерной математики	Задачи элементарной теории чисел				
	ФЭ	ФР1	ФН1	ФН2	ФН3
Maple	+	—	+	—	+
Matlab	—	—	—	—	—
Mathcad	—	—	—	—	—
Mathematica	+	—	+	+	+

Таблица 2

Сравнительная таблица возможностей СКМ

Системы компьютерной математики	Задачи элементарной теории чисел				
	ФМ	ФЛ	ФЯ	ФСМ	ФПМ
Maple	+	+	+	—	—
Matlab	—	—	—	—	—
Mathcad	—	—	—	—	—
Mathematica	+	—	+	+	—

- находит сумму делителей числа (функция *SumOfDivisors*);
- находит первообразный корень по модулю (функция *PrimitiveRoot*);
- решать уравнения или неравенства Туэ (функция *ThueSolve*);
- решать задачи о сумме двух квадратов (функция *SumOfSquares*).

сравнительная характеристика СКМ с точки зрения наличия в них теоретико-числовых функций, имеющих применение в криптографии, представлены в табл. 1 – 4 [4 – 9].

Таблица 3

Сравнительная таблица возможностей СКМ

Системы компьютерной математики	Задачи элементарной теории чисел				
	ФОМ	ФОВ	ФР2	ФОП	ФНК
Maple	+	—	—	+	—
Matlab	—	—	—	—	—
Mathcad	—	—	—	—	—
Mathematica	—	—	—	+	+

Таблица 4

Сравнительная таблица возможностей СКМ

Системы компьютерной математики	Задачи элементарной теории чисел			
	ФРК	ФПП	ФНОД	ФНОК
Maple	+	—	—	—
Matlab	—	—	—	—
Mathcad	—	—	—	—
Mathematica	+	+	+	+

В табл. 1 – 4 обозначены функции: Эйлера (ФЭ), решения сравнений первой степени (ФР1), нахождения делителей числа (ФН1), их количества (ФН2) и суммы (ФН3); Мебиуса (ФМ); нахождения символов Лежандра (ФЛ) и Якоби (ФЯ); возведения в степень по модулю (ФСМ) и поиска квадратичных вычетов по модулю (ФПМ); определения – является ли число квадратичным вычетом по модулю (ФОМ) или является ли простое число числом Блума (ФОВ); решения квадратичного сравнения для случая, когда простое число является числом Блума (ФР2); определения показателя числа по модулю (ФОП); нахождения обратного элемента в кольце по модулю (ФНК); решения системы сравнений первой степени на основе китайской теоремы об остатках (ФРК); определения простого числа с порядковым номером (ФПП), НОД для произвольного числа аргументов (ФНОД) и НОК для произвольного числа аргументов (ФНОК).

Теоретико-числовой тулбокс для СКМ Matlab (Number Theory Toolbox)

На данный момент в СКМ Matlab отсутствует тулбокс для теоретико-числовых вычислений. Разработанный тулбокс может быть внедрен как отдельный Toolbox в СКМ Matlab и использован для целей криптографии (как вспомогательных и составляющих функций для практической реализации, и обоснования стойкости криптографических средств), а также в учебных целях, в частности, при изучении курсов, связанных с математическими основами криптологии.

Разработанный тулбокс содержит ряд функций:

1. Функция *eulerfunc(n)* производит вычисление функции Эйлера для заданного натурального числа n – количества положительных целых чисел,

меньших n , взаимно-простых с n . В ходе тестирования было установлено, что 16 – это максимальное количество разрядов для входного значения n . Данное ограничение связано с возможностями встроенной функции факторизации *factor(n)* обрабатывать данные разрядности, не больше 16.

2. Функция *solvlpowercongr(a,b,m)* предназначена для отыскания решения сравнений первой степени вида $ax = b \pmod{m}$ с проверкой условия существования решений, а также определения их количества. При тестировании было установлено, что 15 – это максимальное количество разрядов для входных значений параметров a , b , m . При разрядности входных данных, больших 16 десятичных разрядов, функция будет отображать количество решений сравнения, но без отображения результатов. Данное ограничение связано со встроенной функцией *dec2bin(n)*.

3. Функция *divisors(n)* предназначена для нахождения делителей числа n и выводит список целых чисел, которые делят n (включая 1 и n). При тестировании функции было установлено, что 16 – это максимальное количество разрядов для входного значения n . Данное ограничение связано с упомянутым выше ограничением встроенной функции факторизации *factor(n)*.

4. Функция *divisorsnum(n)* предназначена для нахождения количества делителей числа n и выводит количество целых чисел, которые делят n (включая 1 и n). Входным параметром данной функции является целое число n . Тестирование аналогично предыдущей функции.

5. Функция *divisorssum(n)* предназначена для нахождения суммы делителей числа n и выводит сумму целых чисел, которые делят n (включая 1 и n). Входным параметром данной функции является целое число n . Тестирование аналогично предыдущей функции.

6. Функция *mobiusfunc(n)* производит вычисление функции Мебиуса, которая принимает значения: -1, 0, 1, а именно:

- $\mu(n) = 1$, если n не делится на квадрат простого числа и разложение n на простые множители состоит из чётного числа сомножителей;
- $\mu(n) = -1$, если n не делится на квадрат простого числа и разложение n на простые множители состоит из нечётного числа сомножителей;
- $\mu(n) = 0$, если n делится на квадрат простого числа.

При тестировании было установлено, что 12 – это максимальное количество разрядов для входного значения n . Данное ограничение связано с переполнением памяти при вычислениях, а также ограничениями встроенной функции *hist(n)*.

7. Функция *legendresymb(a,p)* производит вычисление символа Лежандра (a/p), где p – простое число, который принимает значения: -1, 0, 1, а именно:

- $(a/p) = 0$, если a делится на p ;
- $(a/p) = 1$, если a является квадратичным вычетом по модулю p , т.е. существует такое целое x , что $x^2 = a \pmod{p}$;
- $(a/p) = -1$, если a является квадратичным невычетом по модулю p .

При тестировании было установлено, что единственным ограничением данной функции является сложность нахождения большого простого числа, а в некоторых случаях ограниченность встроенной функции *isprime(n)*.

8. Функция *jacobisymb(a,n)* производит вычисление символа Якоби (a,n). Символ Якоби является обобщением символа Лежандра, когда n – не обязательно простое число. При тестировании было установлено, что 16 – это максимальное количество разрядов для входных значений. Данное ограничение связано с ограничением на разрядность аргументов функции *mod(a,b)*.

9. Функция *powermod(a,b,m)* производит вычисление значения возведения в степень по модулю $a^b \pmod{m}$. При тестировании функции было установлено, что 305, 305, 154 – это максимальное количество разрядов для входных значений a, b, m , соответственно.

10. Функция *quadraticresidues(n)* выводит квадратичные вычеты для заданного модуля. При тестировании было установлено, что 7 – это максимальное количество разрядов для входного значения n . Данное ограничение связано с переполнением памяти при вычислениях, а также ограничениями встроенной функции *unique(n)*.

11. Функция *isquadresidue(a,n)* позволяет ответить на вопрос, ли число a квадратичным вычетом по модулю n или нет. При тестировании было установлено, что 53 – это максимальное количество разрядов для аргументов функции. При разрядности входных данных больше 53, результат работы функции может быть некорректным.

12. Функция *fiblumprime(p)* позволяет установить, является ли число простым числом Блюма. При тестировании функции было установлено, что единственным ограничением является сложность нахождения большого простого числа, а в некоторых случаях – ограничения на разрядность аргумента встроенной функции *isprime(n)*.

13. Функция *solvquadblum(a,p)* предназначена для отыскания решения квадратичного сравнения для случая, когда простое число является числом Блюма. В этом случае, если $p \equiv 3 \pmod{4}$ – простое число и a – квадратичный вычет по модулю p , то сравнение $x^2 = a \pmod{p}$ имеет два решения: $x = \pm a^{(p+1)/4} \pmod{p}$. При тестировании было установлено, что ограничениями данной функции являются: сложность нахождения большого простого числа, а также – квадратичного вычета для него.

14. Функция *multorder(a,m)* предназначена для определения показателя числа a по модулю m , т.е. такого наименьшего числа r , для которого справедливо сравнение $a^r \equiv 1 \pmod{m}$. При тестировании было установлено, что ограничениями данной функции являются оператор *while* и встроенная функция *mod(a,b)*, у которых при разрядности входных данных, большем 12, вычисления и перебор занимают бесконечное количество времени.

15. Функция *modmultinv(a,m)* производит вычисление элемента, обратного элементу a в кольце вычетов по модулю m . При тестировании было установлено, что ограничением данной функции на разрядность входных данных является соответствующее ограничение функции *factor(n)*, у которой максимально допустимая размерность входных данных равна 16 разрядов для входного значения n . В свою очередь, первый аргумент данной функции может иметь разрядность, равную 308, при максимальной разрядности второго аргумента, равной 15.

16. Функция *chineseremainder(r,a)* предназначена для отыскания решения системы сравнений с помощью китайской теоремы об остатках. Входными

параметрами данної функції являються два операнда g і n , где g – масив остатков, а – масив модулів лінійних сравнень вида $x = g_i \pmod{n_i}$. При тестировании было установлено, что ограничением данной функции является встроенная функция $factor(n)$ (эту встроенную функцию использует разработанная функция $eulerfunc(n)$, которую в свою очередь использует разработанная функция $powermod(a,b,m)$, а разработанная функция $modmultinv(a,m)$ использует $powermod(a,b,m)$ для своих вычислений, поэтому автоматически ограничения встроенной функции $factor(n)$ переходят и ко всем разработанным функциям), и что 13 – это максимальное количество разрядов для входных значений g и n .

17. Функция $prime(n)$ предназначена для отыскания простого числа по его порядковому номеру n . При тестировании было установлено, что ограничениями данной функции является проблема выхода массива за допустимые пределы, а также ограничения встроенной функции $primes(n)$.

18. Функция $igcd(a)$ предназначена для определения НОД для произвольного числа аргументов a_1, a_2, \dots, a_n , которые являются входными параметрами массива a . При тестировании было установлено, что ограничением данной функции является встроенная функция $gcd(a,b)$, которая при разрядности входных данных, большей 16, может давать неточный результат.

19. Функция $ilcm(a)$ предназначена для определения НОК для произвольного числа аргументов a_1, a_2, \dots, a_n , которые являются входными параметрами массива a . При тестировании было установлено, что ограничением данной функции является встроенная функция $lcm(a,b)$, которая при разрядности входных данных, большей 8, может давать неточный результат.

Каждая из вышеперечисленных функций была протестирована, тестирование показало, что все функции работают корректно.

Для примера рассмотрим реализацию и тестирование функции $isquadresidue(a,n)$ (в списке разработанных функций находится под номером 11).

М-файл-функция с именем $isquadresidue.m$ имеет вид:

```
function f = isquadresidue(a,n)
%% isquadresidue: function, which shows whether a
%   number is a quadratic residue a given modulo n.
%
% Example:
% f = isquadresidue(3,13);
% returns -> f = 1;
%
% f = isquadresidue(3,12);
% returns -> f = 0;
%
% Author: Vladyslav Borodavka
%   ( v.v.borodavka@hotmail.com )
%
%% calculating whether a number is a quadratic residue %%a
given modulo and input error check:
if nargin~=2
error('Must have exactly two argument')
end
% if the numbers a and m are not relatively prime, then % f = 0
```

```
if gcd(a,n) > 1
f = 0;
else
% if n is prime -> calculate Legendre symbol
if isprime(n) == 1
d = legendresymb(a,n);
if d == 1
f = 1;
else
f = 0;
end
% else -> calculate Jacobi symbol
else
d = jacobisymb(a,n);
if d == -1
f = 0;
else
if d == 1
fprintf('a may be quadratic residue modulo n
with probability 1/2');
end
end
end
end
```

Входными параметрами данной функции являются целые числа a и n . В теле данной функции используются функция $legendresymb(a,p)$ и $jacobisymb(a,n)$, которые также разработаны для теоретико-числового тулбокса.

Результаты тестирования рассматриваемой функции представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты тестирования функции $isquadresidue(a,n)$

№	Входные данные	Количество разрядов входных данных	Результат
1	3, 13	0, 1	1
2	861, 8191	2, 3	1
3	131059, 131071	5, 5	1
4	21474812, 21474836	7, 7	0
5	$2^{11}, 2^{12}+1$	11, 12	a may be quadratic residue modulo n with probability 1/2
6	$2^{15}, 2^{15}+2^{12}$	15, 15	0
7	$2^{50}, 2^{50}+17$	50, 50	a may be quadratic residue modulo n with probability 1/2
8	$2^{53}, 2^{53}+17$	53, 53	0
9	$2^{53}, 2^{54}+17$	53, 54	Warning: Inputs contain values larger than the largest consecutive flint. Result may be inaccurate. 0

В последней колонке выходное значение, равное 1, соответствует положительному ответу на вопрос, является ли число a квадратичным вычетом по модулю n , а значение, равное 0, – отрицательному ответу на этот вопрос.

Было установлено, что 53 – это максимальное количество разрядов для входных значений обоих

входных параметров. При разрядности входных данных, большей 54, данная функция будет отображать результат, но значения могут быть некорректными, о чем свидетельствует выдаваемое предупреждение (последняя строка таблицы).

Заклучение

В результате сравнительного анализа наиболее популярных систем компьютерной математики (Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad) с точки зрения решения теоретико-числовых задач и вычисления функций элементарной теории чисел было установлено, что наибольшими возможностями обладают системы Mathematica и Maple, содержащие функции для решения базовых задач элементарной теории чисел, находящих применение в криптологии. Возможности систем Matlab и Mathcad представлены функциями: факторизации, проверки простоты чисел, формирования списка простых чисел, меньших заданного, вычисления остатка данного числа по модулю, а также определения наибольшего общего делителя и наименьшего общего кратного двух чисел. В рамках СКМ Mathematica и Maple, в отличие от Matlab и Mathcad, имеется возможность вычислять функцию Эйлера и функцию Мёбиуса, символ Лежандра и символ Якоби, а также значение показателя числа по заданному модулю, решать линейные и квадратичные сравнения (если они совместны), а также системы линейных сравнений с помощью китайской теоремы об остатках и др.

На основании перечисленных встроенных функций системы Matlab было разработано 19 функций, совокупность которых вместе с упомянутыми функциями системы Matlab можно рассматривать в качестве теоретико-числового тулбокса Number Theory Toolbox. Все разработанные функции были протестированы на предмет корректности их реализации. Для каждой из них установлено максимальное число разрядов операндов, с которыми разработанные функции позволяют оперировать.

Разработанный набор функций может быть внедрен как отдельный Toolbox в СКМ Matlab для использования как в учебных, так и научно-исследовательских целях для оптимизации рабочего процесса и ускорения работы с вычислениями.

Список литературы

1. Таранчук, В.Б. Основные функции систем компьютерной алгебры: учеб. пособие [Текст] / В.Б. Таранчук. – Минск: БГУ, 2013. – 59 с.
2. Шишков, М.Л. Системы компьютерной математики как базовый инструмент обучения алгоритмизации и программированию [Текст] / М.Л. Шишков, Т.А. Трохова // Компьютерные инструменты и образование. – 2005. – № 4. – С. 25–34.
3. Лысенко И.В. Анализ возможностей решения задач оптимизации средствами систем компьютерной математики [Текст] / И.В. Лысенко, В.О. Бутенко // Системы обработки информации. – Х: ХУПИС, 2016. – Вып. 5(142). – С. 133–136.
4. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель [Текст] / Е.А. Курбатова, 2006. – 256 с.
5. Overview of the numtheory Package [Электронный ресурс] // Maplesoft. – 2016. – Режим доступа: <https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=numtheory> – 05.02.2017 г.
6. Бусыгин Н.Ю. Решение задач в среде Mathcad [Электронный ресурс] / Николай Юрьевич Бусыгин // СПУТД – Режим доступа: <http://eco.sutd.ru/mathcad/index.htm> – 06.02.2017 г.
7. Number Theoretic Functions [Электронный ресурс] // Wolfram Language & System Documentation Center – Режим доступа: <http://reference.wolfram.com/language/guide/NumberTheoreticFunctions.html> – 10.02.2017 г.
8. Бедрастюк, Л.П. Использование системы компьютерной алгебры MAPLE в элементарной теории чисел / Л.П. Бедрастюк, Г.И. Бедрастюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №6. – С. 10–13.
9. Тилборг, ван Х.К.А. Основы криптологии. Профессиональное руководство и интерактивный учебник / Х.К.А. ван Тилборг. – М.: Мир, 2006. – 471 с.

Надійшла до редколегії 17.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

РОЗРОБКА ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВОГО ТУЛБОКСА ДЛЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ MATLAB

І.В. Лисенко, В.В. Бородавка

Представлено результати порівняльного аналізу найбільш популярних систем комп'ютерної математики (Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad) щодо можливості рішення за їх допомогою теоретико-числових задач і обчислення функцій елементарної теорії чисел. Описано можливості розробленого теоретико-числового тулбоксу Number Theory Toolbox для системи Matlab, який представлений множиною функцій для виконання теоретико-числових перетворень, що відносяться до прикладної криптології.

Ключеві слова: Matlab, функції теорії чисел, теоретико-числовий тулбокс.

DEVELOPMENT OF NUMBER-THEORETIC TOOLBOX FOR THE COMPUTER MATHEMATICS SYSTEM MATLAB

I.V. Lysenko, V.V. Borodavka

Presents the results of the comparative analysis of the most popular systems of computer mathematics (Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad) for possible solutions in the framework of their number-theoretic problems and computation functions of elementary number theory. Describes the possibilities the developed theoretical and numerical toolbox Number Theory Toolbox for system Matlab, represented by a set of functions to perform number-theoretic transformations relating to for applied of cryptology.

Keywords: Matlab, functions of number theory, number-theoretic toolbox.

Кібернетична безпека

УДК 004.056

Л.М. Дегтярьова, В.Г. Ляшевський

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ПРАКТИЧНІ ПРИЙОМИ ТА КЕРІВНІ ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ КОМПЛЕКСІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

У статті розглянуті результати порівняльного аналізу розвитку концепції інформаційної безпеки автоматизованих систем, використання сучасних інтелектуальних технологій в сфері інформаційної безпеки. Показано, що втілення принципів науковості і професіоналізму та використання сучасних тенденцій у практичній складовій забезпечення інформаційної безпеки сприяє зміцненню принципів інформаційної безпеки.

Ключові слова: інформаційна безпека, автоматизована інформаційна система, несанкціонований доступ, конфіденційність інформації, інформаційні загрози, інтелектуальні мультиагентні технології.

Вступ

Наявність великої кількості критично важливої для підприємств та організацій інформації, що зберігається і обробляється в комп'ютерних системах, призвела до створення єдиної інфраструктури. Її використання дозволяє отримати доступ до інформації найбільших бібліотек і світових баз даних, оперативно виконувати складні розрахунки, швидко обмінюватися інформацією з іншими респондентами мережі незалежно від їх віддаленості один від одного – в межах міста, країни або світу. Така кількість точок доступу у значній мірі підвищує загрозу інформаційній безпеці обробки і передачі даних. Особливо вразливими виявляються дані, що передаються в глобальних телекомунікаційних мережах.

В даний час вже неможливо уявити сучасну організацію без застосування новітніх інформаційних технологій. Їх застосування – від автоматизації окремих робочих місць і до побудови корпоративних розподілених інформаційних систем. Але в той же час, розвиток мереж, їх ускладнення, взаємна інтеграція призводять до появи якісно нових загроз, збільшення кількості кіберзлочинців, які мають потенційну можливість порушувати стабільність роботи системи.

В результаті дослідження історії питання були проаналізовані погляди вчених з вітчизняної [1 – 7] та зарубіжної літератури [13 – 17] на систему інформаційної безпеки. Даний аналіз проблеми інформаційної безпеки українських і зарубіжних дослідників дозволив з'ясувати загальні тенденції розвитку системи інформаційної безпеки та виявити сучасні тенденції у створенні дієвих комплексів інформаційної безпеки.

Виклад основного матеріалу

Успіх діяльності сучасного підприємства/організації та її розвиток за умов гострої конкуренції

значною мірою залежить від застосування інформаційних технологій, і, відповідно, від рівня інформаційної безпеки, яка запобігає як незаконному втручанням в інформаційні ресурси інформаційної системи, так і перешкоджає витоку конфіденційних персональних даних (особисті справи працівників, трудові договори, зміст реєстрів бухгалтерського обліку, і внутрішньої бухгалтерської звітності), наявних в інформаційних системах.

Серед пріоритетів, які визначені для систем управління інформаційною безпекою сучасного бізнес-процесу це:

- стабільність бізнесу;
- захист інтересів власників;
- підвищення рівня довіри клієнтів (партнерів).

Головною ціллю будь-якої системи інформаційної безпеки є забезпечення коректної та безперебійної роботи об'єкта, що охороняється, запобігання можливих фінансових втрат через загрози безпеки, розголошення таємниць бізнес-процесів, спотворення і руйнування службової інформації. Іншою ціллю можна вважати забезпечення якості послуг і гарантій безпеки інтересів як власників інформаційних ресурсів так і їх клієнтів, гарантування обопільної конфіденційності даних. Встановлена ступінь конфіденційності інформації, як правило, зберігається при її обробці в інформаційних системах і при передачі по телекомунікаційних мережах.

Для того, щоб вищезгадані цілі були досягнуті, необхідно вирішити деякі завдання:

- обмежити доступ до інформації, визначеної як службова таємниця;
- визначити та здійснити адміністративні заходи для виявлення загроз безпеці інформаційних ресурсів;
- з'ясувати можливі мотиви, що мають на меті нанесення фінансових і моральних збитків;
- використання правових, організаційних і технічних засобів забезпечення безпеки;

створення умов для максимальної локалізації можливих збитків: фінансових, матеріальних і моральних, що призводять до порушення нормального функціонування і розвитку організації.

Режим інформаційної безпеки в подібних системах забезпечується:

на адміністративному рівні — політикою безпеки організації, в якій сформульовані цілі в області інформаційної безпеки і способи їх досягнення;

на процедурному рівні — шляхом розробки і виконання розділів інструкцій для персоналу, присвячених інформаційній безпеці, а також заходами фізичного захисту;

на програмно-технічному рівні — вживанням апробованих і сертифікованих рішень, стандартного набору контрзаходів: резервного копіювання, антивірусного і парольного захисту, міжмережових екранів, шифрування даних і т.д.

При створенні системи інформаційної безпеки важливо не виключити жодного істотного аспекту — в цьому випадку інформаційній технології, яка вживається, буде гарантований відповідний рівень інформаційної безпеки.

Щоб система інформаційної безпеки була збалансованою, на початку процесу її формування проводиться аналіз можливих ризиків, які потенційно можуть загрожувати інформаційній системі підприємства. Спираючись на аналіз загроз, ризиків, вразливостей, потенційних місць проникнення в систему, оцінюючи збитки, формується обґрунтування вибору заходів протидії загрозам, що спричиняють збиток підприємству чи організації у вигляді моральної чи матеріальної шкоди (рис. 1).

Загальний підхід щодо забезпечення інформаційної безпеки передбачає наступні кроки [8]:

визначити цілі забезпечення інформаційної безпеки АІС (наприклад, забезпечення технологічної незалежності та високої конкурентоспроможності технічного потенціалу підприємства/організації, захист інформаційного поля комерційної таємниці та досягнення необхідного рівня інформаційного забезпечення роботи усіх підрозділів тощо);

створити ефективну систему управління інформаційною безпекою (чинником ефективності системи управління інформаційною безпекою є її побудова на базі міжнародних стандартів ISO / IEC 17799: 2005 [9] та ISO/IEC 27001:2011 [10];

оцінити відповідність запропонованих заходів із забезпечення інформаційної безпеки заявленим цілям (оцінка поточного рівня ефективності системи; локалізація "вузьких" місць у системі; оцінка відповідності системи підприємства існую-

чим стандартам в галузі інформаційної безпеки; вироблення рекомендацій і регламентів по забезпеченню безпеки об'єктів захисту).

Прийняті вимоги до системи інформаційної безпеки, що розробляється, повинні враховувати відповідні заходи на всіх етапах життєвого циклу інформаційної системи, тобто за весь період існування системи від початку розроблення до закінчення її використання та утилізації комплексу засобів автоматизації інформаційної системи. Таким чином, розробка відповідних заходів інформаційної безпеки відбувається після закінчення аналізу ризиків і вибору заходів, які повинні запобігати цим ризикам. Слід зазначити, що в якості обов'язкової складової цих заходів виступає рекурентна перевірка: наскільки наявний режим інформаційної безпеки відповідає політиці безпеки, яка була розроблена для певних умов роботи певного підприємства.

У зв'язку з відсутністю надійного і разом з тим простого і доступного методичного інструментарію створення адекватної системи захисту інформації, набуває необхідності пошук та визначення шляхів, які сприятимуть розробці саме комплексу інформаційної безпеки в умовах гетерогенної інформаційної системи підприємства [11]. Формування та втілення рекомендацій/вказівок політики інформаційної безпеки повинно стосуватись всіх стадій життєвого циклу інформаційної системи, носити комплексний характер і спиратися на апробовані прийоми та методи, що зарекомендували себе як дієві та надійні з одного боку, а з іншого використовувати перспективний підхід до побудови комплексних систем захисту інформації в комп'ютерних мережах, що дозволяє подолати деякі з недоліків традиційних методів захисту, а саме - технологію інтелектуальних багатоагентних систем [12].

Серед таких методів можна назвати обов'язкове використання певних засобів ідентифікації й аутентифікації об'єктів та суб'єктів, засобів резервного копіювання, антивірусного контролю: для виявлення та протистояння комп'ютерним вірусам, внесення до опису об'єкта автоматизації структури цінності і проведення аналізу ризиків, визначення правил

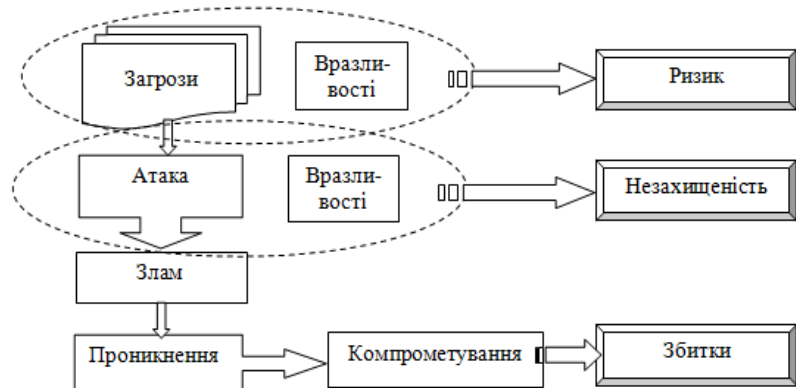


Рис. 1. Модель реалізації загроз інформаційної безпеки

будь-якого процесу користування цим видом доступу до ресурсів об'єкта автоматизації, що мають цей ступінь цінності і т.д.

Прийоми та методи розподіляються по групах заходів, спрямованих на забезпечення інформаційної безпеки організації [4], серед яких виділяють:

- управління персоналом;
- фізичний захист;
- підтримка працездатності;
- реагування на порушення режиму безпеки;
- планування відновних робіт.

Слід зазначити, що при розробці концепції інформаційної безпеки підприємства слід не тільки спиратись на вищезазначені групи заходів, але й зважати на сферу діяльності компанії/організації, що дозволить сформувати конкретні вимоги до інформаційної безпеки, кількість коштів, які планується витратити та рівень і кількість спеціалістів, що будуть залучені до розробки та втілення політики збереження конфіденційних даних, можливі втрати від можливого зниження репутації організації, дезорганізації її діяльності.

Система управління інформаційною безпекою повинна виконувати управління ризиками, слідкувати за ефективністю роботи системи в цілому, корегувати управління персоналом, впорядковувати документацію та записи безпосередньо системи управління ІБ, з можливістю її перегляду та модернізації, відповідати за безперервність бізнесу і швидкість його відновлення після критичних (з точки зору інформаційної безпеки) переривань (рис. 2).

Вимоги, що диктує система управління інформаційною безпекою, виконують або спеціальні співробітники відповідної служби, або відповідальні співробітники з досвідом роботи та авторитетом, призначені адміністрацією, та спроможні довести до відома рядових співробітників правила роботи з системою, навчаючи їх та своєчасно інформуючи.

У даному випадку використання технології інтелектуальних багатоагентних систем дозволяє істотно в порівнянні з традиційними методами підвищити ефективність захисту інформації, в тому числі її адекватність, відмовостійкість, стійкість до деструктивних дій, універсальність, гнучкість і т. д. Багато- або мультиагентною системою можна вважати мережеву сукупність автономних об'єктів/агентів), здатних отримувати, зберігати,

обробляти і передавати інформацію як в інтересах вирішення власних, так і корпоративних задач аналізу і синтезу інформації. В подібних системах кожен агент розглядається як система, заснована на знаннях з додаванням компонентів, що забезпечують безпеку, якість обслуговування, взаємодію з мережевими ресурсами та користувачами. Поняття агент відповідає апаратно або програмно реалізованій сутності, яка здатна діяти в інтересах досягнення цілей, бо однією з ознак мультиагентних систем є можливість вирішення складних погано формалізованих завдань, які вимагають побудови оригінального алгоритму рішення в залежності від конкретної ситуації, яка характеризується невизначеністю і динамічністю вихідних даних і знань.

Забезпечення інформаційної безпеки є постійно присутнім фактором, обов'язковим та необхідним елементом цілеспрямованої діяльності мультиагентних систем підтримки функціонування інформаційно-безпечних систем, заснованих на політиках безпеки.

Висновки

Невід'ємною частиною робіт по захисту є оцінка ефективності засобів захисту, що здійснюється за методикою, що враховує всю сукупність технічних характеристик оцінюваного об'єкта, включаючи технічні та програмні рішення, а також практичну реалізацію засобів захисту.

Аналіз безпеки комп'ютерних систем та інформаційних систем на різних стадіях їх життєвого циклу спирається на використання різних методів аналізу вразливостей, загроз та ризиків, виявленні відмінностей між політикою безпеки і конфігурацією системи та її поточним станом, завдання політик

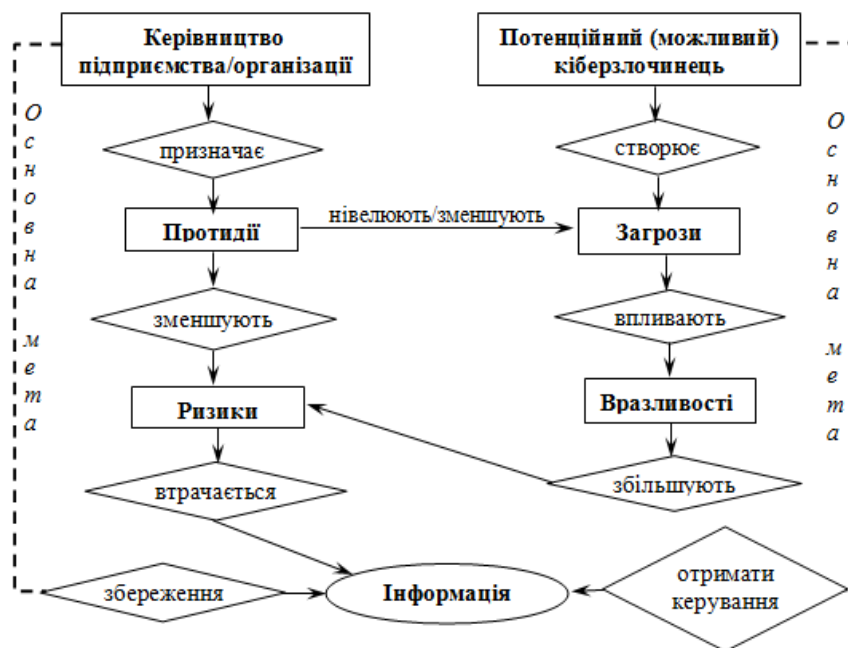


Рис. 2. Модель системи безпеки підприємства в інформаційній сфері

безпеки як сукупності правил забезпечення безпеки з наступною розробкою програмно-апаратних засобів підтримки інтелектуальних багатоагентних систем, здатних виявляти нові типи атак (несанкціонованих вторгнень), при необхідності уникнути наслідків атаки виконати зміну конфігурації комп'ютерних мереж і змінити профілі користувачів, сервісів і додатків.

Список літератури

1. Соціально-правові основи інформаційної безпеки: Навчальний посібник / [Петрик В.М., Кузьменко А.М., Остроухов В.В. та ін.]; за ред. В. В. Остроухова. – К.: Росава, 2007. – 496 с.
2. Петрик В.М. Щодо визначення інформаційної безпеки та її різновидів / В.М. Петрик // *Форми та методи забезпечення інформаційної безпеки держави: Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, 13 березня 2008 р.). – К.: Видавець Захаренко В.О., 2008. – С. 160–164.
3. Тихомиров О.О. Діяльнісний підхід у дослідженнях забезпечення інформаційної безпеки: мета, засоби і методи, принципи, результати // *Information Security of the Person, Society and State* – 2012 – № 3(10) – С. 11–17.
4. Галатенко В.А. Основы информационной безопасности. – М.: Изд-во "Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру", 2003. – 280 с..
5. Ожеван М. А. Основні напрями зовнішніх інформаційно-маніпулятивних впливів на суспільні трансформації в Україні: засоби протидії / М. А. Ожеван // *Стратегічні пріоритети*. – 2011. – № 3. – С. 118–126.
6. Сороківська О.А. Інформаційна безпека підприємства: нові загрози та перспективи / О.А. Сороківська, В.Л. Гевко // *Економічні науки: Вісник Хмельницького національного університету* 2010. – № 2. – Т. 2. – С.32–35.
7. Щербина В.М. Інформаційне забезпечення економічної безпеки підприємств та установ / В.М. Щербина // *Актуальні проблеми економіки*. – 2006. – № 10. – С. 220–225.
8. Велігура А.В. Дослідження шляхів розробки комплексів інформаційної безпеки / А.В. Велігура, Л.М. Дегтярьова, О.М. Степанова // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. – № 6(136), 2009, Ч. 1 – С.154–161
9. ISO/IEC 17799:2005 - Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод правил по менеджменту информационной безопасности
10. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements"; Методология. «Создание комплексной системы управления информационной безопасностью» // <http://itashita.ru/theory/sozdanie-kompleksnoj-sistemy-upravleniya-informacionnoj-bezopasnostyu.html>; (дата звертання 18.03.2017).
11. Степанова О.М. Інформаційна безпека в умовах розвитку інформаційної системи підприємства. / Степанова О.М., Дегтярьова Л.М. // *Інформаційна безпека*, № 1. – Вид-во: Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля, 2009. – С. 59–63
12. И.В. Котенко, Р.М. Юсупов. Перспективные направления исследований в области компьютерной безопасности//*Защита информации. INSIDE*. – 2006. – № 2. – С. 46–57
13. John R. Vacca. Public Key Infrastructure: Building Trusted Applications and Web Services. /John R. Vacca. – Public Key Infrastructure: Building Trusted Applications and Web Services. Front Cover. John R. Vacca. CRC Press, May 11, 2004 - Computers - 448 pages.
14. John R. Vacca. Computer Forensics: Computer Crime Scene Investigation, Том 1. – Charles River Media, 2005 – 832 pages
15. Jason Andress. The Basics of Information Security: Understanding the Fundamentals of InfoSec in Theory and Practice. – Imprint: Syngress, 2011. – 240 pages.
16. V.S.Bagad. Networks And Information Security. Front Cover. / I.A.Dhotre, V.S.Bagad. – Technical Publications, 2009. – 292 pages.
17. Richard E. Smith. Elementary Information Security. /Jones & Bartlett Publishers, Nov 18, 2011. - Computers - 890 p.

Надійшла до редколегії 15.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И УПРАВЛЯЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.Н. Дегтярева, В.Г. Ляшевский

В статье рассмотрены результаты сравнительного анализа развития концепции информационной безопасности автоматизированных систем, использования современных интеллектуальных технологий в сфере информационной безопасности. Показано, что воплощение принципов научности и профессионализма и использования современных тенденций в практической составляющей обеспечения информационной безопасности способствует укреплению принципов информационной безопасности.

Ключевые слова: информационная безопасность, автоматизированная информационная система, несанкционированный доступ, конфиденциальность информации, информационных угроз, интеллектуальные мультиагентные технологии.

PRACTICAL TECHNIQUES AND MANAGEMENT PRINCIPLES DEVELOPMENT OF SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY

L.N. Degtyarev, V.H. Lyashevsky

In the article the results of comparative analysis of the development of the concept of information security of automated systems, the use of modern intelligent technologies in the field of information security. It is shown that the embodiment of the principles of scientific character and professionalism and use of modern trends in the practical component of information security contributes to strengthening the principles of information security.

Keywords: information security, automated information system, unauthorized access, confidentiality of information, information threats, intelligent multi-agent technology.

УДК 621.391.037

В.Я. Пєвнєв, М.В. Цуранов

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЯК ЗАСІБ ПРОТИДІЇ КІБЕРАТАКАМ

Представлений аналіз сучасних підходів до визначення якості каналу передачі інформації. Показано, що найбільш ефективним способом є підвищення ефективної швидкості передачі. Найбільш значущим чинником, що впливає на ефективну швидкість, є помилки, які з'являються в каналі зв'язку. Розглянуто залежність ефективної швидкості передачі від розміру переданого пакета і коефіцієнта групування помилок.

Ключові слова: завадостійке кодування, пакетні мережі передачі даних, оптимальна довжина пакету, ефективна швидкість, коефіцієнт групування помилок.

Вступ

В останні роки все більше уваги спеціалісти в області захисту інформації приділяють питанню протидії кібератакам. Це зумовлено і глобальним застосуванням комп'ютерної техніки і ростом можливостей для несанкціонованого впливу на такі системи. Найбільш вразливими стають технології «розумного дому» та «Інтернет речей» (IoT). Одним із варіантів протидії є зменшення часу сеансу зв'язку. З розвитком технологій «розумного дому» та все більшим використанням технології «Інтернет речей» (IoT) постало питання не тільки ефективного розподілу адрес в мережі Інтернет, але й надійного зв'язку між всіма пристроями вказаних технологій.

Для вирішення цих задач найбільше підходять пакетні мережі передачі даних, а особливо бездротові. Саме тому найбільшого розвитку зазнають високошвидкісні мобільні мережі передачі даних LTE. Слід зазначити, що всі сучасні мережі базуються на стеку протоколів TCP/IP, а тому одним з найважливіших завдань будь-якої телекомунікаційної мережі із комутацією пакетів є ефективний розподіл ресурсів під час надання послуг - це визначення шляхом кореляції двох показників: ступень використання ресурсів та якість надання послуг.

З точки зору ефективності передачі інформації в пакетних мережах необхідно прагнути до найбільш повного використання задіяних ресурсів: комутаторів, маршрутизаторів і каналів зв'язку. Це необхідно для того щоб задовільнити потреби в передачі даних сучасних технологій (IoT) та для зниження собівартості використання мережі.

Слід зазначити, що в більшості сучасних пакетних мережах ступінь використання ресурсів не перевищує 0,4 (оскільки для забезпечення високого рівня якості обробки пакетів, при дії завад, необ-

хідно проводити резервування ресурсів мережі) [1].

Вибір величини коефіцієнта використання ресурсів мережі з урахуванням навантаження на мережу і структурою даних в пакеті, що передається має велике значення для подальшого функціонування обладнання. Величина зазначеного коефіцієнту впливає на наступні параметри мережі: розмір черг пакетів до ресурсу, час затримки пакетів в чергах.

Зазначені показники суттєво впливають на якість надання телекомунікаційних послуг. Тому для вдосконалення роботи телекомунікаційних мереж необхідно знайти компроміс у досягненні двох протилежних цілей: зменшення втрати пакетів та зменшення часу обробки черги пакетів.

Мета пропонованої роботи: визначення ефективної швидкості передачі інформації у пакетних мережах з урахуванням дії завад.

Виклад основного матеріалу

Для сучасних мереж передачі даних основними параметрами що впливають на навантаження є: час затримки повідомлення, ймовірність втрати пакету даних. Слід зазначити, що визначені вище показники якості обслуговування визначаються пропускною здатністю чи швидкістю передачі інформації [1].

Слід враховувати такі значимі фактори, як завади, які призводять до підвищення ймовірності помилок (одиначних та групових) в результаті чого зменшується пропускна здатність та швидкість передачі інформації в мережі.

Тому для визначення ефективної швидкості передачі інформації в пакетних мережах, за умови коректної роботи обладнання слід використовувати наступний кортеж змінних [2]:

$$R_e = f(R_0, V_k, n_p, t_r, \varepsilon, P_e, z, K_p),$$

де R_0 - теоретично обґрунтована швидкість передачі інформаційних даних;

V_k - кодова швидкість;

n_p - довжина пакету даних;

t_r - час розповсюдження сигналів в каналі зв'язку, з урахування часу необхідного для аналізу та підтвердження отримання пакету;

ε - показник групування помилок внаслідок завад;

P_e - ймовірність збою одиничного елементу даних;

z - кількість перепитувань,

K_p - бінарний показник наявності завадостійкого кодування при передачі даних.

Розглянемо випадок коли пакет довжиною n_p містить k інформаційних елементів (тобто, $V_k = k / n_p$), а ймовірність появи помилки у пакеті дорівнює P . Тоді середній час на передачу пакета з урахуванням z можливих повторювань відобразиться у такому вигляді:

$$t_l = T_p \sum_{i=1}^z P_i, \quad (1)$$

де T_p - час, який витрачається на одноразове передавання пакету даних.

P^z - ймовірність відмови каналу внаслідок дії завад, з урахуванням часу на відновлення T_v .

Приймаючи до уваги зазначені зауваження ефективну швидкість передачі інформації можна представити у вигляді:

$$R_e = V_k n_p \left[T_p \sum_{i=1}^{z-1} P_i + P^z (T_p + T_v) \right]^{-1}. \quad (2)$$

Якщо у системі передачі даних застосовуються завадостійкі коди (показник $K_p = 1$), які можуть виявляти помилки, то є справедливим наступний вираз:

$$P \approx P(\geq 1, n_p) = P_e n_p^\varepsilon, \quad (3)$$

де $P(\geq 1, n_p)$ - ймовірність спотворення в пакеті довжиною n_p одного і більше елементів.

Якщо підставити вираз (3) у (2), то отримаємо такий вираз:

$$R_e = V_k R_0 \frac{n_p (1 - P_e n_p^\varepsilon)}{(R_0 t_A + n_p) + R_0 T_v (P_e n_p^\varepsilon)^z}. \quad (4)$$

де $1 - P_e n_p^\varepsilon$ - ступінь зниження R_e внаслідок впливу завад;

Вираз (4) демонструє вплив основних факторів, що впливають на зниження R_e .

Співмножник $1 - P_e n_p^\varepsilon$ відображає вплив завад на зниження R_e .

Доданок $R_0 t_A + n_p$ у знаменнику виражає величину втрат R_e , зумовлену часом аналізу повідомлення на приймачем та очікування підтвердження передатчиком t_A .

Другий доданок $R_0 T_v (P_e n_p^\varepsilon)^z$ обумовлює втрати R_e що викликані можливою дією завад та перевищенням припустимого значення кількості перепитувань z .

Аналіз виразу (4) показує, що ефективна швидкість в залежності від довжини пакету має максимум, значення якого залежить від R_0 , V_k , t_A , z , P_e , ε та T_v .

Величина R_e на основні характеристики системи обслуговування визначає реальну пропускну здатність мережного обладнання і час передачі пакету, та вплив завад на мережу.

Параметр R_e пов'язує параметр навантаження з показниками якості обслуговування.

Досягнення максимальної ефективної швидкості передачі $R_{e\max}$ можливо при деякому значенні оптимальної довжини пакету n_{popt} , і визначається із рівняння $dR_e / dn_p = 0$, яке навіть за умов високої надійності апаратури не має аналітичного вирішення відносно n_p .

На рис. 1 [2] наведена залежність швидкості передачі інформації від довжини пакету при різних ймовірностях появи групових помилок. Як слідує з рис.1 мається оптимальне значення довжини пакету, яке залежить від ймовірності появи групових помилок та потенційної швидкості передачі.

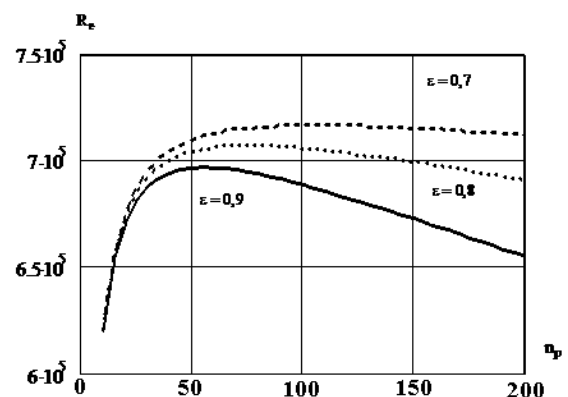
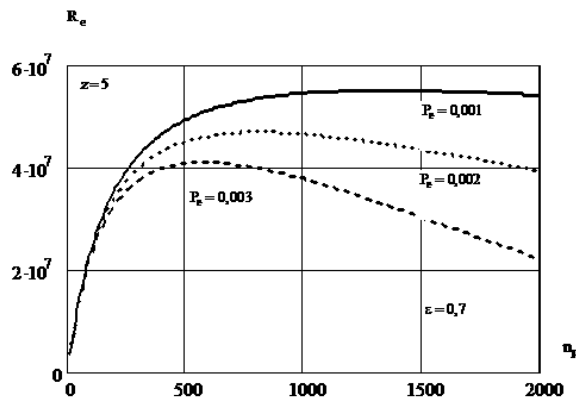


Рис. 1. Залежність R_e від n_p та ε

На рис. 2 [2] показано вплив ймовірності помилки на біт інформації на оптимальну довжину пакету інформації яка передається.

Рис. 2. Вплив R_e на довжину n_p

Наведені на рис. 1, 2 розрахунки отримані при швидкості кодування 3/4.

Групування помилок у каналі зв'язку можна характеризувати ступенем групування помилок ϵ чи коефіцієнтом групування [3]. Цей показник визначається статистично для кожного типу пакетних мереж передачі даних.

Коефіцієнт групування може змінюватися в діапазоні $0 \leq \epsilon \leq 1$.

Значення $\epsilon=0$ відповідає незалежному розподілу помилок, при збільшенні коефіцієнта групування ϵ помилки збираються у пакети, а при максимально можливому значенні $\epsilon=1$ помилку згруповані в одному пакеті.

За ступенем групування помилок виділяють канали з малим, середнім та великим групування, для яких відповідно $\epsilon \leq 0,3$; $0,3 < \epsilon \leq 0,5$; $\epsilon > 0,5$.

Більш детально вплив групових помилок на канал зв'язку було розглянуто у роботі [4].

Таким чином, наведені вище розрахунки дозволяють запропонувати алгоритм адаптивного управління каналним рівнем.

Цей алгоритм повинен передбачати аналіз характеристик бездротової середовища передачі даних, надавати бездротовому пристрою можливість динамічно змінювати різні параметри каналного рівня в залежності від середовища передачі даних. Як і алгоритм вибору найкращого вузла доступу, адаптивний алгоритм управління каналним рівнем намагається знайти оптимальні настройки для конкретного середовища.

Алгоритм повинен урахувати:

- швидкість передачі, котра визначається цільовим значенням частоти помилок бітів при заданому відношенні сигнал-шум. При різних швидкостях передачі використовуються різні методи модуляції, тому для підтримки потрібного значення BER дуже важливо правильно вибрати швидкість передачі;

- поріг фрагментації, який визначає розмір MAC-кадрів (з яких складаються пакети), які пе-

редають по радіоканалу. Якщо поріг занадто малий, накладні витрати, пов'язані з заголовками каналного і фізичного рівнів, знижують загальну пропускну спроможність, доступну клієнтському пристрою. Якщо поріг занадто великий, MAC-кадри стають вразливими для завад;

- поріг RTS (готовність до передачі), який визначає, чи потребує чи ні обмін сигналами RTS-CTS перед передаванням MAC-кадра. Обмін кадрами RTS-CTS служить для «резервування» середовища передачі перед передаванням кадрів даних, щоб зменшити ймовірність колізії в середовищі передачі.

Наприклад, в типовому офісі в одному діапазоні частотного спектра звичайно працює декілька пристроїв. При цьому до кожного вузла доступу звичайно також підключено декілька бездротових пристроїв.

В такій ситуації бездротові пристрої знижують швидкість передачі через збільшення рівня завад в порівнянні з рівнем сигналу вузла доступу.

При використанні ж адаптивного алгоритму одночасно зі зниженням швидкості передачі даних знижується і поріг RTS. Це зменшує ймовірність колізій при одночасному передаванні декількох пакетів. Змінюється і поріг фрагментації, щоб встановити найкращий розмір для нових пакетів.

При використанні зазначеного алгоритму необхідно визначити оптимальну конфігурацію для множини взаємопов'язаних параметрів, що є основною проблемою його застосування, тому що, оптимізація одного параметра (наприклад, порога RTS) впливає на оптимальні значення інших параметрів, наприклад, швидкості передачі.

Адаптивний алгоритм управління каналним рівнем намагається знайти набір параметрів, який би забезпечив оптимальну загальну пропускну здатність бездротового пристрою.

Згідно [5] визначаються наступні показники BER:

нормальний – $BER < 10^{-6}$;
знижений – $10^{-6} \leq BER < 10^{-3}$ (перед аварійний стан);
недопустимий – $BER \geq 10^{-3}$ (аварійний стан).

Слід зазначити, що міжнародні стандарти окрім BER визначають і інші показники якості каналу зв'язку [5]:

Errored Second (ES) секунда з помилками;
Severely Errored Second (SES) секунда уражена помилками.

Також застосовуються коефіцієнт помилок за секундами з помилками (ESR) та коефіцієнт помилок за секундами ураженими помилками (SESR). ESR і SESR, визначаються як відношення числа секунд з помилками и секунд, вражених помилками, відповідно до загальної кількості секунд період

виміру протягом часу готовності (робото спроможності). В сучасних мережах такі значення: $ESR=0,02$, $SESR=0,001$ [5].

Запропонований адаптивний алгоритм може сильно впливати на вказані вище параметри якості каналу зв'язку.

В ситуації, коли кількість підключених до мережі споживачів та пристроїв збільшується, пристрої повинні мати реакцію на зовнішні фактори, роблячи вирішальний вплив на продуктивність. До таких факторів відносяться:

- кількість доступних вузлів доступу,
- загрузка каналів,
- інтенсивність сигналу;
- завади від других пристроїв.

Бездротові пристрої повинні адаптуватися до середовища, яке постійно змінюється, зберігаючи оптимальну продуктивність.

Висновки

В результаті проведеного математичного аналізу виразів (1)-(4) можна дійти висновку, що:

1. Ефективна швидкість передачі інформації R_e має (в залежності від n_p) максимальне значення $R_{e\max}$, яке із зростанням R_0 зміщується у бік менших значень n_{port} . Екстремум залежності $R_e = f(n_p)$ тим гостріший, чим більше значення R_0 . Це свідчить про меншу критичність вибору n_p із зменшенням R_0 ;

2. Значення припустимої кількості перезапитів, ϵ критерієм надійності відмов, які виникають внаслідок дії завад, доцільно обирати $z = 3 - 5$. Менші значення z суттєво знижують R_e ; при більших значеннях z зростає n_{port} , але при цьому R_e зростає несуттєво;

3. Зменшення ступеня групування помилок при одночасному збільшенні кількості одиничних помилок (тобто, із зростанням значень ϵ) значення n_{port} падає і, починаючи із області $\epsilon = 0,6 - 0,7$, мало залежить від ϵ ;

4. Системи з більш високими R_0 для забезпечення можливості реалізації високих значень R_e повинні мати більш ефективні системи моніторингу відмов (тобто, домагатися, щоб $T_V \rightarrow 0$).

Список літератури

1. Stallings, W. *High-speed networks and internets: performance and quality of service* [Text] / W. Stallings – Pearson Education., 2002. – 715 p.
2. Певнев В.Я. Методика оцінки енергоефективності завадостійких кодів [текст] / В.Я. Певнев, М.В. Цуранов, М.Ф. Логвиненко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи : наук. - техн. журн. / М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т"*. - 2016. - № 5. - С. 165-170.
3. Морозов В.Г. Обобщение экспериментальных данных по вероятности и показателю группирования ошибок [текст] / В.Г. Морозов, Л.П. Пуртов, А.С. Замрий // *Техника средств связи, сер. ТПС*, 1981, вып.4(2). – С. 53-60.
4. Певнев В.Я. Экспериментальные исследования моделей групповых ошибок в каналах связи [текст] / В.Я. Певнев, М.В. Цуранов // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Збірник наукових праць. Харків:НТУ „ХПІ”. – №49. – 2011. – С.115-121.
5. Рекомендация МСЭ-Т М.2100 (04/03). Допустимые пределы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и соединений PDH многих операторов.

Надійшла до редколегії 15.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ КАК СПОСОБ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КИБЕРАТАКАМ

В.Я. Певнев, М.В. Цуранов

Представлен анализ современных подходов к определению качества канала передачи информации. Показано, что наиболее эффективным способом есть повышение эффективной скорости передачи. Наиболее значимым фактором, влияющим на эффективную скорость, являются ошибки, которые появляются в канале связи. Рассмотрено зависимость эффективной скорости передачи от размера передаваемого пакета и коэффициента группирования ошибок.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, пакетные сети передачи данных, оптимальная длина пакета, эффективная скорость, коэффициент группирования ошибок.

THE INCREASE IN RATE AS A WAY COUNTERACT CYBER ATTACKS

V. Ya. Pevnev, M.V. Tsuranov

The analysis of modern approaches to the determination of the quality of information transmission channel. It is shown that the most effective way there is an increased effective rate. The most significant factor affecting the effective rate is errors that occur in the communication channel. The dependence of the effective transmission rate and the size of the packet to be transmitted and coefficient error grouping.

Keywords: noiseless coding, packet data network, the optimal length of the package, the effective rate of errors grouping factor.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИАЛОГОВОГО ОБУЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Авторами разработаны методологические принципы с доведением до конкретных структурных модельных схем: создание модели, средствами которой можно воспроизвести динамику процесса обучения ИСС, исходя из его структуры, безотносительно к конкретному содержанию.

Ключевые слова: модель, интеллектуальная самоорганизующаяся система.

Введение

В современном технологическом мире обучение есть ключевой элемент формирования специалиста. Общеизвестен (отмечался классиками ещё в 16-м – 17-м веках) факт лавинообразного нарастания массива человеческих знаний. Приблизённо, к концу 19-го века технические знания ещё «оставались актуальными» на протяжении 1 – 2 человеческих жизней. К середине 20-го века темпы обновления стали соизмеримы с продолжительностью индивидуальной человеческой жизни, а к концу века – превысили её в 2 – 3 раза. Эта тенденция достаточно наглядна даже в бытовой сфере, на примере развития компьютерной техники: 10 – 15 лет – время фатального устаревания не только аппаратного и программного обеспечения, но и ведущих используемых физических (физико-технологических) принципов, заложенных в их основу. В связи с указанным, адекватно должны возрастать темпы и качество подготовки и переподготовки специалистов по соответствующим научно-техническим направлениям. В этом аспекте актуальны исследования по *диалоговым системам обучения* (ДСО). Представляют интерес, в частности:

- разработка методов синтеза, наполнения (адаптации), сопровождения, аттестации и проч. ДСО;
- разработка эффективных методов подачи и контроля предметного (прикладного, содержательного) материала в ДСО;
- сравнение и оценка эффективности конкретных имеющихся ДСО;
- разработка методов модифицирования ДСО в процессе их сопровождения, в направлении повышения их эффективности.

В связи с перечисленными и рядом других подобных направлений, актуально применение методов моделирования. Обучение – как процесс сооб-

щения знаний индивидуальным носителям *человеческого интеллекта* (ЧИ) – происходит во времени. Учащиеся (субъекты процесса обучения) наличествуют в этом процессе «во множественном числе». Легко видеть, что представленная ситуация в целом соответствует парадигме параллельного распределённого моделирования.

Другая область, в которой применимы сходные подходы, – обучение интеллектуальных *компьютеризированных систем* (КС). Назначение КС – быть *усилителями человеческого интеллекта* (УЧИ) [1]. Этот же ЧИ неизменно (в той или иной степени) является прототипом КС, чем обусловлено единство путей развития ЧИ и интеллекта КС [2]. Другие, *принципиально альтернативные* прототипы – попросту отсутствуют, либо не наблюдаются (не воспринимаются) человеком, как носители (обладатели) другого особого *неантропоморфного* интеллекта. Так, в частности, интеллект животных, как объект исследования, есть по существу проекция человеческих представлений об интеллекте, т.е. проекция ЧИ.

УЧИ способны быть таковыми только если они «максимально подобны» ЧИ. В противном случае их *неантропоморфный* интеллект будет отторгнут (не понят, не воспринят) ЧИ. На современном этапе этот «принцип максимального подобия» реализуется, в частности, применением дружественных и интеллектуальных интерфейсов в КС. В дальнейшем, по видимому, человечество ожидает глобальная роботизация и глобальная же интеллектуализация всего человеческого окружения. Таким образом, интеллектуальные КС перспективны именно в смысле реализации в них *интеллектуальных самообучающихся систем* (ИСС) – аналога ЧИ, а, следовательно, с использованием в той или иной форме принципов ДСО. На текущий момент данный процесс развёртывается, в частности с использованием нейронных сетей, в частности на *самоорганизующихся картах Кохонена* (СКК) [3].

Цель настоящей работы – разработка методологических принципов с доведением до конкретных структурных модельных схем: создание модели, средствами которой можно воспроизвести динамику процесса обучения ИСС, исходя из его структуры, безотносительно к конкретному содержанию.

1. Понятия и определения. Концепция модели

Система *человеческих научных знаний* (ЧНЗ) – факты, обобщения, гипотезы и др. – весьма разнообразна: охватывает различные области взаимодействия человека с окружающим миром. Отдельные области ЧНЗ зачастую не имеют чётко очерченных границ, бывают разработаны (детализированы) в разной степени, нередко содержат пробелы и противоречия. Однако целом – система ЧНЗ в достаточной степени взаимосогласованная и структурирована, чтобы быть основой для развития технологий и др. Суммарный информационный объём ЧНЗ значительно превышает возможности хранения информации в одном экземпляре человеческого мозга. Во всём человечестве, как биологическом виде, не существует ни одной особи, которая «знала бы всё». Вся совокупность ЧНЗ хранится *вне* конкретных отдельных человеческих мозгов и представляет собой распределённую информационную систему.

В процессе развития человеческой цивилизации, отдельные элементы ЧНЗ передаются от одних человеческих особей другим посредством системы обучения. Ключевым понятием процесса обучения является *учебная дисциплина* (УД) – изучение конкретного раздела научного знания. В системном плане, УД характеризуется структурой и содержанием (рис. 1).

Содержательный план УД может быть достаточно разнообразным. Конкретный набор объектов содержательного плана определяется структурой представления научного знания, традиционно принятой в соответствующей ветви науки. УД может включать в себя: определения (формулировки); правила; алгоритмы (последовательности действий); навыки применения (методологические наработки, касающиеся формирования навыков) и др.

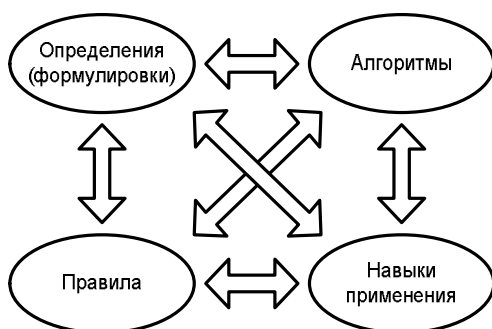


Рис. 1. Структура и содержание учебной дисциплины

Структурный план УД предполагает совокупность связей между указанными элементами содержательного плана. Характер связей и их число могут быть различными в зависимости от конкретного заполнения элементов содержательного плана. Степень взаимосвязанности элементов содержательного плана косвенно указывает на уровень проработанности научного знания, положенного в основу соответствующей УД.

На рис. 1 *содержательный план* показан в виде отдельных обобщённых областей, а *структурный план* – в виде набора двунаправленных прозрачных стрелок. Связи даны по принципу «каждый с каждым», поскольку представленный пример подсистемы содержит достаточно общие понятия.

Структурированностью УД, как конкретной ветви ЧНЗ, определяется потенциальная возможность построения модели процесса обучения. Простейший вариант – модель *диалоговой системы обучения* (ДСО) рис. 2. – воспроизводит диалог между «преподавателем» и «студентом», в ходе которого осуществляется передача знаний.

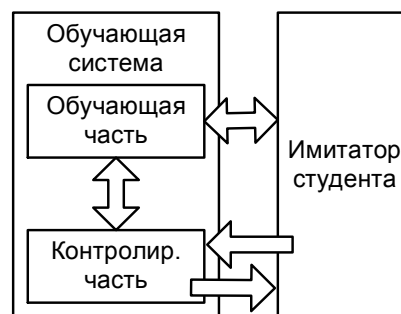


Рис. 2. Модель диалоговой системы обучения

Важная особенность модели – воспроизведение динамики запоминания результатов обучения. Обучающий диалог происходит не непрерывно, а в виде последовательности сеансов (уроков). Между сеансами имеются перерывы. За время перерыва происходит *забывание* – утрата части выученного знания. Включение перерывов в процесс обучения – не прихоть модели, а одна из важных особенностей реального процесса обучения. *Забывание* имеет место как в «живых системах» (как «человеческий фактор»), так и в случаях когда объектом обучения является КС («растренировка» при прогрессирующем накоплении знаний). Изучение (воспроизведение) динамики забывания в процессе обучения – есть одно из назначений модели.

Представляют интерес, в частности, различные механизмы забывания, связанные с различными видами функции забывания от времени. Интересны аддитивный, мультипликативный и степенной законы забывания:

- аддитивное забывание - $H(t_1) = H(t_0)(1 - (t_1 - t_0)k_a)$; $k_a < 1$ – аддитивный коэффициент забывания;

- мультипликативное забывание - $H(t_1) = H(t_0) \cdot (t_1 - t_0)k_m$; $k_m < 1$ – мультипликативный коэффициент забывания;

- степенное забывание - $H(t_1) = H(t_0)^{(t_1 - t_0)k_p}$; $k_p < 1$ – степенной коэффициент забывания.

Предположительно, они могут быть сопоставлены с разными психологическими состояниями в процессе обучения. Варьирование психологическими состояниями (в модельной интерпретации) подбором надлежащих объёмов и темпа подачи обучающего материала – чрезвычайно интересный объект модельного исследования, допускающий непосредственное практическое использование.

На рис. 2 представлена схема модели ДСО, включающая «имитатор преподавателя» (*обучающая система*) и «имитатор студента». Обучающая система содержит обучающую и контролируемую часть. Обучающая часть проводит «аналог лекционных занятий», контролирующая часть – «аналог зачёта». Т.о., имеются две взаимосвязанные относительно автономные системы и, соответственно, воспроизводятся две фазы взаимодействия *обучающей системы* со «студентом»:

- диалог получения обучающей информации. Включая, возможно, интерфейс управления *обучающей частью обучающей системы*;

- диалог контроля знаний – *контролирующая часть обучающей системы*.

Типовая последовательность обучения, согласно модели, может быть следующей:

- задаётся (изначально устанавливается) выборка вопросов;

- вопросы извлекаются из выборки «с возвращением» и многократно предъявляются «имитатору студента»;

- каждый вопрос имеет сложность и «уровень изученности». Чем выше сложность, тем ниже вероятность правильного ответа;

- при нахождении правильного ответа – сложность вопроса снижается, а «уровень изученности» растёт;

- при снижении сложности вопроса до 0, или достижении «порогового уровня изученности» – вопрос считается выученным и ставится «не контроль»;

Модель может поддерживать многочисленные влияющие факторы: сложность вопроса; уровень изученности вопроса; коэффициент забывания; коэффициент усталости; регулярность занятий; пороговое число правильных ответов; пороговый показатель успешности студента – число освоенных элементов информации; пороговый показатель успешности курса – число успешно освоивших его студентов; пороговый индивидуальный и «среднегрупповой» степень усвоения курса и др.

Представленной структурой поддерживается ситуация, в целом соответствует парадигме парал-

лельного распределённого моделирования. Обучение – есть процесс, происходящий во времени, а учащиеся (субъекты процесса обучения) присутствуют в этом процессе «во множественном числе». С учётом сказанного, модель актуальна для проведения исследований ДСО, в частности, в связи с:

- разработкой методов синтеза, наполнения (адаптации), сопровождения и аттестации (контроля качества) ДСО;

- разработкой эффективных методов подачи и контроля предметного (прикладного, содержательного) материала в ДСО;

- сравнением и оценкой эффективности конкретных имеющихся ДСО;

- разработкой методов модифицирования ДСО в процессе их сопровождения, в направлении повышения их эффективности, и др.

2. Самоорганизующиеся карты Кохонена

Особенностью СКК является автономное обучение по схеме «без учителя» [3]. С точки зрения пользователя, это выглядит как процесс, в котором сама СКК «вырабатывает понимания» структуры данных. Результатом работы СКК является разделение данных на кластеры, которые могут далее непосредственно распознаваться пользователем. Соответственно, при поступлении входного образа, который ранее не предъявлялся сети, СКК относит его к одному из имеющихся кластеров, или (если режим обучения продолжается) определяет новый кластер.

Поскольку функциональным назначением («положительным эффектом» от работы) СКК является подготовка «системы кластеров» для конечного пользователя (человека, исследователя), то схема обучения «без учителя» не противоречит принципу диалоговости. Если СКК выдаёт результат, не воспринимаемый пользователем (сложный для интерпретации пользователем), то процедура обучения может быть повторена, либо модифицирована. Т.о., либо будет найдена и устранена ошибка в процедуре работы с СКК, либо пользователь изменит своё понимание результатов кластеризации (модифицирует свою интерпретацию). По существу, это и является диалогом.

Другим достоинством СКК является возможность визуализации многомерных данных – снижение размерности набора данных. При работе СКК, совокупность кластеров представляется в пространстве с меньшей размерностью. Если размерность является «антропоморфной» (соответствует практике обыденных человеческих представлений), результаты работы СКК могут использоваться человеком-оператором непосредственно, без дополнительного обобщающего анализа. Таким образом, СКК удобны в использовании в качестве интеллектуального че-

любеко-машинного інтерфейса – усилителя определённых аспектов человеческого интеллекта.

В обоих описанных аспектах (кластеризация (группировка данных) и снижение размерности) СКК выступают как препроцессор входной информации, упрощающий работу человека-оператора и одновременно повышающий надёжность, не позволяющий оператору упустить из виду отдельные детали.

3. Параметры модели

ДПО – многопараметричен. Число параметров зависит от множества факторов. Вот некоторые из них:

- конкретная предметная область (изучаемый предмет);
- вид занятий (лекция, лабораторная работа, практические занятия и др.);
- манера изложения и уровень требований конкретного преподавателя;
- мотивированность, концентрация внимания;
- уровень подготовленности (образованности, способностей) аудитории;
- сложность изучаемого предмета;
- характер (степени структурированности) подаваемой информации.

Не все влияющие факторы могут быть одинаково легко выявлены (идентифицированы) применительно к конкретной реализации ДПО (конкретной предметной области). Соответственно, не все параметры ДПО могут быть известны (учтены). По этой причине, не все параметры могут быть адекватно реализованы в модели. Представленный далее вариант набора параметров может рассматриваться как частный ограниченный случай, соответствующий определённому начальному состоянию изученности вопроса и некоторому исходному пункту моделирования.

Предполагается наличие в модели *трёх* контуров, вложенных друг в друга (рис. 3). В каждом из контуров имеются логические (предметные) блоки V_{i1} , V_{i2} и блок принятия решений V_{i3} по выходу из вложенного контура и передаче управления внешнему контуру. Здесь i – номер контура; $i \in (1, 2, 3)$. Различие между блоками V_{i1} и V_{i2} – основная целевая (смысловая) обработка информации (V_{i1}) и вспомогательные функции (V_{i2}) по контурообразованию после принятия решения в V_{i3} . Конкретизация функций V_{i1} , V_{i2} и V_{i3} . – далее, с учётом прикладной специфики модели.

Внешний контур (V_{11} , V_{12} , V_{13}) – организация учебного процесса на уровне отдельных уроков обучения (циклов тренировки). Процесс обучения не может продолжиться непрерывно. Объективно имеется явление устания мозга. Требуется промежуток для релаксации (перерывы, междурочные паузы), смысл которых – на биоинформационном уровне – рекреация отдельных нейронов мозга.

Объём и продолжительность временных периодов, задаваемых внешним контуром, устанавливается эмпирически и зависит от конкретных областей обучения (тренинга).

Соответствующие усреднённые значения (число уроков, продолжительность уроков и перерывов между ними и др.) хорошо известны из *человеческой* практики организации учебных процессов. Модель может (должна) их только воспроизводить, с переносом из реального времени в модельное.

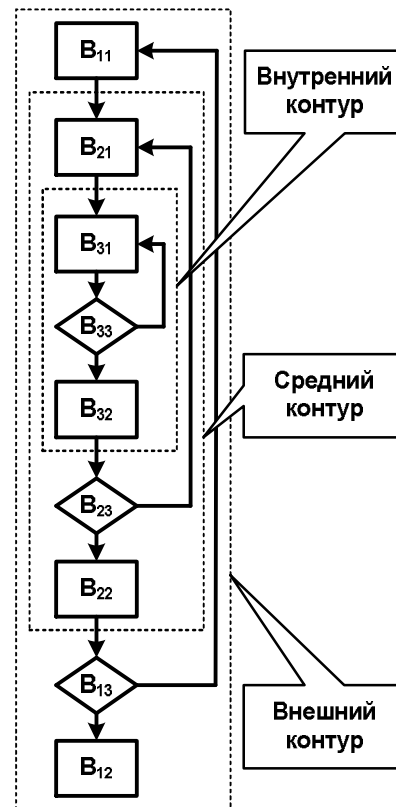


Рис. 3. Крупномасштабная структура модели

Как известно, реальное время в *человеческой* практике организации учебных процессов задаётся на основе физического времени, отмеряется по часам. При этом, в зависимости от сложности предмета, качества преподавания и уровня подготовленности аудитории, в «физическое время урока» вкладывается больший или меньший объём сообщаемых (закрепляемых) знаний. В модели – ситуация иная. Работу модели удобно организовывать исходя из фиксированности (предопределённости) сообщаемого информационного потока. Тогда неравномерность информационного потока, имитирующая «человеческий фактор», сама становится предметом моделирования. Более конкретно, в ключевых моментах, это рассмотрено далее.

Средний контур (V_{21} , V_{22} , V_{33}) – действие, происходящее внутри одного урока (сеанса обучения) – изображает последовательное предложение вопросов и получение ответов. Процесс предполагает

многократное повторение при предъявлении вопросов, что обусловлено спецификой фиксации информации в человеческом мозгу. В связи с этим, в модели задаётся фиксированное небольшое количество вопросов и фиксированное число предъявлений вопросов. Число предъявлений – приблизительно на порядок превышает число вопросов. Пример: ~20-30 вопросов и ~100-200 предъявлений вопросов – полученных ответов.

Внутренний контур (V_{31} , V_{32} , V_{33}) – организация (модельная имитация) процесса предъявления вопроса – получения и верификации ответа. Моделирование осуществляется с использованием *генераторов случайных чисел* (ГСЧ). Моделирование включает также учёт прежних значений, корректировку текущего состояния и изменение показателей обученности. Допустима, в частности, реализация исключения (изъятия) из цикла уже выученных вопросов.

В связи с реализацией представленной трёхконтурной структуры (рис. 3), для программной реализации модели вводится следующая система обозначений.

M – Массив вопросов, предъявленных обучаемому. Сами вопросы (в содержательном текстовом выражении) в модели не фигурируют и в массиве отсутствуют. Номера элементов массива – есть номера вопросов. Моделируются не конкретные содержательные ответы на конкретные вопросы, а изменение уровня изученности материала (массива вопросов) в процессе последовательного многократно повторяемого их предъявления. Изначальное (на момент запуска модели) заполнение массива M обозначает начальный уровень изученности материала. В частности, при полной новизне материала (отсутствии каких-либо изначальных знаний) – массив M изначально заполнен нулями.

В зависимости от того, какие проявления (особенности) процесса обучения исследуются конкретной версией (модификацией) модели, массив M может (должен) быть многомерным. Так, дополнительный слой массива M может изображать сложность вопроса – может быть заполнен значениями, изображающими *коэффициент сложности* (КС). При моделировании ситуации с вопросами одинаковой сложности, – значения КС одинаковые и слой КС – не нужен.

Если сложность вопросов различная, – ситуация может быть охарактеризована законом распределения значений КС. Тогда слой КС заполняется с использованием ГСЧ, воспроизводящего требуемый закон распределения. КС далее может учитываться при моделировании правильности ответов: вероятность правильного ответа понижается с ростом сложности вопроса.

N_M – число предъявлений вопросов в сеансе. Как отмечалось, им определяется продолжительность сеанса в виртуальном времени, т.е. продолжи-

тельность *сеанса обучения* (СО), которая, таким образом, является константой.

Допустим так же следующий вариант. Много-слойный массив, причём число измерений массива M превышает (включает в себя) N_M , т.е. массив хранит реакцию на предъявляемые вопросы, позволяет регистрировать всю динамику обучения.

N_S – есть число СО. Оно же – продолжительность курса. После ввода начальных данных (описаны выше), начинается процесс обучения. В нём – самый внешний цикл – по $i \in \{1, N_S\}$, внутри него – цикл по $j \in \{1, N_M\}$.

Внутренний цикл завершается внесением в протокол среза процесса обучения, а так же (либо в кратком варианте – только его) – текущего *коэффициента изученности* (КИ).

Коэффициент межсеансового забывания (КМЗ) – пропорционален межсеансовому интервалу. Может быть постоянным (хорошо составленное расписание, регулярные занятия, дисциплинированность), или переменным (плохо составленное расписание, или недисциплинированность).

Другой ГСЧ – предназначен для выбора случайного вопроса для предъявления.

4. Алгоритм. Пошаговое описание

Представим пошаговое описание алгоритма модели ДПО, крупномасштабно изображённого на рис. 3. Перед началом выполнения программы (перед запуском модели) в тексте программы прописываются все необходимые параметры. Как отмечалось выше (п. 2.х) языком реализации модели выбран Python? Сильной стороной которого является интерпретационность. Т.е., программа (а стало быть и модель) легко модифицируется, с заменой отдельных значений и целых блоков данных. В отлаженном варианте – это не приводит к осложнениям. Результаты оказываются сопоставимыми и воспроизводимыми. Дополнительное удобство состоит в простоте смены планов экспериментов, с учётом текущего изменения результатов.

Шаг 1. Пуск. Программа (модель) запускается на выполнение.

Шаг 2. Ввод начальных данные. Начальными (исходными) данными являются массив вопросов M о структурой слоёв согласно конкретной реализуемой версии модели; задаваемые наперёд число сеансов обучения и число повторов в каждом сеансе, а также коэффициенты (сложности, изученности, межсеансового забывания и др.), задаваемые в данной конкретной версии модели.

Шаг 3. Открытие протокола. Результаты моделирования должны протоколироваться (выводиться с виде протокола). Для этого при открытии протокола генерируется или указывается наперёд заданное его имя файла, режим протоколирования

(«write» – запись с –возможным уничтожением предыдущего содержимого файла, или «append» – дописывание в продолжение («в хвост») файла). Запись в протоколе снабжается датой и временем.

Шаг 4. Начало очередного сеанса курса обучения. Увеличение (приращение) на единицу значения счётчика числа сеансов курса обучения.

Шаг 5. Корректировка состояния обученности (содержимого массива М) с учётом фактора забывания (коэффициента межсеансового забывания). Предполагается, что между сеансами (отдельными уроками) имеются перерывы. За время перерыва – происходит восстановление свойств нейронов мозга, но вместе с тем частично забывается ранее усвоенная информация.

Шаг 6. Начало очередного цикла сеанса обучения (очередного урока). Увеличение (приращение) на единицу значения счётчика числа циклов (уроков) сеанса обучения.

Шаг 7. Тело сеанса обучения. Как описан выше (п. 3.2), сеанс обучения (урок) представляет собой последовательные многократные (с повторениями) предъявления единиц учебного материала. Настоящий Шаг представляет собой обработку одного предъявления. Единица материала предъявляется учащемуся – учащийся реализует контрольную операцию – система верифицирует правильность ответа и изменяет (повышает или понижает) значение переменной (элемента массива М), обозначающей уровень освоенности предъявленной единицы материала.

Шаг 8. Проверка завершения сеанса обучения. Условие завершения – реализация всех N_M предъявлений вопросов (единиц учебного материала) текущего сеанса обучения.

Шаг 9. Вывод в протокол результатов сеанса обучения: текущего состояния «уровня изученности» по каждой из единиц материала, а также усреднённых обобщающих значений для интегральной характеристики процесса обучения.

Шаг 10. Проверка завершения курса обучения. Условие завершения – реализация всех N_S сеансов обучения.

Шаг 11. Закрытие протокола. В текст протокола вносится запись о завершении протокола. Файл протокола закрывается.

Шаг 12. Стоп. Программа останавливается. Имеется протокол полученных результатов, которые могут обрабатываться в любом подходящем математическом пакете.

5. Обсуждение

Модель и полученные результаты – в целом вполне соответствуют интуитивным представлениям о прохождении процесса обучения. Полученные результаты демонстрируют рост изученности по мере проведения сеансов (уроков) обучения. При этом малое число предъявлений вопросов обеспечивает слабый рост изученности, большое число предъявлений – существенный прирост. Модель можно было бы видоизменить, так чтобы при достижении некоторого порогового значения вопрос снимался с рассмотрения. Более тонкий вариант – вопрос должен не сниматься с рассмотрения, а понижаться по частоте предъявления. В перспективе использования модели эти варианты обретут реализацию. Подобные изменения, сами по себе, являются параметрами модели и их влияние – есть отдельный предмет исследования.

Список литературы

1. Михаль, О.Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники / О.Ф. Михаль // Бионика интеллекта : науч.-техн. журн. – Х.: ХНУРЭ, 2014. – Вып. 1 (82). – С. 55–62
2. Михаль О.Ф. Эволюционирование мультиагентной системы как аналог формирования индивидуального человеческого интеллекта / О.Ф. Михаль // Бионика интеллекта. – Х.: ХНУРЭ, 2016. – Вып. 2 (87). – С. 42–47.
3. Дяченко В.А. Интеллектуальный аспект обучения модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена / В.А. Дяченко, О.Ф. Михаль // Бионика интеллекта: науч.-техн. журн. – Х.: ХНУРЭ, 2015. – Вып. 2 (85). – С. 35–40.

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДІАЛОГОВЕ НАВЧАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ, ЩО САМООРГАНІЗУЮТЬСЯ

В.О. Дяченко, О.Ф. Міхаль

Авторами розроблено методологічні принципи з доведенням до конкретних структурних модельних схем: створення моделі, засобами якої можна відтворити динаміку процесу навчання ІСС, виходячи з його структури, безвідносно до конкретного змісту.

Ключові слова: модель, інтелектуальна система, що самоорганізується.

MODELING OF THE PROCESS OF DIALOGICAL TRAINING OF INTELLIGENT SELF-ORGANIZING SYSTEMS

V.O.. Dyachenko, O.F. Michal

The authors developed methodological principles with bringing to concrete structural model schemes: the creation of a model by means of which it is possible to reproduce the dynamics of the ASC training process, proceeding from its structure, without regard to the concrete content.

Keywords: model, intellectual self-organizing system.

УДК 004.75

А.С. Епифанов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ МОБИЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются вопросы оценивания функциональной целостности в групповом управлении децентрализованных самоорганизующихся систем типа «рой». Рассматриваются свойства самоорганизующихся систем, особенности их функционирования. Предлагаются показатели для оценивания функциональной целостности децентрализованных самоорганизующихся систем.

Ключевые слова: роевой интеллект; децентрализованная мобильная система; функциональная целостность.

Введение

Постановка проблемы и анализ исследований и публикаций. В последнее время широкий интерес вызывают исследования самоорганизующихся децентрализованных мобильных систем. Для решения задачи коллективного управления множеством однотипных объектов применяют роевой интеллект (Swarm Intelligence) [1]. Большинство алгоритмов роевого интеллекта являются алгоритмами оптимизации для решения одной узкоспециализированной задачи.

Важной составляющей управляющих алгоритмов являются алгоритмы обеспечения коммуникации между объектами, составляющими рой [2, 3]. Объекты роя способны перемещаться в пространстве, поэтому единственным способом передачи остается беспроводная связь. Поскольку среда передачи сигнала едина для всех объектов роя, неизбежны коллизии передачи.

Это накладывает ограничения на допустимое расстояние передачи сигнала. Кроме того, часть объектов, составляющих рой, выполняет функции по обеспечению коммуникации между остальными объектами.

Это предполагает, что рой должен обладать некоторой избыточностью.

В таких условиях коммуникация в рое представляет собой пространственно расположенный граф. В этом графе объекты связаны только с несколькими ближайшими, образуя подграф или некую группу. В этом случае можно считать, что эта группа может быть представлена в виде целостной функциональной единицы – кластера. И весь рой будет представлять собой множество кластеров.

Согласно [4] сохранение основных функций системы во время ее функционирования называют *функциональной целостностью (ФЦ)*.

Более строго ФЦ предлагается определять как набор характеристик, которые показывают готов-

ность системы к выполнению задачи, несмотря на влияние внешних условий.

Множественная кластерная структура роя такова, что каждый кластер является динамически конфигурируемым. Это связано со свойствами мобильности каждого объекта в рое. Обычно узлы, включаемые в кластер, являются стационарными. Роли, присваиваемые узлам, являются мобильными. В зависимости от внешних условий, роль «узла кластера» может перемещаться между существующими в сети узлами.

Поэтому концепция кластерной структуры может быть применена к структуре роя. Кроме того, понятие «функциональная целостность» может быть использовано и для динамически конфигурируемого кластера.

Функциональность отдельного кластера зависит от связности каждого узла с кластером и степени функциональности этого узла. В

системе рой происходит эффект постоянного переконфигурирования кластеров поэтому задача оценки функциональной целостности распределенной мобильной системы является актуальной задачей.

Анализ публикаций [4 – 8], показал, что вычисление показателя функциональной целостности не формализовано и неоднозначно. Целесообразно этот показатель представлять некоторой интегральной оценкой охватывающей простые в вычислении показатели.

Целью статьи является оценивание функциональной целостности и формирование характеристик для определения интегрального показателя функциональной целостности.

Концепция оценивания функциональной целостности

Пусть $G = (N, V)$ – граф, описывающий текущее пространственное расположение узлов и соответствующих им каналов передачи данных, где N –

множество всех узлов графа, V – множество связей, представляющие каналы передачи данных между ближайшими объектами.

Определим $n=|N|$ – количество узлов графа.

Управляющие программы узла предполагают, что каждый узел может выполнять функции в рамках одной или нескольких заранее определённых ролей.

На децентрализованную мобильную систему влияют внешние условия. Эти условия могут приводить как к потере коммуникации между узлами, так и к выходу некоторых узлов и строя.

Если при этом система остаётся способной на выполнение поставленной задачи, то можно говорить о высокой функциональной целостности системы.

Для формализации оценки функциональной целостности предлагается использовать набор

$$(L, Z, S),$$

где L – связность,

Z – масштабируемость,

S – устойчивость.

Устойчивость S – способность системы выполнять задачу независимо от изменения количества задействованных объектов (узлов).

Связность L – способность системы оставаться связанной при нарушениях существующих внутри системы каналов передачи данных.

Масштабируемость Z – сохранение приемлемого быстродействия при изменении количества задействованных объектов (узлов).

Иными словами, функциональную целостность мобильной децентрализованной системы можно определить как некоторую функцию

$$I(L, Z, R).$$

Оценка функциональной целостности

Рассмотрим более подробно особенности вычисления каждой из предложенных оценок.

1. Как указывалось, устойчивость – это способность роя выполнять задачи при изъятии некоторого количества узлов.

Пусть для задачи, поставленной перед роем, определено минимальное количество узлов n_T с ролью, отвечающей непосредственно за выполнение задачи, а также минимальное количество узлов n_C с ролью обеспечения коммуникации между узлами.

Следовательно, устойчивость предлагается оценивать коэффициентом:

$$S(G) = \frac{n}{(n_T + n_C)}$$

где $n=|N|$ – количество узлов графа.

Случаи, при которых $S(G) < 1$, приводят к полной неработоспособности роя и нами не рассматриваются.

Область значений параметра S лежит в интервале $[1; +\infty]$. Чем больше значение параметра $S(G)$, тем рой устойчивее к изъятию из него узлов.

Устойчивость зависит от условий, в которых работает рой.

Так как объекты роя перемещаются в пространстве, возможно нарушение существующих путей передачи данных или потеря связности между частями роя.

2. Связность L зависит от расположения узлов в пространстве и их количества. Кроме того, все узлы в мобильной децентрализованной системе могут перемещаться. Из-за этого возможна ситуация, при которой некоторые связи будут разорваны, например, из-за увеличения расстояния между соответствующими узлами.

Помимо этого, некоторые узлы могут выйти из строя, что приведёт к разрыву соответствующих узлам связей. При этом в графе могут образовываться участки, не имеющие связей с остальной частью графа.

Предположим, что в процессе работы роя сложилась следующая ситуация. Из-за перемещения узлов были потеряны несколько установившихся связей $V_S \in V$, а также вышли из строя несколько узлов $D \in N$.

При этом вместе с узлами из множества D были разорваны соответствующие им связи

$$V_D \in V, V_D = \{(n_d, n_i), n_d \in D, n_i \in N\}.$$

Предположим, что потеря связей V_S и узлов D приводит к разделению графа G на несколько непересекающихся графов G_i , таких что $G_i \in G$ для любого i , и $G_i \cap G_j = \emptyset$ для любых i, j .

В таком случае существует минимальный набор (D, V_S) , при котором

$$\forall G_i \rightarrow S(G_i) < 1,$$

а связностью L будем называть количество узлов и связей такого набора:

$$L = |D| + |V_S|.$$

Область значения параметра связности находится в интервале $[1; |N| + |V|]$, причем, чем больше значение параметра, тем больше узлов и связей необходимо удалить из роя, чтобы нарушить связность.

3. В свою очередь, масштабируемость предлагается оценивать как увеличение среднего вре-

мени построения маршрута между узлами при увеличении количества задействованных в рое объектов. То есть, относительным ростом функции зависимости времени построения маршрута $T_1(n)$ от количества узлов в сети для текущего количества узлов:

$$Z = \frac{T_1(n+1) - T_1(n)}{T_1(n)}.$$

Предполагается, что функция зависимости количества времени, необходимого для построения маршрута между узлами $T_1(n)$ неубывающая. Тогда область значения параметра Z находится в интервале $[0; +\infty)$. Чем меньше значение параметра Z , тем меньше потери времени при добавлении новых узлов.

Как указывалось, функциональная целостность – это комплексная оценка. Она представляет собой некоторую функцию

$$I(L, Z, R).$$

Примем структуру этой функции в виде простой суммы. В этом случае необходимо, чтобы все показатели были однородными и монотонно возрастающими на интервале $[0,1]$ при получении лучших значений.

Все значения показателей должны быть нормализованы.

Нормализованное значение для $S(G)$ предлагается вычислять по формуле:

$$S^* = 1 - \frac{1}{S}.$$

Для нормализации параметра L предлагается использовать формулу:

$$L^* = \frac{L}{|N| + |V|}.$$

Для нормализации параметра Z предлагается использовать формулу:

$$Z^* = \frac{1}{(1+Z)}.$$

Выберем пороги использования характеристик L^* , Z^* , S^* . Примем, что при значении указанных характеристик на интервале $[0; 0,2]$ система не функциональна.

Предлагается использовать формулу для получения значения параметра функциональной целостности I :

$$\begin{cases} I = \frac{L^* + Z^* + S^*}{3}; \\ L^* > 0,2; Z^* > 0,2; S^* > 0,2. \end{cases} \quad (1)$$

Функциональная целостность, определенная по формуле (1), отражает общее состояние децентрализованной мобильной системы.

Также изменение вычисленного значения I показывает динамику изменения состояния роя и его пригодность для выполнения поставленной перед ним задачи.

Значение параметра I лежит в интервале $[0;1]$. При значениях параметра $I \in [0,7;1]$ функциональная целостность системы высока, и работу системы очень сложно нарушить.

При значениях параметра $I \in (0,2;0,4]$ функциональная целостность низкая, разрушение функциональности системы может произойти в любой момент.

При промежуточных значениях параметра I , т. е. $I \in (0,4;0,7)$, система в целом стабильна, функциональна, но при некоторых условиях работоспособность системы может быть нарушена.

Примеры использования

Пример 1.

Рассмотрим рой, состоящий из $n=100$ объектов. Коммуникация в рое обеспечивается $|V|=200$ установленными связями. При этом непосредственно поставленную перед роем задачу выполняет $n_T = 40$ объектов.

Минимальное количество узлов, необходимых для обеспечения коммуникации составляет $n_C = 10$ узлов.

Пространственное расположение элементов роя предполагает, что для нарушения функциональности необходимо изъять 40 узлов и соответствующих ему связей, а также 60 связей.

Кроме того, опытным путём было вычислено значение параметра $Z = 0,03$.

Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение показателей функциональной целостности для примера 1

L	Z	S	L*	Z*	S*	I
100	0,03	2	0,33	0,97	0,5	0,6

Значение параметра I показывает, что функциональная целостность на достаточно высоком уровне для обеспечения выполнения задач роя.

Пример 2.

Рассмотрим рой, состоящий из $n=100$ объектов. Коммуникация в рое обеспечивается $|V|=200$ установленными связями. При этом непосред-

венно поставленну перед роєм задачу виконує $n_T=60$ об'єктів.

Мінімальне кількість вузів, необхідних для забезпечення комунікації становить $n_C = 20$ вузів.

Просторове розташування елементів рою передбачає, що для порушення функціональності необхідно ізняти 10 вузів і відповідних їм зв'язей, а так же 30 зв'язей.

Крім того, опитним путєм було вирахувано значення параметра $Z=0,2$. Таким образом, $L = 40$.

Результати сведены в табл. 2.

Таблиця 2

Значення показателів функціональної цілісності для прикладу 2

L	Z	S	L*	Z*	S*	I
40	0,2	1,25	0,13	0,83	0,2	0,39

В даному випадку видно, що рій здатний виконувати поставлену перед ним задачу, але функціональна цілісність рою не гарантує успішного виконання завдань.

Висновки

Розглянуті особливості функціонування та передачі даних в децентралізованих мобільних системах. Представлено оцінки функціональної цілісності системи.

Представлені характеристики децентралізованої мобільної системи можуть бути використані при розробці алгоритмів комунікації та управління, а також при експлуатації як показателі функціональної цілісності мобільних систем.

Представлені характеристики можуть бути використані для оцінки функціональної цілісності обчислювального кластера.

Наукова новизна полягає в розробці показателів для оцінювання функціональної цілісності мобільних децентралізованих систем.

Практична цінність полягає в економії часу при розробці децентралізованих мобільних систем та збільшенні надійності таких систем за рахунок попередньої оцінки умов їх роботи.

Список літератури

1. Simon D. *Evolutionary optimization algorithms*. – John Wiley & Sons, 2013.
2. Engelbrecht A. P. *Fundamentals of computational swarm intelligence*. – John Wiley & Sons, 2006.
3. Ducatelle F., Di Caro G. A., Gambardella L. M. *Principles and applications of swarm intelligence for adaptive routing in telecommunications networks* // *Swarm Intelligence*. – 2010. – Т. 4. – №. 3. – С. 173-198.
4. Cetnarowicz K., Drezewski R. *Maintaining functional integrity in multi-agent systems for resource allocation* // *Computing and Informatics*. – 2010. – Т. 29. – №. 6. – С. 947-973.
5. Paul A. K. *Experimental exploration of functional integrity, functional reliability and reliability of modern power electronics equipments* // *International Journal of Power Electronics*. – 2011. – Т. 3. – №. 4. – С. 374-398.
6. Sharma R. K., Ghose D. *Collision avoidance between uav clusters using swarm intelligence techniques* // *International Journal of Systems Science*. – 2009. – Т. 40. – №. 5. – С. 521-538.
7. Jamont J. P., Occello M., Lagrèze A. *A decentralized self-organized approach for wireless sensor networks* // *Design Methods and Applications for Distributed Embedded Systems*. – Springer US, 2004. – С. 123-132.
8. Piętak K. et al. *Functional integrity of multi-agent computational system supported by component-based implementation* // *International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. – С. 82-91.

Надійшла до редакції 16.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Філатов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ПОКАЗНИКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЦІЛІСНОСТІ МОБІЛЬНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ

А.С. Єпіфанов

У статті розглядаються питання оцінювання функціональної цілісності в груповому управлінні децентралізованих систем, що самоорганізуються. Розглядаються властивості систем, що самоорганізуються, особливості їх функціонування. Пропонуються показники для оцінювання функціональної цілісності децентралізованих систем, що самоорганізуються.

Ключові слова: ройовий інтелект; децентралізована мобільна система; функціональна цілісність.

INDICATORS FOR ASSESSING THE FUNCTIONAL INTEGRITY OF MOBILE DISTRIBUTED SYSTEMS

A.S. Yepifanov

The article deals with the issues of evaluating functional integrity in the group management of decentralized self-organizing systems of the "swarm" type. The properties of self-organizing systems, features of their functioning are considered. Estimates of the functional integrity of decentralized self-organizing systems are proposed.

Keywords: Swarm Intelligence, Decentralized Mobile System, Functional Integrity.

УДК 004.9

А.А. Замула, В.Л. Морозов, Д.А. Семченко

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ПРОИЗВОДНЫХ СИСТЕМ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Сформулированы требования к выбору систем сложных сигналов - переносчиков данных для применения в информационно-коммуникационных системах (ИКС), для которых предъявляются повышенные требования по обеспечению помехозащищенности, помехоустойчивости, скрытности функционирования и информационной безопасности информации. Представлены концептуальные основы синтеза нового класса сложных сигналов - криптографических сигналов (КС). Обосновывается целесообразность применения КС в защищенных ТКС, в том числе, при формировании производных систем сигналов, с целью улучшения показателей помехозащищенности, помехоустойчивости, скрытности функционирования и информационной безопасности данных в защищенных ИКС.

Ключевые слова: информационная безопасность, скрытность, помехозащищенность, система сигналов, производные системы сигналов, широкополосные системы.

Введение

В условиях интенсивного противодействия сторон, интересы и конкуренция которых могут проявляться в различных сферах, в том числе, как показали последние события, в сфере ведения информационных и гибридных войн, особое значение приобретает наличие и применение защищенных информационно-коммуникационных систем (ИКС). При этом под защищенностью систем необходимо понимать, в широком смысле, прежде всего, их способность обеспечивать необходимые показатели по помехозащищенности, имитостойкости, информационной, энергетической и структурной скрытности функционирования системы.

К ИКС предъявляются все более жесткие требования по обеспечению эффективности их функционирования в условиях сложных внешних воздействий: естественных и преднамеренных помех, помех от других радиотехнических систем, функционирующих на близких частотах или в общем участке диапазона частот. Большое значение при решении задач обеспечения требуемой помехозащищенности и информационной безопасности имеют исследования, связанные с использованием новых видов сигналов, получивших название сложных, широкополосных, многомерных и шумоподобных.

Задача построения защищенной ИКС – создать систему, устойчивую к воздействию множества различных, актуальных для данной системы, воздействий (помех). Объективной проблемой является то, что в процессе информационного обмена соответствие: бит сообщение-сигнал является фиксированным, а в качестве переносчиков информации, используются сигналы, построенные с применением линейных правил. Вышеуказанное позволяет нарушителю, на основе определения параметров используемых в системе сигналов, осуществить постановку

помех с минимальными для себя энергетическими затратами. Существуют угрозы информационной безопасности, а именно, возможность: несанкционированного доступа к информационным активам, нарушение целостности, конфиденциальности, доступности данных со стороны злоумышленников.

Основными путями решения указанной проблемы является повышение помехозащищенности и информационной безопасности ИКС на основе совершенствования методологических основ построения ИКС путем создания новых моделей, методов и технологий управления телекоммуникационными сетями, информационной безопасностью, услугами и качеством обслуживания, разработки методов информационного обмена, методов синтеза новых классов нелинейных дискретных сложных сигналов с необходимыми ансамблевыми, корреляционными и структурными свойствами.

В статье предлагается метод синтеза дискретных последовательностей с заданными взаимно-корреляционными, структурными и ансамблевыми свойствами для применения в телекоммуникационных системах, в которых предъявляются повышенные требования к обеспечению скрытности, помехозащищенности, помехоустойчивости, информационной безопасности функционирования системы.

Различение или кодовое разделение абонентов многопользовательской ИКС основано на том, что каждому абоненту выделяется алфавит сигналов (кодовых последовательностей), с помощью которого абонент передает информацию. Наиболее часто используемым критерием различимости является минимум евклидова расстояния [1]. Критерий состоит в том, что два сигнала являются легко различимыми тогда и только тогда, когда среднеквадратичное расстояние между ними велико. Необходимость совместного рассмотрения сигналов $Y(t)$ и $X(t)$ возникает при использовании манипуляции, например, в тех случаях,

когда сигнал $X(t)$ модулируется двоичной последовательностью или когда им самим модулируется некоторая несущая. Таким образом, в качестве меры различимости сигналов используют величину:

$$\begin{aligned} T^{-1} \int_0^T [Y(t) \pm X(t)]^2 dt = \\ = -T^{-1} \left\{ \int_0^T [Y^2(t) + X^2(t)] dt \pm 2 \int_0^T X(t)Y(t) dt \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где T - период сигналов $X(t)$ и $Y(t)$.

Первый интеграл в правой части (1) есть сумма энергий сигналов $X(t)$ и $Y(t)$, $0 \leq t \leq T$. Следовательно, при фиксированных энергиях сигнал $X(t)$ сильно отличается как от сигнала $X(t)$, так и от сигнала $-X(t)$ только в том случае, когда мал параметр

$$R = \int_0^T X(t)Y(t) dt. \quad (2)$$

Параметр R при решении задач поиска, обнаружения, оценки параметров, (в этом случае используется согласованная фильтрация или корреляционный прием), представляет собой отклик согласованного с сигналом $Y(t)$ фильтра на входной сигнал $X(t)$. Например, если в многопользовательской ИКС с кодовым разделением сигналы $X(t)$ и $Y(t)$ выделены двум различным станциям (абонентам), то параметр R является мерой уровня взаимных помех, создаваемых каждым из сигналов приему другого.

В ИКС в качестве физического переносчика информации нашли применение различные системы (множества линейных рекуррентных последовательностей, Касами, Голда, Камалетдинова и др.), обладающие сравнительно небольшими значениями боковых лепестков авто и взаимно - корреляционных функций [2]. Однако указанные сигналы обладают низкой структурной скрытностью, ограниченными ансамблевыми свойствами, а также существуют только для ограниченного числа значений периода сигнала. В случае усечения (увеличения) периода таких сигналов их корреляционные свойства ухудшаются. Поэтому актуальной является задача разработки теории и практики синтеза и анализа систем дискретных сигналов с требуемыми корреляционными, структурными, ансамблевыми свойствами.

Исследования показали [3], что требуемые (в тех или иных условиях) показатели эффективности функционирования системы могут быть реализованы, в том числе, посредством применения широкополосных радиосистем, для которых расширение спектра осуществляется с применением нелинейных дискретных последовательностей.

В некоторых ИКС число одновременно используемых сигналов может превышать несколько сотен. Известны большие множества периодических последовательностей (множества Касами, Голда), обладающие корреляционными функциями со сравнительно небольшими значениями боковых лепестков взаимно-корреляционных функций. Для генерации

таких последовательностей применяются сдвиговые регистры с линейной обратной связью. Правила построения указанных классов последовательностей указывают на низкую структурную скрытность формируемых последовательностей, а, следовательно, и сигналов, обеспечивающих передачу информации в телекоммуникационных системах. Здесь под структурной скрытностью понимается сложность определения злоумышленником правила (закона) построения дискретной последовательности, используемой для манипуляции информационных битов.

Необходимость применения защищенных радиоканалов вынуждает исследователей по-новому посмотреть как на режимы функционирования защищенных радиоканалов, так и на аспекты формирования и применения сложных сигналов. Поэтому, на наш взгляд, сегодня необходимы новые подходы и новые взгляды на процессы применения и функции сложных сигналов в целях построения защищенных ИКС. Основопологающим здесь, на наш взгляд, является новое понимание методов обеспечения информационной скрытности и имитостойкости, то есть функций, которые в традиционных системах реализуются с применением систем и средств криптографической защиты информации. Продуктивным шагом, с точки зрения нового направления использования систем сложных сигналов, является синтез так называемых систем криптографических сигналов. Синтез таких сигналов основывается на применении ключевых данных.

Для защищенных радиоканалов рассматриваемые системы сигналов определяются приложениями, в которых они применяются. В частности, это могут быть как отдельные сигналы или пары сигналов, так и большие множества дискретных сигналов с необходимыми, но объективно ограниченными значениями «плотной упаковки», взаимно-корреляционными и ансамблевыми свойствами.

Под криптографическим дискретным сигналом предлагается понимать последовательность символов произвольного алфавита и произвольного периода, единственным правилом построения которого есть случайность или псевдослучайность. Такой дискретный сигнал обладает необходимыми, но ограниченными значениями «плотной упаковки», корреляционными и ансамблевыми свойствами. При таком подходе структурная скрытность сигнала обеспечивается посредством случайности или псевдо случайности.

В работе [4] сформулирована и решена задача синтеза нелинейных криптографических дискретных сигналов (КС), обеспечивающих требуемые значения помехозащищенности, информационной и структурной скрытности функционирования телекоммуникационной системы. В общем случае задача синтеза оптимальных бинарных криптографических сигналов заданного периода, формулируется следующим образом. Необходимо найти множество дискретных двоичных последовательностей – криптографических последовательностей (КП) с заданным числом символов, обладающих допустимым

уровнем максимальных боковых лепестков периодической функции автокорреляции (ПФАК). Далее, решение задачи синтеза сводится к предварительному отбору некоторого ограниченного множества дискретных последовательностей, которое кажется многообещающим в плане обеспечения необходимых взаимно - корреляционных свойств.

Необходимо отметить, что в процессе исследования была высказана гипотеза о возможности применения криптографического алгоритма в целях синтеза системы сигналов. Для этих целей был обоснован выбор Национального криптографического стандарта блочного симметричного преобразования ДСТУ 7624:2014, определяющий шифр „Калина” [5].

В табл. 1 приведены результаты синтеза КС для некоторых значений периода последовательностей. Анализ данных табл. 1 показывает, что для периода последовательности, например, 63 число пар КС, соответствующие установленному предельному значению 17 составляет более $12 \cdot 10^6$ (12214869). Для последовательностей с трехуровневой функцией взаимной корреляции (ФВК), число пар, соответ-

ствующие данной «границы» составляет лишь 975 пар. Таким образом, ансамбль нелинейных КС более чем в 10^5 раз превышает ансамбль указанных линейных сигналов. Превышение объема криптографических сигналов над ансамблем, составленного из М-последовательностей составляет более 10^7 раз.

Синтез производных систем сигналов на основе криптографических дискретных последовательностей символов

Среди систем фазоманипулированных сигналов многие образованы на базе систем Уолша [2]. Известно, что авто - и взаимно корреляционные функции последовательностей Уолша имеют большие боковые пики. Для улучшения корреляционных свойств сигналов формируют производные системы сигналов (ПСС) посредством перемножения последовательностей Уолша (исходных последовательностей) на сигнал, который обладает определенными свойствами (производящий сигнал), в частности, имеют малые боковые пики автокорреляционной функции.

Таблица 1

Ансамблевые свойства криптографических сигналов

Период КС	ПУ	ПФАК	АФАК	ПФВК		АФВК
		$N_{\text{ПУ}}$	$N_{\text{ПУ}}$	N	$N_{\text{ПУ}}$	$N_{\text{ПУ}}$
31	9	7 743	3 622	29 977 024	1 465 137	14 537 423
63	17	10 868	7 166	59 056 712	12 214 869	54 822 445
127	23	3482	1302	6 062 162	47 053	1 619 780
511	59	3819	1951	7 292 380	122 835	3 466 713
1 023	100	8 513	6 194	36 235 584	5 293 538	35 083 491

В таблице обозначено: N – общее число пар сигналов; $N_{\text{ПУ}}$ – число КС, удовлетворяющих границе «плотной упаковки»; ПУ – граничные значения («Плотная упаковка»).

Авторами была сформулирована гипотеза о возможности использования в качестве производящих – нелинейных криптографических последовательностей (КП), теоретические основы синтеза которых приведены в [4]. Метод синтеза производных систем сигналов на основе использования КС включает следующие этапы.

1. Осуществляется отбор М криптографических последовательностей (КП) фиксированного периода N, обладающих минимальными значениями максимальных боковых лепестков (R_{max}) ПФАК.

2. Формируется набор кодов Уолша (матрица N·N), в которой каждая строка соответствует отдельному коду.

3. Выполняют перемножения последовательностей (каждой из строк кода Уолша - исходных последовательностей) на криптографический сигнал, образуя N ПСС.

4. Осуществляют исследование корреляционных свойств образованных ПСС (в частности, ПФАК, АФАК). Для исследования функций взаимной корреляции, образуют матрицу размерностью N·N. Число таких матриц: L·N.

В табл. 2 приведены КП (M = 14), отобранные из множества последовательностей, по критерию минимума значений максимальных боковых лепест-

ков ПФАК ($R_{\text{max}} < 10$), на основе матрицы Адамара (N = 64). Здесь же приведены расчеты статистических характеристик корреляционных функций (ПФАК) отобранных КС (рис. 1).

В табл. 3 приведены результаты исследований статистических характеристик корреляционных функций различных классов сигналов, в том числе, ПСС при использовании в качестве производящих - криптографических сигналов. Расчеты проводились для значений периодов последовательностей (от 30 до 2052).

Анализ данных табл. 3 показывает, что статистические характеристики ПСС близки к соответствующим характеристикам, указанным в таблице, линейных и нелинейных классов сигналов. При этом значения максимальных боковых пиков функций взаимной корреляции ПСС меньше, чем у широко используемых в современных телекоммуникационных системах линейных М последовательностей.

Результаты исследования ПФВК ПСС на основе КП показывают, что число пар сигналов для периода последовательностей 64 символов, для которых значения R_{max} не превышают 17 (это, так называемая, граница «плотной упаковки», достигаемая в классе лучших, с точки зрения ВКФ, последовательностей с трехуровневой ПФВК), составляет 604 пары (около 30% из общего числа возможных сочетаний пар сиг-

налов). Число пар сигналов, для которых значения R_{\max} не превышают 20 – 1577, что составляет 77% от общего числа пар сигналов. При границе $R_{\max} < 25$ – максимальное количество отобранных пар сигналов состав-

ляет 1984 (96,8 %). Такие значения R_{\max} имеют место для последовательностей, получивших наибольшее распространение в современных телекоммуникационных системах – М-последовательности.

Таблица 2

КС, имеющие минимальные значения боковых лепестков ПФАК

1	1110001111101000011111011100110011000101000110101101001001100101
2	1000010010000100101110011010000000110010010000010111001110011101
3	0000100100001001011100110100000001100100100000101110011100111011
4	0000100100001001011100110100000001100100100000101110011100111011
5	0001001000010010111001101000000011001001000001011100111001110110
6	0100100001001011100110100000001100100100000101110011100111011000
7	0000100101110011010000000110010010000010111001110011101100010110
8	0001001011100110100000001100100100000101110011100111011000101101
9	0010010111001101000000011001001000001011100111001110110001011010
10	0100101110011010000000110010010000010111001110011101100010110100
11	000000010100010011000001111100001101101110001101000010111100101
12	0000000101000100110000011111000011011011100011010000101111001010
13	00000001010001001100000111110000110110111000110100001011110010100
14	0100011110001100000100110010000000011011111011100101011000010110

1)64 0 -8 -4 -4 0 -8 0 0 4 0 4 4 -8 -4 -4 -4 0 4 4 -4 -4 0 8 4 4 -4 -8 -4 0 -8 -4 -8 -4 4 4 8 0 -4 -4 4 0 -4 -8 -4 -8 4 4 0 4 0 0 -8 0 -4 -4 -8 0	PFAKmin: -4	PFAKmax: -8	MO: -0.09375	MO : 0.46875	DISP: 0.5763694553724894	DISP : 0.3384787011890674
2)64 4 -8 8 4 8 0 -8 8 0 0 -4 -4 0 4 0 -8 4 -4 -8 8 4 4 -8 4 4 4 8 4 4 -8 4 4 8 -4 4 -8 0 4 0 4 -4 -4 0 0 8 -8 0 8 4 8 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.15625	MO : 0.59375	DISP: 0.6774495430488349	DISP : 0.3469815618916576
3)64 4 -8 8 4 8 0 -8 8 0 0 -4 -4 0 4 0 -8 4 -4 -8 8 4 4 -8 4 4 4 8 4 4 -8 4 4 8 -4 4 -8 0 4 0 4 -4 -4 0 0 8 -8 0 8 4 8 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.15625	MO : 0.59375	DISP: 0.6774495430488349	DISP : 0.3469815618916576
4)64 4 -8 8 4 8 0 -8 8 0 0 -4 -4 0 4 0 -8 4 -4 -8 8 4 4 -8 4 4 4 8 4 4 -8 4 4 8 -4 4 -8 0 4 0 4 -4 -4 0 0 8 -8 0 8 4 8 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.15625	MO : 0.59375	DISP: 0.6774495430488349	DISP : 0.3469815618916576
5)64 4 -8 8 4 8 0 -8 8 0 0 -4 -4 0 4 0 -8 4 -4 -8 8 4 4 -8 4 4 4 8 4 4 -8 4 4 8 -4 4 -8 0 4 0 4 -4 -4 0 0 8 -8 0 8 4 8 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.15625	MO : 0.59375	DISP: 0.6774495430488349	DISP : 0.3469815618916576
6)64 4 -8 8 4 8 0 -8 8 0 0 -4 -4 0 4 0 -8 4 -4 -8 8 4 4 -8 4 4 4 8 4 4 -8 4 4 8 -4 4 -8 0 4 0 4 -4 -4 0 0 8 -8 0 8 4 8 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.15625	MO : 0.59375	DISP: 0.6774495430488349	DISP : 0.3469815618916576
7)64 4 -8 4 4 0 0 4 -4 4 0 -8 4 0 4 0 4 0 -8 0 0 8 0 0 -8 -4 -4 8 4 4 4 -4 4 4 8 4 4 -4 -8 0 0 8 0 0 -8 0 4 0 4 0 4 -8 0 4 -4 4 0 4 4 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.0703125	MO : 0.4296875	DISP: 0.5553298776598447	DISP : 0.350712702793093
8)64 0 -8 4 4 0 -4 -4 -8 8 4 -8 4 0 8 0 0 4 -8 0 -4 4 0 0 -8 -4 0 0 4 4 0 0 0 0 4 4 0 0 -4 -8 0 0 4 -4 -8 0 0 4 -4 -8 4 0 8 0 4 -4 4 8 -8 4 -4 0 4 4 -8 0	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.0	MO : 0.40625	DISP: 0.5634361794742422	DISP : 0.3836429502240921
9)64 0 -8 4 4 0 -4 -4 -8 8 4 -8 4 0 8 0 0 4 -8 0 -4 4 0 0 -8 -4 0 0 4 4 0 0 0 0 4 4 0 0 -4 -8 0 0 4 -4 -8 4 0 8 0 4 -8 4 8 -8 4 -4 0 4 4 -8 0	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.0	MO : 0.40625	DISP: 0.5634361794742422	DISP : 0.3836429502240921
10)64 0 -8 4 4 0 -4 -4 -8 8 4 -8 4 0 8 0 0 4 -8 0 -4 4 0 0 -8 -4 0 0 4 4 0 0 0 0 4 4 0 0 -4 -8 0 0 4 -4 -8 4 0 8 0 4 -4 4 8 -8 4 -4 0 4 4 -8 4	PFAKmin: 4	PFAKmax: -8	MO: 0.0	MO : 0.40625	DISP: 0.5634361794742422	DISP : 0.3836429502240921
11)64 8 4 0 -8 -8 -4 4 8 8 4 0 0 -4 -8 4 8 8 0 8 4 0 0 -4 -4 -8 -4 0 0 4 -4 4 -4 4 4 0 0 -4 -8 -4 -4 0 0 4 8 0 8 8 4 -8 -4 0 0 4 8 8 4 -4 -8 -8 0 4 8	PFAKmin: 4	PFAKmax: 8	MO: 0.0703125	MO : 0.5234375	DISP: 0.6476900319675074	DISP : 0.3767205345969094
12)64 8 4 0 -8 -8 -4 4 8 8 4 0 0 -4 -8 4 8 8 0 8 4 0 0 -4 -4 -8 -4 0 0 4 -4 4 -4 4 4 0 0 -4 -8 -4 -4 0 0 4 8 0 8 8 4 -8 -4 0 0 4 8 8 4 -4 -8 -8 0 4 8	PFAKmin: 4	PFAKmax: 8	MO: 0.0703125	MO : 0.5234375	DISP: 0.6476900319675074	DISP : 0.3767205345969094
13)64 8 4 0 -8 -8 -4 4 8 8 4 0 0 -4 -8 4 8 8 0 8 4 0 0 -4 -4 -8 -4 0 0 4 -4 4 -4 4 4 0 0 -4 -8 -4 -4 0 0 4 8 0 8 8 4 -8 -4 0 0 4 8 8 4 -4 -8 -8 0 4 8	PFAKmin: 4	PFAKmax: 8	MO: 0.0703125	MO : 0.5234375	DISP: 0.6476900319675074	DISP : 0.3767205345969094
14)64 8 -4 4 4 0 0 4 -4 -4 4 -8 0 -4 0 8 0 8 -4 -8 -4 -8 8 0 0 4 0 -4 4 4 8 4 4 -4 0 4 0 0 -8 8 -8 -4 -8 -4 8 0 8 0 -4 0 -8 -4 4 -4 -4 4 0 4 4 -4 4	PFAKmin: -4	PFAKmax: 8	MO: 0.0	MO : 0.5	DISP: 0.6236095697723273	DISP : 0.3618734420321171

Рис. 1. Расчет статистических характеристик корреляционных функций (ПФАК) КС

Таблица 3

Статистические характеристики корреляционных функций различных классов сигналов

Тип сигналов	Характеристики	R_{\max}/\sqrt{N}	$m_{ R }/\sqrt{N}$	$D_{ R }^{1/2}/\sqrt{N}$	$D_{(R)}^{1/2}/\sqrt{N}$
Нелинейные характеристические последовательности	АФАК	1,6 - 2,4	0,3 - 3,4	1,4 - 7,7	1,9 - 10,8
	ПФАК	0,02 - 0,5	0,02 - 0,3	0,03 - 0,3	0,06 - 0,5
	АФВК	1,3 - 3,3	0,5 - 0,7	2,4 - 18,2	3,6 - 27
	ПФВК	0,8 - 3,3	0,7 - 0,8	5,8 - 45,3	5,9 - 45,3
ПСС	АФАК	0,8 - 2,4	0,4 - 0,5	0,9 - 1	1 - 1,1
	ПФАК	0,7 - 2,5	0,2 - 0,7	0,2 - 0,5	0,3 - 0,9
	АФВК	1 - 2,5	0,2 - 0,7	0,2 - 0,5	0,3 - 0,7
	ПФВК	1,4 - 2,8	0,2 - 0,7	0,4 - 0,5	0,6 - 0,9
Нелинейные криптографические последовательности	АФАК	0,7 - 2,5	0,4 - 0,5	0,9 - 1	0,9 - 1,2
	ПФАК	0,9 - 2,5	0,3 - 0,7	0,2 - 0,5	0,3 - 0,9
	АФВК	1,2 - 2,7	0,4 - 0,7	0,3 - 0,5	0,5 - 0,7
	ПФВК	1,5 - 2,8	0,5 - 0,7	0,3 - 0,5	0,8 - 0,9
Линейные М – последовательности	АФАК	0,7 - 1,25	0,32	0,26	0,41
	ПФАК	$1/\sqrt{N}$	\sqrt{N}	0	0
	АФВК	1,4 - 5,0	0,54	0,48	0,73
	ПФВК	1,9 - 6,0	0,8	0,62	1

Выводы

Рассмотренный класс сложных производных сигналов, полученный с применением предложенного метода на основе использования нелинейных криптографических сигналов, обладает, с одной стороны, структурными свойствами, аналогичными свойствам случайных (псевдослучайных) последовательностей, с другой, - требуемыми ансамблевыми и корреляционными свойствами.

Характеристики их авто- и взаимной функций корреляции таких сигналов не уступают характеристикам лучших с точки зрения корреляционных свойств дискретных последовательностей (М-последовательностей, множеств Голда и Касами, ансамблей Камалетдинова и др.). Кроме того, системы криптографических сигналов (КС) существуют и обладают указанными выше свойствами, для широкого спектра значений периода последовательностей. Также необходимо отметить особое свойство таких систем сигналов – возможность их восстановления в пространстве и времени с применением ключей и ряда других параметров, которые используются в процессе синтеза сигналов. Приведенные характеристики систем сигналов, синтезируемых с применением разработанного метода, позволяют говорить об улучшении качественных показателей функционирования телекоммуникационной системы: помехозащищенности и информационной безопасности.

Улучшение указанных показателей достигается, в частности, за счет возможности формирования, с применением полученного метода, больших ансамблей дискретных последовательностей практически любого периода с необходимыми (для тех или иных приложений системы) значениями боковых лепестков функций авто – взаимной и стыковой функции корреляции в периодическом и аperiodическом режимах работы, а так же статистическими характеристиками корреляционных функций (КФ),

не уступающих аналогичным характеристикам лучших, с точки зрения КФ, линейных классов сигналов. Указанное дает возможность повысить помехоустойчивость приема сигналов.

Разработаны математическое и программное обеспечение, реализующие предложенный метод и вычислительные алгоритмы синтеза систем сложных нелинейных дискретных криптографических сигналов, а также производных систем сигналов, для которых, в качестве производящих, используют КС. Программное и математическое обеспечение, полученное в ходе исследований, реализующее методы синтеза и исследования свойств систем нелинейных сигналов, в том числе ПСС, готово к возможному использованию в составе опытных образцов и элементов современных цифровых коммуникационных средств.

Список литературы

1. D.V. Sarvate, M.V. Pursley *Crosscorrelation Properties of Pseudorandom and Related Sequences* / D.V. Sarvate, M.V. Pursley // *IEEE Trans. Commun. Vol. Com 68-5*, 1980.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. -1985.-384 с.
3. Горбенко И.Д. Синтез систем сложных сигналов с заданными свойствами корреляционных функций для приложений многопользовательских систем с кодовым разделением абонентов / Замула А.А., Е.А. Семенко // *Системи обробки інформації. – X ХУПС*, 2014. – Вип. 9 (125). – С. 25 - 30.
4. Gorbenko I.D., Zamula A.A., Semenko Ye.A. *Ensemble and correlation properties of cryptographic signals for telecommunication system and network applications* // *Telecom. and Radio Engineering*. – 2016. – Vol. 75, Is. 2. – P. 169-178.
5. ДСТУ 7624:2014. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення. – Введ. 01-07-2015. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015.

Надійшла до редколегії 16.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ ПОХІДНИХ СИСТЕМ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДОДАТКІВ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

О.А. Замула, В.Л. Морозов, Д.О. Семченко

Сформульовано вимоги до вибору систем складних сигналів - переносників даних для застосування в інформаційно-комунікаційних системах (ІКС), для яких пред'являються підвищені вимоги щодо забезпечення завадозахищеності, завадостійкості, скритності функціонування та інформаційної безпеки інформації. Представлені концептуальні засади синтезу нового класу складних сигналів криптографічних сигналів (КС). Обґрунтовується доцільність застосування КС в захищених ІКС, в тому числі, при формуванні похідних систем сигналів, з метою поліпшення показників завадозахищеності, завадостійкості, скритності функціонування та інформаційної безпеки інформації в захищених ІКС.

Ключові слова: інформаційна безпека, скритність, завадозахищеність, система сигналів, похідні системи сигналів, широкосмугові системи.

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SYNTHESIS OF DERIVED SIGNAL SYSTEMS FOR APPLICATIONS OF MODERN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

A.A. Zamula, V.L. Morozov, D.O. Semchenko

Requirements are formulated for the choice of complex signal systems - data carriers for use in information and communication systems (ICS), for which high demands are made for ensuring noise immunity, noise immunity, stealth operation and information security of information. Conceptual bases of synthesis of a new class of complex signals of cryptographic signals (CS) are presented. The expediency of using CS in protected TSS, including when generating derivative signal systems, for the purpose of improving the noise immunity, noise immunity, stealth performance and data security in protected IKS is grounded.

Keywords: Information security, stealth, noise immunity, signal system, signal system derivatives, broadband systems.

УДК 004.7

Г.А. Кучук¹, А.А. Коваленко², Н.В. Лукова-Чуйко³¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ СЕРЕДНЬОЇ ЗАТРИМКИ ПАКЕТІВ У ВІРТУАЛЬНИХ З'ЄДНАННЯХ МЕРЕЖІ ПІДТРИМКИ ХМАРНОГО СЕРВІСУ

У статті розглянуті питання, що виникають при проектуванні технічного обладнання підтримки хмарного сервісу. Серед найбільш важливих характеристик базової мережі обрано середню затримку пакетів між виділеною парою, що використовує свій, тимчасово створений, віртуальний канал. Запропонована відповідна математична модель, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі хмарного сервісу. Для її спрощення введено ряд припущень. У рамках розробленої моделі сформульована задача мінімізації середнього часу затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів. Для її розв'язання використано правило множників Лагранжа.

Ключові слова: хмарний сервіс, затримка пакетів, віртуальний канал.

Вступ

Сьогодні при розробці різноманітних сервісів все більша перевага віддається хмарним технологіям за рахунок таких переваг [1 – 3]:

- дешева техніка;
- зростання продуктивності комп'ютерів;
- зменшення витрат і підвищення ефективності ІТ-інфраструктури;
- мінімізація проблем з обслуговуванням;
- мінімізація витрат на покупку SoftWare;
- автоматичне оновлення програм;
- збільшення обчислювальних потужностей;
- необмежений обсяг збережених даних;
- сумісність з будь-якою операційною системою;
- сумісність форматів документів;
- спрощення спільної роботи для груп людей;
- постійний доступ до документів;
- доступність;
- захист від втрати даних.

Але при впровадженні хмарних технологій при розробці сервісів є і ряд мінуси.

- необхідно мати постійний доступ в Інтернет;
- необхідно мати швидкий і якісний Інтернет;
- хмарні програми можуть працювати повільно;
- є програми, котрі недоступні для віддаленого доступу;
- безпека даних може бути під загрозою;
- втрата даних в хмарі – це втрата назавжди.

Деякі із вищеперерахованих недоліків зменшують вплив на сервіс при підвищенні продуктивності HardWare [3]. Оскільки основою будь-якого сучасного хмари є технологія віртуалізації, то продуктивність хмари залежить від обчислювальних ресурсів [2]. Основними ресурсами, які необхідні при створенні

хмари, і які ми віртуалізуємо, це такі: ресурси центрального процесора, ресурси оперативної пам'яті, ресурси сховищ для розміщення даних і комунікаційні ресурси. Підхід до виділення ресурсів в традиційним стилі не дозволяє точно і адекватно дати оцінку ресурсів і правильно їх виділити під сервіси.

Для більшості мультимедійних послуг критичним є такі параметри передачі пакетів через мережу, як затримка пакета впродовж усього маршруту від вузла-адресата до вузла-одержувача, дисперсія цієї затримки (джитер), імовірність втрати пакетів. Сучасні комунікаційні технології “орієнтована на з'єднання”, тобто процеси, що запущено на двох робочих станціях мережі, забезпечуються даними через спеціально встановлений віртуальний канал, який створено спеціально для них та який ніким більше не використовується. В результаті проходить скорочення мережного трафіка у порівнянні з традиційними технологіями, в котрих всі робочі станції ділять загальне середовище передачі даних, створюючи надлишковий мережний трафік.

Зараз швидкими темпами розвиваються нові інформаційні та телекомунікаційні технології, які направлені на підвищення пропускної спроможності існуючих мереж передачі даних. Але, незважаючи на це, одним із можливих варіантів підвищення продуктивності комунікаційних ресурсів є зменшення середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу. Це завдання розглядалося у багатьох наукових працях [4 – 11], але без врахування особливостей хмарних сервісів.

Мета статті – розробка математичної моделі, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі хмарного сервісу, у рамках якої розробити метод мінімізації середнього часу затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів.

Результати досліджень

При проектуванні технічного обладнання підтримки хмарного сервісу необхідно провести аналіз найбільш важливих характеристик базової мережі, таких як продуктивність мережі, середня затримка пакетів і середня затримка між виділеною парою, що використовує свій, тимчасово створений, віртуальний канал. Для побудови відповідної моделі, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі (БОМ), що включає N каналів передачі даних між M вузлами мережі введемо ряд припущень. Припущення про незалежність часів обслуговування в різних каналах полягає в тому, що довжина пакету, який поступає в БОМ, розподілена зі щільністю ймовірності

$$f(x) = \ell e^{-\ell x}, \quad (1)$$

де $1/\ell$ – середня довжина пакету.

Якщо k – номер віртуального каналу (ВК) між вузлом – джерелом i_0 та вузлом – адресою j_0 ($k = \overline{1, K}$), то процес доставки до нього пакетів (назвемо їх пакетами класу k) будемо вважати пуасонівським з параметром $\lambda_k^{(B)}$, причому реальний маршрут пакету даного класу визначимо булевою матрицею

$$\|a_{ij}^{(k)}\|_{N \times N}, \quad (2)$$

де $a_{ij}^{(k)} = 1$ тоді і тільки тоді, коли маршрут (i, j) входить до віртуального каналу k .

Крім того, для спрощення моделі припустимо, що об'єми буферних накопичувачів необмежені, а підтвердження про успішну доставку пакету передається миттєво.

Процес обслуговування пакетів в середовищі БОМ визначимо матрицею

$$\|P_{k_1 k_2}\|_{K \times K}, \quad (3)$$

де $P_{k_1 k_2}$ – ймовірність того, що пакет k_1 – го класу після обслуговування ВК з номером k_1 поступить до ВК з номером k_2 .

З врахуванням зроблених вище припущень модель БОМ визначає розімкнену неоднорідну мережу масового обслуговування (МО), до якої надходить k класів пуасонівських потоків пакетів з інтенсивностями λ_k .

Під затримкою пакета даних у системі передачі і доведення даних розуміють відрізок часу, необхідний для пересування пакета даних від джерела до пункту призначення через систему передачі і доведення даних [13]. Надалі ми зосередимо увагу на затримці пакета в системі передачі і доведення даних для окремого шляху. Ця затримка є сумою затримок на кожному каналі зв'язку (КЗ) шляху, що

проходить пакет даних. Затримка пакета даних на каналі зв'язку у свою чергу складається з чотирьох компонентів:

– затримка пакета даних на обробку (комутацію) – це затримка між моментом, коли пакет даних був правильно прийнятий на початковому вузлі каналу зв'язку, і моментом, коли пакет був поставлений у чергу на передачу по каналу;

– затримка пакета даних у черзі – затримка між моментом, коли пакет був поставлений у чергу на передачу по каналу зв'язку, і моментом, коли він починає передаватися; протягом цього часу пакет чекає, поки будуть передані інші пакети даних з черги;

– затримка передачі пакета даних – затримка між моментами, коли передадуться перший і останній біти пакета даних;

– затримка поширення пакета даних – проміжок часу від моменту, коли останній біт пакета даних був переданий на початковому вузлі каналу, до моменту, коли він буде прийнятий у кінцевому вузлі цього каналу; ця затримка пропорційна фізичній відстані між початковим і кінцевим вузлами каналу зв'язку і звичайно досить мала.

Функція розподілу тривалості обслуговування пакетів k -го класу в n -му вузлі буде експоненціальною з параметром

$$\mu_{nk} = b_n \ell_k, \quad (4)$$

де b_n – пропускна спроможність n -го каналу, а $1/\ell_k$ – середня довжина пакету k -го класу.

Інтенсивність потоків класу k , що надходять до n -го каналу, задовольняє рівнянню балансу потоків неоднорідної мережі МО [14]

$$\lambda_{nk} = \lambda_k^{(B)} \cdot \delta_{nk} + \sum_{k'=1}^K \sum_{j=1}^N \lambda_{jk} \cdot a_{nj}^{(k)} \cdot P_{kk'}, \quad (5)$$

де δ_{nk} – булева функція, яка означає надходження пакета класу k до n -го каналу, а λ_{jk} – інтенсивність надходження пакетів класу k до каналу з умовним номером j .

Сумарний потік пакетів, що проходять через канал n , дорівнює

$$\lambda_n = \sum_{k=1}^K \lambda_{nk}, \quad (6)$$

а ззовні до всієї БОМ:

$$\lambda^{(B)} = \sum_{k=1}^K \lambda_k^{(B)}. \quad (7)$$

Завантаженість n -го каналу пакетами класу k (ψ_{nk}) та загальна завантаженість каналу n (ψ_n) розраховуються таким чином [12]:

$$\psi_{nk} = \frac{\lambda_{nk}}{I_k \cdot b_k}; \quad (8)$$

$$\Psi_n = \sum_{k=1}^K \Psi_{nk} . \quad (9)$$

Тоді середня кількість пакетів, котрі знаходяться в n -му каналі (R_n), та середня кількість пакетів, котрі знаходяться в БОМ (R), в стаціонарному режимі можуть бути розраховані за такими формулами [14]:

$$R_n = \frac{\Psi_n}{1 - \Psi_n} ; \quad (10)$$

$$R = \sum_{n=1}^N \frac{\Psi_n}{1 - \Psi_n} . \quad (11)$$

Згідно до теореми Літгла [13]

$$R = \lambda^{(B)} \cdot t^{(3)} , \quad (12)$$

де $t^{(3)}$ – затримка пакета в БОМ.

Тому середню затримку пакету можна розрахувати таким чином:

$$t^{(3)} = \frac{1}{\lambda^{(B)}} \cdot \sum_{n=1}^N \frac{\lambda_n}{\ell \cdot b_n - \lambda_n} . \quad (13)$$

Аналогічно розраховується середнє число пакетів класу k в каналі n :

$$R_{nk} = \frac{\Psi_{nk}}{1 - \Psi_n} , \quad (14)$$

а застосування теореми Літгла дозволяє визначити середню затримку пакетів цього класу в розглядаємому каналі:

$$t_{nk}^{(3)} = \frac{1}{\ell \cdot b_n (1 - \Psi_n)} , \quad (15)$$

тобто $t_{nk}^{(3)}$ залежить тільки від загальної завантаженості каналу та лишається постійною величиною для пакетів різних класів, що проходять через цей канал.

Тоді, якщо β_k – віртуальний маршрут пакета, то затримка пакету на маршруті дорівнює

$$t_k^{(3)} = \sum_{n \in \beta_k} \frac{1}{\ell \cdot b_n \cdot (1 - \Psi_n)} . \quad (16)$$

Легко перевірити, що вирази (13) та (16) несуперечні, тобто

$$\sum_{k=1}^N t_k^{(3)} = t^{(3)} . \quad (17)$$

Аналітичні вирази (13) та (16), що оцінюють часові затримки пакетів в БОМ, дозволяють вирішити задачу оптимізації пропускної спроможності мережі підтримки хмарного сервісу з використанням динамічної віртуальної маршрутизації, при якій вибір маршруту відбувається адаптивно у відповідності до поточних змін потоку та стану мережі.

При заданій топологічній структурі мережі і відомих потоках $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ припустимо, що вартість каналу – лінійна функція від його пропускної спроможності, тобто

$$C_n = \alpha_n b_n . \quad (18)$$

Тоді задача вибору пропускних спроможностей зводиться до знаходження вектора

$$\vec{b} = (b_1, b_2, \dots, b_N) , \quad (19)$$

мінімізуючого середній час затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів:

$$T_3 \rightarrow \min , \quad (20)$$

$$\text{якщо} \quad \sum_{n=1}^N \alpha_n b_n = D_\Sigma . \quad (21)$$

Для вирішення задачі (20) – (21) складемо функцію Лагранжа

$$F = t_3 + \beta \sum_{n=1}^N \alpha_n b_n - D_\Sigma . \quad (22)$$

Диференціюючи F_n по b_n одержимо систему, що складається із N рівнянь:

$$\frac{\partial F}{\partial b_n} = \frac{\lambda_n}{\lambda^{(B)}} \cdot \frac{\ell}{(\ell b_n - \lambda_n)^2} - \beta \alpha_n = 0, \quad n = \overline{1, N} , \quad (23)$$

з яких знаходимо b_n такому вигляді:

$$b_n = \frac{\lambda_n}{\ell} + \sqrt{\frac{\lambda_n}{\alpha_n}} / \sqrt{\beta \cdot \ell \cdot \alpha^{(B)}} , \quad n = \overline{1, N} . \quad (24)$$

Для знаходження параметра β в (20) підставляємо значення b_n з (21). Після перетворень отримаємо $\vec{b}^{(opt)}$ з такими координатами:

$$b_n^{(opt)} = \frac{\lambda_n}{\ell} + \frac{\left(D_\Sigma - \sum_{i=1}^N (\alpha_i \lambda_i / \ell) \right) \cdot \sqrt{\lambda_n \alpha_n}}{\sqrt{\ell \lambda^{(B)}} \cdot \sum_{j=1}^M \sqrt{\lambda_j \alpha_j}} , \quad n = \overline{1, N} . \quad (25)$$

Мінімальну середню затримку пакетів в мережі розрахуємо підстановкою (24) до (16):

$$b_n^{(opt)} = \frac{1}{\lambda^{(B)} \cdot \ell \cdot \left(D_\Sigma - \sum_{i=1}^N \lambda_i \alpha_i / \ell \right)} \cdot \left(\sum_{n=1}^M \sqrt{\lambda_n \alpha_n} \right)^2 . \quad (26)$$

Одержані вирази (24) і (26) дозволяють провести аналіз відповідних характеристик БОМ підтримки хмарного сервісу і можуть бути використані як при синтезі топологічної структури мережі, так і при проектуванні її поширень.

Висновки

Авторами розглянуті питання, що виникають при проектуванні технічного обладнання підтримки хмарного сервісу. Серед найбільш важливих характеристик базової мережі обрано середню затримку пакетів між виділеною парою, що використовує свій, тимчасово створений, віртуальний канал. Запропонована відповідна математична модель, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі хмарного сервісу. Для її спрощення введено ряд припущень.

У рамках розробленої моделі сформульована задача мінімізації середнього часу затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів. Для її розв'язання використано правило множників Лагранжа. Вирази, що отримані в результаті розв'язання оптимізаційної задачі, дозволяють провести аналіз відповідних характеристик базової мережі підтримки хмарного сервісу і можуть бути використані як при синтезі топологічної структури мережі, так і при проектуванні її поширень.

Напрямок подальших досліджень – поступове зняття накладених при розробці математичної моделі обмежень.

Список літератури

1. Литвинова С.Г. Методика проектування та використання хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу / Світлана Григорівна Литвинова. – К.: Компринт, 2015. – 280 с. ISBN 978-617-7202-98-0.
2. Риз Дж. Облачные вычисления / Риз Дж. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 288 с.
3. Abrams N.M. (2012). Combining Cloud Networks and Course Management / N.M. Abrams // Systems for Enhanced Analysis in Teaching Laboratories. In Journal of Chemical Education, Vol. 89, No. 4, P. 482-486.
4. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
5. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 4-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2012. – 943 с.
6. Кучук Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.
7. Рубан І.В. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І.В. Рубан, Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 7. – С. 106-112.
8. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святой вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
9. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.
10. Стеклов В.К. Телекомунікаційні мережі / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2001. 392 с.
11. Кучук Г. А. Методика оцінки якості функціонування системи передачі і доведення даних до користувачів / Г. А. Кучук, А. А. Пашинев // Системи обробки інформації. – 2006. – № 1. – С. 94-98.
12. Whitt W. The Queuing Network Analyzes / W. Whitt // Bell System Tech. J. – 1983. – Vol. 62, № 9. – P. 2779 – 2815.
13. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
14. Кучук Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення / Г.А. Кучук. – Х.: ХУ ПС, 2013. – 254 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ СРЕДНЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ В ВИРТУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ СЕТИ ПОДДЕРЖКИ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА

Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко

В статье рассмотрены вопросы, возникающие при проектировании технического оборудования поддержки облачного сервиса. Среди наиболее важных характеристик базовой сети выбрана средняя задержка пакетов между выделенной парой, которая использует свой, временно созданный, виртуальный канал. Предложенная соответствующая математическая модель, описывающая функционирование базовой вычислительной сети облачного сервиса. Для ее упрощения введен ряд предположений. В рамках разработанной модели сформулирована задача минимизации среднего времени задержки при ограничениях на суммарную стоимость каналов. Для ее решения использовано правило множителей Лагранжа.

Ключевые слова: облачный сервис, задержка пакетов, виртуальный канал.

METHOD TO MINIMIZE THE AVERAGE DELAY OF PACKETS INTO VIRTUAL CONNECTION SUPPORT NETWORK CLOUD SERVICES

H.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, N.V. Lukova-Chuyko

The questions that arise in the design of technical equipment to support cloud service. Among the most important characteristics of selected core network average packet delay between the selected pair using a temporarily created virtual channel. Nominated by the mathematical model that describes the basic operation of the computer network cloud service. For simplification introduced a number of assumptions. As part of the model The problem of minimizing the average delay time with restrictions on the total cost channels. For its solution generally used Lagrange multipliers.

Keywords: cloud services, packet delay, virtual channel.

УДК 378.1+004.8

О.А. Макогон, О.О. Дичко, С.А. Новік

Національний технічний університет "Харківський політехнічний університет", Харків

ДИДАКТИЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ З БОКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інформатизація сучасного суспільства викликає дидактичну трансформацію системи «викладач-студент». Стаття присвячена шляхам вироблення єдиного розуміння процесу пошуку, зберігання інформації, її обміну та обробки у ракурсі розуміння як викладача так і курсанта (студента). В умовах потужного впливу з боку інформаційних технологій тільки викладач може і повинен дати ті завдання, поставити такі питання, які формують в тих, хто навчається, навчально-інтелектуальні навички, необхідні для вірного і корисного навчання.

Ключові слова: інформаційно-освітній простір, "Google effect", призначення Інтернету в освітньому процесі, кліпове мислення, загально-навчальні навички.

Вступ

Сучасний період розвитку суспільства характеризується значним впливом на нього комп'ютерних технологій, які проникають в усі сфери людської діяльності, забезпечують поширення інформаційних потоків у суспільстві, утворюючи глобальний інформаційний простір.

Невід'ємною і важливою частиною цих процесів є комп'ютеризація освіти.

На даний час йде становлення нової системи освіти, орієнтованої на входження у світовий інформаційно-освітній простір. Цей процес супроводжується істотними змінами в педагогічній теорії і практиці освітнього процесу, пов'язаними з внесенням коректив у зміст технологій навчання, які повинні бути адекватні сучасним технічним можливостям, і сприяти гармонійній інтеграції як викладача, так і курсанта (студента) в інформаційне суспільство.

Всесвітня павутина дає великі можливості для розвитку освіти: доступ до великої кількості інформації: дистанційне навчання, онлайн-тестування та інше.

Однак, успішне вирішення багатоаспектних проблем використання Інтернет-технологій у сфері освіти можливо лише при виконанні ряду психолого-педагогічних вимог і умов, які визначають кінцеву ефективність навчально-виховної, управлінської та науково-дослідницької та педагогічної діяльності.

Більшість існуючих публікацій про Інтернет присвячені вивченню його технічних і споживчих властивостей взагалі.

Прихильники навчання з використанням мережі Інтернет здебільшого вважають, що викладачам для ефективного Інтернет-навчання достатньо знань і умінь користувача.

Метою даної статті є аналіз педагогічних, а не технічних принципів освітнього процесу із застосуванням сучасних ІТ - технологій.

Результати досліджень

Оскільки інформатизація сучасного суспільства викликає дидактичну трансформацію системи «викладач-курсант (студент)», можна виділити ряд нових тенденцій у розвитку уявлень про цільове призначення і функціональні вимоги до діяльності викладача і курсанта (студента).

Традиційний тип взаємодії учасників освітнього процесу, що передбачає суб'єкт-об'єктне відношення, видозмінюється у зв'язку з потужним зовнішніми впливами з боку інформаційних технологій.

При взаємодії, організованої «за вертикальним принципом», нехай навіть і дуже якісній з точки зору трансльованих знань, завдання курсанта (студента) і викладача в освітньому процесі часто не співпадають.

Виходячи з цього, мають місце об'єктивні трансформації в характері комунікаційного процесу і видозміни змісту ролевих легітимаций статусів «викладач» і «курсант (студент)».

Призначення Інтернету в освітньому процесі курсант (студент) і викладач розглядають в різних ракурсах. Схематично головні аспекти цього бачення зображені на рис. 1. Доцільно виділити такі як пошук і зберігання інформації, її обмін та обробку.

Застосування інформаційних технологій в освітньому процесі може зумовити реорганізацію пам'яті, виникнення так званого "Google effect" і, навіть, деформацію психіки.

Крім того, здійснення контролю знань набуває деякі особливості.

Розглянемо це детальніше.

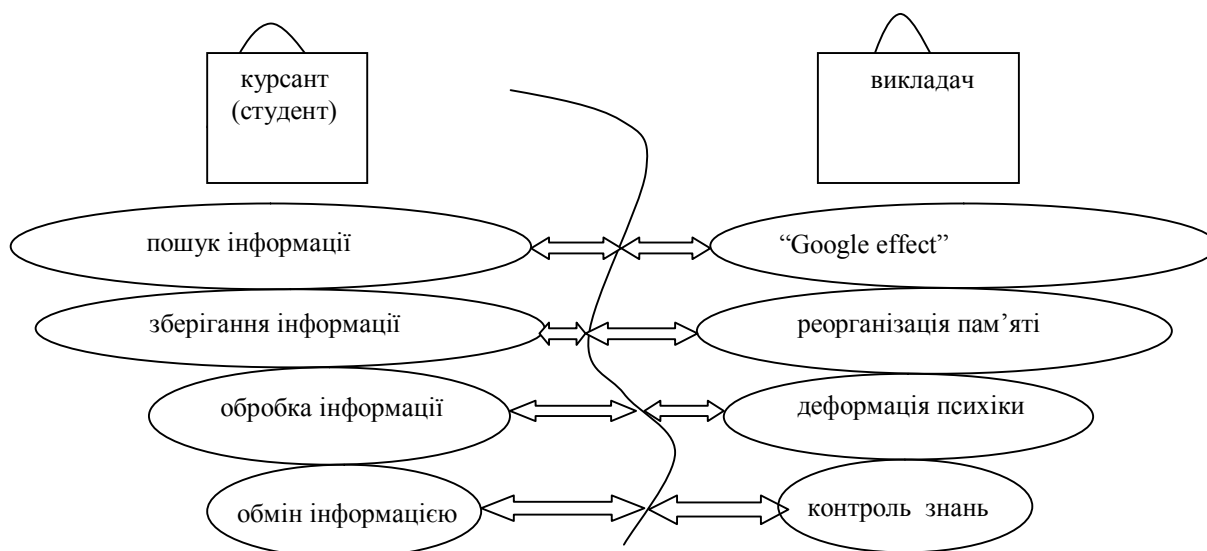


Рис. 1. Дидактична трансформація системи «викладач-курсант (студент)» в умовах інформатизації суспільства

1. Процес пошуку і зберігання інформації

Легкість пошуку і копіювання потрібного документу принесла радість курсантам (студентам), полегшивши процес отримання інформації. Однак, при цьому вона знизила якість набутих знань і призвела до масового прояву "Google effect" - ми гірше пам'ятаємо ту інформацію, яку легко знайти.

За справедливими зауваженнями викладачів, ефективність роботи курсантів (студентів) знижується при неможливості користування Інтернетом. Англомовний публіцист Ніколас висловлює занепокоєність тим, що насолоджуючись незліченними скарбами Мережі, ми жертвуємо своєю здатністю вдумливо читати і мислити, стаємо адептами швидкого і поверхневого сканування, втрачаємо здатність до концентрації, роздумів і рефлексії [1].

Згідно з даними університету німецького міста Білефельд, 30% всіх рефератів, домашніх завдань і дипломних робіт списані з Інтернету. За результатами дослідження «Who's Who Among American High School Students» 80% студентів США хоча б один раз списували курсові з Інтернету і видавали їх за свої. Сьогодні аналітики вважають плагіат однією з головних причин кризи в освіті.

Не беручи до розгляду моральні питання плагіату, зауважимо, що Інтернет не спричиняє порушення пам'яті та концентрації. Інтернет змінює наш спосіб отримання і зберігання інформації [2, 3].

Якщо з моменту появи комп'ютерних пошукових систем людство стало реорганізовувати свою пам'ять, то, напевно, повинен змінитися і

процес освіти. Виникає питання, яким чином має змінитися отримання знань в епоху, коли всевітня павутина сприяє реорганізації пам'яті, змінює здатність до концентрації і наше ставлення до інформації.

Рішення: Формування понятійного апарату і образу світу є головним завданням навчання. Щоб знаходити конкретні знання, треба знати, що шукаєш та мати цілісне розуміння пошукового завдання. Курсант (студент) може не пам'ятати окремі факти, але повинен мати чітке уявлення на рівні понятійного апарату.

Наприклад, учень може не пам'ятати, скільки саме кілометрів на годину становить швидкість звуку в повітрі, а скільки у рідині. Але на рівні понятійного апарату він повинен чітко уявляти, що таке «швидкість звуку», що таке позасистемна одиниця виміру швидкості «кілометри за годину».

Завдання педагога в цьому випадку - створити умови, в яких людина росте і розвивається, сформувати ті загальнонавчальні навички, які формують власний, але науково-обґрунтований погляд на світ.

2. Обмін інформацією

Сучасний рівень технологічності освіти дозволяє курсанту (студенту) отримувати знання дистанційно, консультуватися і проходити тестування он-лайн, а сучасні гаджети та копіювальна техніка позбавляють від рутинної праці. Однак, блага цивілізації, що покликані допомагати отримувати знання, провокують зайву лібералізацію навчального процесу, послаблюють контроль рівня засвоєння знань курсантами (студентами), що в разі недостатньої сильної мотивації призводить до суттєвого зниження якості знань.

Рішення: Розвиток навичок мотивувати свою діяльність, розв'язувати проблемні пізнавальні задачі, самостійно здійснювати самоконтроль навчально-пізнавальної діяльності.

У нашій освітній системі поки що такий розвиток самомотивації пошуку представлений дуже погано.

На думку авторів, його потрібно виховувати в ході вивчення окремих предметів, проведенні спеціальних тренінгів. Самомотивації можливо навчити, якщо звертати увагу не на кількість знань як таких, а на вміння ними користуватися. Сучасні середні та вищі навчальні заклади перевіряють знання за допомогою закритих тестів, де учням пропонується вибрати з декількох відповідей правильний. Але закриті тести не репрезентативні стосовно здібностей учня шукати і осмислювати, зіставляти і оцінювати, варіювати і комбінувати інформацію. Закриті тести не можуть оцінити творчі та аналітичні здібності, асоціативне і креативне мислення, інтуїцію і фантазію.

У новій ситуації, варто спробувати давати учням на іспитах і перевірках відкриті завдання, які, ймовірно, припускають багато можливих відповідей, при цьому дозволити їм при підготовці користуватися Інтернетом.

Перш за все, варто «вчити вчитися», тобто думати, шукати і вибудовувати відповіді.

3. Обробка інформації

За останні півстоліття людина мусила в деякій мірі змінитися, підлаштовуючись під темп світу, що зазнав суттєву трансформацію в усіх галузях науки, техніки і технології. Сучасне покоління живе у невичерпному і вельми інтенсивному потоці інформації, а головне – воно має до неї доступ, відповідно, має встигати її переробляти і використовувати. Воно інакше поглинає новий матеріал: набагато швидше і в значних обсягах. Педагоги скаржаться, що їх учні мало читають. Але читання складного твору займає багато часу, за цей період є можливість переробити в рази більше різноманітного матеріалу, що надається через Інтернет або телевізором. Здатність людини сприймати світ, як ряд практично не пов'язаних подій і фактів, називається кліповим (фрагментарним) мисленням [4]. Що поганого в такому мисленні? З точки зору ефективності обробки інформації, людина з фрагментарним усвідомленням не в змозі зосередитися на великому обсязі даних, у нього знижена здатність до аналізу і систематизації.

Недолік кліпового мислення – зниження кваліфікації, так як такі люди не здатні до глибокого аналізу, рішення складних завдань може виявитися їм не під силу. Однак, можливо вплинути на формування в учня способу сприйняття, допомогти

йому паралельно розвинути обидва види – традиційне послідовного і дискретного.

Рішення: Нелінійне мислення. До появи Інтернету наше знання і процес отримання знань був лінійним. Ми брали книгу і поглиблювалися в неї. І йшли по лінії, яка була визначена авторами. Мережеве знання – нелінійне. Гіпертекстова структура, за якою організований весь Інтернет-простір, не тільки дозволяє, але і вимагає мислити нелінійно, одночасно утримувати в голові кілька рівнів. Мережеве знання формує нові настанови і моделі пізнання, модифікує звички, виробляє сучасні способи поводження з інформацією.

Для викладача актуалізується завдання розробки нових методичних прийомів, спеціальних вправ і тестів, які сприяють розвитку латерального мислення – «мислення вширш» (за методом Едварда де Боно).

Як мінімум, необхідно розвивати в учня вміння переключатися за посиланнями, миттєво перевіряти як власне розуміється і читається текст.

Ці процеси включають здатність не втрачати увагу, вміння зосередитися, перемикаючи увагу з одного об'єкта на інший в разі потреби і бажання, а також зберігати і логічно структурувати інформацію [5].

Інші необхідні навички – це розвиток асоціативного мислення і формування термінологічного базису, що допомагає шукати інформацію не тільки лінійно, а й з врахуванням взаємодії між предметами і явищами.

Сьогодні треба навчати самостійному пошуку інформації, виробленню власних методів знаходження, запам'ятовування і зіставлення джерел інформації.

В епоху Інтернету інформаційний потік, що обрушується на людину, занадто великий, а її джерела інформації часто невідомі або недостовірні. Кліпове мислення гальмує аналізатори людини, тому саме це використовують Інтернет-видання, задаючи в назві статті відразу необхідне відношення до події, хоча подія може відрізнитися від заявленої назви.

Тобто, знову ж таки, використовується інтелектуальне утриманство, яке спеціально зрошується культурою суспільства, відкриваючи прямий шлях до відвертого зомбування користувача.

Саме тут набуває важливості виховна функція освіти і роль викладача у формуванні соціально зрілої людини.

Рішення: Навчання співставленню і перевірці інформації, її аналізу на достовірність та якість. Хоча б для того, щоб не вважати Інтернет істиною в останній інстанції.

Засновник кібернетики та теорії штучного інтелекту Норберт Вінер говорив: «Действено жити –

это значит жить, располагая правильной информацией» [6].

При цьому тільки викладач може і повинен дати ті завдання, поставити такі питання, які сформують в учня навчально-інтелектуальні навички, необхідні для вірного і корисного для навчання сприйняття інформації.

Висновки

1. Завдання викладача – створити умови, в яких людина росте і розвивається, сформувати ті загальнонавчальні навички, які формують власний, але науково-обґрунтований погляд на світ.

2. У новій ситуації, варто спробувати давати курсантам (студентам) на екзаменах і перевірках відкриті завдання, які, ймовірно, припускають багато можливих відповідей, при цьому дозволити їм при підготовці користуватися Інтернетом. Перш за все, варто «вчити вчитися», тобто думати, шукати і вибудовувати відповіді.

3. Викладач може і повинен дати ті завдання, поставити такі питання, які сформують в курсанта (студента) навчально-інтелектуальні навички, необхідні для вірного і корисного для навчання сприйняття інформації.

Список літератури

1. Николас Карр. *Пустышка. Что делает Интернет с нашими мозгами* / Николас Карр. – Best Business Books, 2012. – 256 с.

2. Universitat Bielefeld [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://www.uni-bielefeld.de/index_lehren.html.

3. Educational Communications Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Who%27s_Who_Among_American_High_School_Students.

4. . Удовицька Т.А. «Кліпове мислення» молоді: особливості прояву в процесі навчання (до постановки проблеми) / Т.А. Удовицька // Вища освіта України: теорет. та наук.-метод. часопис. Дод. 1. Вип. 31. Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського простору / Ін-т вищої освіти НАПН України. – К., 2013. – Том VIII (50). – С. 407-416.

5. Эдвард де Боно *Ваш ребенок – гений!* / Эдвард де Боно, Тони Бьюзен, Синити Судзуки. – Попурри, 2008. – 1100 с.

6. Винер Н. *Кибернетика и общество (The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society)* / Н. Винер. – М.: Изд-во иностранной литературы, 2008. – 200 с.

Надійшла до редколегії 2.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ДИДАКТИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СО СТОРОНЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е.А. Макогон, А.А. Дычко, С.А. Новик

Информатизация современного общества вызывает дидактическую трансформацию системы «преподаватель-студент». Статья посвящена путям выработки единого понимания процесса поиска, хранения информации, ее обмена и обработки в ракурсе понимания как преподавателя так и студента (курсанта). В условиях мощного влияния со стороны информационных технологий только преподаватель может и должен дать те задачи, задать такие вопросы, которые сформируют в ученика учебно-интеллектуальные навыки, необходимые для верного и полезного обучения.

Ключевые слова: информационно-образовательное пространство, "Google effect", предназначение Интернета в образовательном процессе, клиповое мышление, общеучебные навыки.

DIDACTIC TRANSFORMATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE CONDITIONS OF EXTERNAL INFLUENCES FROM INFORMATION TECHNOLOGY

H.A. Makogon, O.O. Duchko, S.A. Novik

Informatization of modern society causes a didactic transformation of the "teacher-student" system. The article is devoted to ways of developing a common understanding of the process of searching, storing information, exchanging information and processing it in the perspective of understanding both the teacher and the student (cadet). In conditions of powerful influence on the part of information technologies, only a teacher can and should give those tasks, ask such questions as will form the student's educational and intellectual skills necessary for correct and useful teaching.

Keywords: information and educational space, the "Google effect", the purpose of the Internet in the educational process, the clip thinking, general educational skills.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

Предложена информационная технология для решения задач планирования заданий на вычислительном кластере, базирующаяся на обеспечении информацией данными о состоянии узлов и заданий, формирующих базу данных на основе лог-файлов локального планировщика Maui. Рассмотрена схема ее реализации с использованием разработанных файлов сценария заполнения базы данных информирования отчетов о показателях работы кластера по запросу за заданные периоды времени.

Ключевые слова: распределенная вычислительная система, вычислительный кластер, база данных, информационная технология, файл сценария, генерация отчетов, система мониторинга.

Введение

Одним из направлений повышения эффективности высокопроизводительных и распределенных вычислений является повышение оперативности получения необходимой для принятия решений о выборе стратегий планирования. Важным и актуальным является контроль над состоянием вычислительного кластера (кластеров) в составе мультикластерных и грид-систем (распределенных вычислительных систем, РВС). Вычислительный кластер представляет собой совокупность сервера (серверов) и вычислительных узлов, объединенных между собой коммуникационными каналами. Каждый вычислительный узел имеет в своём составе процессоры, архитектура которых включает в себя множество ядер, оперативную память и осуществляющих работу с помощью соответствующего программного обеспечения (ПО). Наиболее распространенным ПО являются системы пакетной обработки (СПО), в целом обеспечивающие решение таких задач, как определение состояния вычислительных узлов, обработку соответствующих запросов, поступающих от системы планирования, формирование ответных сообщений и их передачу системе планирования. В рассматриваемых в данной работе системах используются встроенные планировщики заданий или же планирование заданий производится внешними планировщиками (Maui/Moab) [1].

Кроме оптимизации физического расположения узлов кластерной системы проблемой является администрирование кластера, позволяющее обосновать и выбрать эффективные политики (стратегии) планирования заданий и ресурсов. В некоторых случаях это обеспечивается преимуществами архитектур с разделяемой памятью. В настоящее время этот фактор позволил перейти к технологиям виртуализации в рамках реализации облачных вычислений.

При эксплуатации многопользовательского вычислительного кластера требуется доступ к большому количеству данных, в связи с чем вопросы

решения задач планирования становятся достаточно серьезной проблемой. Поэтому распределение заданий среди вычислительных узлов, представленных ядрами процессоров и видеокартами, представляет собой значительную сложность. Важным аспектом является использование технологий получения и обработки данных о состоянии объектов контроля узлов и коммуникаций РВС, обеспечивающих необходимой информацией. При этом все решения должны основываться на анализе достоверной и оперативной системной и служебной информации, получаемой администратором кластера или менеджером виртуальной организации [2].

Целью данного исследования является разработка информационной технологии для оценки показателей работы вычислительного кластера на основе оперативного формирования БД состояния объектов контроля и ее последующего анализа для принятия обоснованных решений о выборе стратегий планирования.

Общая схема построения информационной технологии РВС

Общая схема рассматриваемой информационной технологии базируется на использовании компонент систем мониторинга и данных, источниками которых являются лог-файлы локальных планировщиков и планировщиков локальных систем управления ресурсами (ЛСУР) [2 – 4].

Мониторинг осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения – программных расширений, устанавливаемых на серверах и узлах вычислительных кластеров РВС. Рассмотрим некоторые принципы работы системы мониторинга на примере системы Nagios [5]. В основе ее работы лежит использование удаленных программных агентов, которые установлены и запускаются на узлах кластера при помощи соответствующих протоколов и команд активации. Одним из таких агентов является Nagios Remote Plugin Executor

(NRPE), задача которого заключается в том, чтобы осуществлять контроль над состоянием таких системных ресурсов как жёсткий диск, загрузка процессора, его ядер и балансировка загрузки, загрузка БД состояния узлов и заданий, выполняемых на них, критический уровень пропускной способности коммуникационных каналов и т.д. Для получения необходимой информации в контексте отслеживания состояния узлов система Nagios осуществляет удалённый опрос программного агента с использованием плагина `check_nrpe`, который производится через заданный интервал времени [5], определяемый соответствующими параметрами ОС управляющего узла РВС или ОС вычислительного кластера (сервера). Критически важным является контроль над состоянием узлов кластера – Up, Down, Unreachable, Pending; при этом развернутые сервисы могут быть в одном из следующих состояний: Ok, Warning, Unknown, Critical, Pending [1, 3, 4]. Для РВС с большим количеством кластеров необходимость обработки такого объема служебной информации приводит к возможности критической загрузки каналов связи, и, как следствие, к увеличению временных задержек, связанных с передачей требуемой информации о состоянии узлов кластеров, заданий и нагрузки на БД.

Другим средством и источником организации информационного обеспечения для контроля над локальными ресурсами РВС и выполняемыми заданиями являются лог-файлы внешних планировщиков и планировщиков ЛСУР (например, Maui// Torque). Их основная функция состоит в том, чтобы осуществлять распределение заданий среди функциональных компонент РВС. Его работа может быть отслежена с помощью лог-файлов, которые генерируются системой для непосредственного чтения и последующего анализа и обработки данных согласно задачам системного администратора кластера (РВС). Пакет Maui является планировщиком заданий, поддерживающим множество политик планирования, позволяющий динамически изменять приоритеты заданий и определять исключения. Результаты работы данного пакета отражаются в лог-файлах, которые генерируются по требованию, то есть в промежутки времени, определяемые в конфигурационном файле, или же через определенные периоды (циклы) времени, определяемые длительностью цикла планирования.

Модель планирования и методы получения и обработки данных

Согласно двухуровневой модели планирования [2, 3], задания из входной очереди поступают в пул, при этом задаётся соответствующий период (длительность цикла) планирования и известна интенсивность потока. Пул является пакетом заданий и является стеком для временного хранения и последующего планирования заданий на доступные и свободные кластеры РВС. Размер пула определяется интенсивностью входного рабочего потока реальной

системы (кластера). При этом задания из пула выгружаются через интервалы времени, определяемые периодом планирования, время которого зависит от размера пула, то есть от количества заданий, поступивших на блок планирования, и количества доступных и свободных на момент планирования вычислительных ресурсов РВС и назначаются на локальные ресурсы на основе решения задачи линейного целочисленного программирования [2]. Период планирования должен обеспечивать также и отсутствие простаивающих ресурсов, что определяется расчётом минимального или среднего времени освобождения ресурсов РВС [2]. Для эффективного контроля над состоянием ресурсов РВС необходимо построить такую последовательность их опроса (расписание), которая бы доставляла минимум общему времени опроса и доставки информации о завершении процессов активации и запуска программных агентов на вычислительных кластерах РВС [6].

Для решения данной задачи используется метод определения кратчайших путей и кратчайших гамильтоновых циклов в графе, разработанный в работе [6]. Реализация метода решения задачи минимизации суммарной задержки при проведении опроса и запуска удалённых программных агентов на узлах РВС включает 2 этапа:

Этап 1 – построение стянутого дерева всех путей и распараллеливание процесса решения заданий на узлах системы, что отчасти решает проблему потребности разработки специализированной архитектуры для решения поставленных задач [2].

Этап 2 – определение кратчайших гамильтоновых циклов, имеющий полиномиальную временную сложность, который позволяет достаточно эффективно решить задачу определения последовательности активации и запуска удалённых сервисов для осуществления контроля над объектами – вычислительными ресурсами, коммуникациями и заданиями в режиме реального времени [3, 6]. Администратор виртуальной организации контролирует состояние вычислительных узлов РВС с помощью управляющего узла [3, 6]. Система Nagios через заданные интервалы времени запускает сервисы с помощью команд. Сервисы, выполняя заданные команды, идентифицируют состояния множества характеристик узлов и заданий и возвращают результаты запросов администратору. Таким образом, администратор получает информацию в оперативном режиме [3, 4].

Для получения информации о состоянии узлов и выполняемых заданий на вычислительном кластере используются данные лог-файлов планировщика Maui, представленные в формате SWF (Standard Workload Format). Для оперативного контроля над состоянием и формирования стратегий планирования администратор кластера запускает на выполнение скрипт для заполнения базы данных и скрипт на создание отчётов на основании полученных данных. В результате он получает статистическую информацию

о работе кластера за определённый промежуток времени, который определяется периодом планирования. Проанализировав полученную информацию, администратор кластера может принять решение относительно выбора алгоритма и стратегий планирования.

Сбор и обработка данных

Имея информацию о формате необходимых исходных данных, представленных в лог-файлах, можно приступить к разработке информационной технологии, осуществляющей их сбор и обработку.

Результаты оценки состояния объектов контроля вычислительного кластера отражены соответствующими данными в наборах лог-файлов, необходимых администратору кластера. Объём этих данных является существенным, поэтому разбираться с ними в «сыром» виде представляется достаточно сложно. Для преодоления этого недостатка на первом этапе используется файл сценария, написанный на языке `bash`. Назначение данного исполняемого файла состоит в том, чтобы произвести синтаксический анализ входных данных из логов, чтобы извлечь требуемую для оценки результатов работы кластера информацию. На следующем этапе обработки реализуется организация управления хранением извлечённых на предыдущем этапе данных. Данный этап реализован с помощью использования базы данных под управлением PostgreSQL – объектно-реляционной СУБД [3, 4]. Среди её достоинств следует выделить возможность быстрого и простого развёртывания в распределённой среде. База данных состоит из таблиц и связей между ними, которые представляют собой сущности, описываемые в логах. Таким образом, результатом работы скрипта является заполненная данными база данных, спроектированная в соответствии с предварительно разработанной моделью предметной области [3, 4]. Для их окончательного представления в удобном для последующего использования виде реализован третий этап. Он заключается в выполнении составных запросов на выборку данных из базы данных с целью последующего получения значений показателей работы кластера РВС: коэффициента качества обслуживания, среднего коэффициента использования ресурсов и т.д. Для этого был определён набор функций в базе данных, которые вызываются с нужными параметрами из второго файла сценария для генерации текстовых файлов-отчётов, о показателях функционирования кластера за выбранные периоды времени.

Алгоритм реализации информационной технологии

Предлагаемая информационная технология реализована на основе следующего алгоритма.

Шаг 1. Заполнение БД данными лог-файлов планировщика Maui Cluster Scheduler под управлением СУБД PostgreSQL в среде операционной системы Linux. Для этого использован исполняемый файл сценария, который содержит скрипт, написанный на языке команд `bash` (`script.sh`).

Шаг 2. Формирование отчетов, построенных на данных, представленных в заполненной базе данных, на основе использования второго файла сценария (`report.sh`).

Каждое задание описывается записью, имеющей в своём составе порядка 44 полей. Таким образом, администратор кластера получает статистическую информацию о работе кластера за некоторый период времени, данные относительно которого содержатся в базе данных. Проанализировав информацию двух видов, администратор получает возможность принять оптимальное решение о выборе алгоритма и стратегии планирования. Диаграмма последовательности технологии заполнения БД и формирования отчетов нотации языка UML приведена на рис. 1.

Описание лог-файла Maui

Лог-файлы локального планировщика Maui создаются благодаря трассировки нагрузки (`Work load traces`) в формате SWF. Трассировка нагрузки полностью описывает все соответствующие аспекты планирования пакетных заданий, в том числе необходимые для работы и используемые ресурсы, время всех основных событий по планированию полученных заданий (например, время помещения в очередь, время начала выполнения и т. д.) и конфигурацию среды выполнения. Состав параметров, которые в нем содержатся, представлены в табл. 1 [1].

Результаты практической реализации информационной технологии

Данная информационная технология была реализована на вычислительном кластере с целью получения результатов в ходе её практического применения для различных интервалов времени работы вычислительного кластера. В качестве первичных источников данных были использованы лог-файлы, сгенерированные в процессе планирования заданий планировщиком Maui в течении нескольких месяцев. В качестве СУБД для хранения и обработки статистических данных использована PostgreSQL 9.3. Для анализа результатов практической реализации предлагаемой информационной технологии выбраны 2 временных интервала длительностью по 7 дней. Для каждого интервала в тестовом лог-файле формируется 2 500–3000 записей, которые необходимо хранить в базе данных (объём требуемой для хранения одной записи памяти составляет 100 Б). Время их обработки (формирования БД) составляет порядка 45–60 сек. (до 1 мин.). После заполнения базы данных выполняется второй файл сценария для генерации отчётов значений параметров, представленных в табл. 2, для хранения одной записи которого требуется 100 Б. При этом общее время экспорта и обработки данных двух временных интервалов, приведенных выше, для расчета показателей работы кластера не превысило 15 минут, объём требуемой для хранения данных лог-файлов и сгенерированных отчетов памяти не превысил 1 МБ.

Таблиця 1

Состав параметров лог-файла Maui

Идентификатор	Тип данных	Значение по умолч.	Описание
JobID	STRING	-	Идентификатор задания. Должен быть уникальным.
NodesRequested	INTEGER	0	Количество необходимых узлов (0 = количество запросов на узел не определено).
Tasks Requested	INTEGER	1	Количество необходимых заданий.
UserName	STRING	-	Имя пользователя, отправившего задание.
GroupName	STRING	-	Первичная группа пользователя, отправившего задание.
WallclockLimit	INTEGER	1	Максимальная допустимая продолжительность работы, сек.
JobCompletionState	STRING	Completed	Возможные значения: Completed, Removed, NotRun.
RequiredClass	STRING	1	Класс/очередь, которые необходимы для задания, указанного в качестве списка квадратной скобкой <очередь> [:<экземпляр очереди>].
SubmissionTime	INTEGER	0	Unix-время, когда работа помещена очередь.
DispatchTime	INTEGER	0	Unix-время, когда планировщик начал искать место выполнения работы.
StartTime	INTEGER	0	Unix-время, когда работа начала выполняться (DispatchTime).
CompletionTime	INTEGER	0	Unix-время, когда работа завершилась.
RequiredNetwork Adapter	STRING	-	Имя необходимого сетевого адаптера.
RequiredNode Architecture	STRING	-	Архитектура необходимого узла.
RequiredNode OperatingSystem	STRING	-	ОС необходимого узла.
RequiredNode Memory Comparison	Знак порівняння (>, >=, =, <=, <)	>=	Сравнения, для определения соответствия памяти узла.
RequiredNode Memory	INTEGER	0	Объем необходимой оперативной памяти (МБ) на каждом узле.
RequiredNodeDisk Comparison	Знак порівняння (>, >=, =, <=, <)	>=	Сравнения, для определения соответствия диска узла.
RequiredNodeDisk	INTEGER	0	Количество необходимых настроенных локальных дисков (МБ) на каждый узел.
RequiredNode Attributes	STRING	-	В квадратных скобках находится список компонент узла, необходимых для работы, если он указан. Пример: [fast] [ethernet].
SystemQueueTime	INTEGER	0	Unix-время, когда работа выполнила все политики справедливости (fairnesspolicies).
TasksAllocated	INTEGER	Tasks requested	Количество заданий, фактически выделенных для работы.
RequiredTasksPer Nod	INTEGER	-1	Количество заданий на один узел, необходимых для работы.
QOS	STRING	-	Качество обслуживания для запрошенного узла и узла получателя. Формат: [<узел-источник>] [узел-получатель].
JobFlags	STRING	-	[BACKFILL] [BENCHMARK][PREEMPTEE].
AccountName	STRING	-	Имя учетной записи, связанной с работой.
Executable	STRING	-	Название работы исполняемого файла.
Comment	STRING	-	Заданный список диспетчера ресурсов по атрибутам работы.
BypassCount	INTEGER	-1	Количество рабочих часов, которые были использованы низкоприоритетными заданиями по заполнению.
ProcSecondsUtilized	DOUBLE	0	Количество процессорных секунд, которые на самом деле используются работой.
PartitionName	STRING	-	Название раздела, в котором было выполнено задание.
DedicatedProcessor perTask	INTEGER	1	Количество процессоров, необходимых для решения каждой задачи.
DedicatedMemory perTask	INTEGER	0	Объем оперативной памяти (МБ), необходимый для решения каждой задачи.
DedicatedDiskperTask	INTEGER	0	Размер локального диска (МБ), необходимого для решения каждой задачи.
DedicatedSwapper Task	INTEGER	0	Объем виртуальной памяти (МБ), необходимый для каждой задачи.
StartDate	INTEGER	0	Unix-время, когда работа может начать выполняться.
EndDate	INTEGER	0	Unix-время, когда работа должна была быть завершена.
AllocatedHostList	STRING	-	Список использованных узлов.
ResourceManager Name	STRING	-	Имя менеджера ресурса.
Required HostMask	STRING	-	Список узлов, необходимых для выполнения работы. Используется планировщиком, если количество заданий меньше, чем количество хостов.
Reservation	STRING	-	Резервируемое имя, которое нужно для работы, если оно указано.
SetDescription	STRING	-	Устанавливает ограничения, необходимые для узла в виде: <ограничение>:<тип>[:<список>]. Ограничение принимает значения: ONEOF, FIRSTOF, ANYOF. Тип принимает значение: PROCSPEED, FEATURE, NETWORK. Список содержит дополнительные атрибуты. Например: ONEOF:PROCSPEED:350:450:500
Application SimulatorData	STRING	-	Название модуля симулятора приложения и связанные с ним данные конфигурации.
RESERVED FIELD 1	STRING	-	Зарезервированное значение.

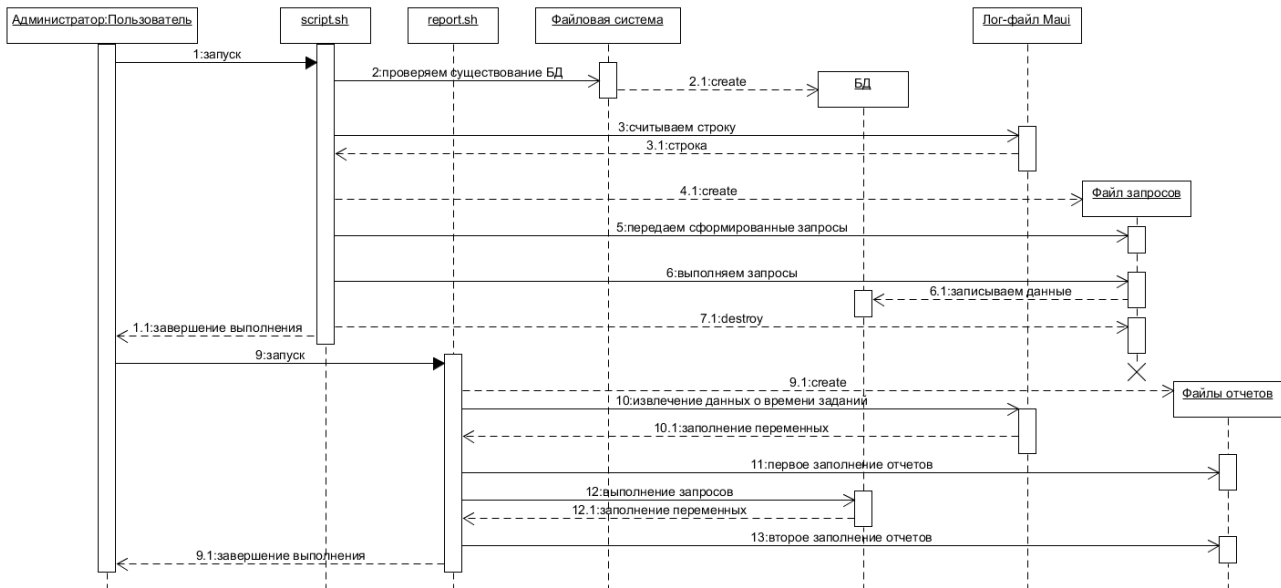


Рис. 1. Диаграмма последовательности технологии заполнения БД и формирования отчетов

Таблица 2

Состав показателей функционирования кластера для построения отчетов

Идентификатор	Значение
$t_{\text{общ}}$	Общий интервал работы РВС (1)
$t_{\text{общ_очередь}}$	Суммарное время нахождения заданий в очереди (2)
$t_{\text{общ_вып}}$	Суммарная длительность выполнения заданий (3)
$k_{\text{использования}}$	Коэффициент использования РВС (4)
k_{over}	Средний коэффициент загрузки (использования) узлов (5)
$k_{\text{обслуж}}$	Коэффициент качества обслуживания за заданный промежуток времени (6)

$$t_{\text{общ}} = \text{MAX}(t_{\text{окон}}) - \text{MIN}(t_{\text{очередь}}), \quad (1)$$

где $t_{\text{окон}}$ – время окончания выполнения задания;
 $t_{\text{очередь}}$ – время помещения задания в очередь.

$$t_{\text{общ_очередь}} = \sum_{i=1}^m (t_{\text{нач}_i} - t_{\text{очередь}_i}), \quad (2)$$

где $t_{\text{нач}_i}$ – время перехода i -го задания на выполнение;
 $t_{\text{очередь}_i}$ – время перехода i -го задания в очередь.

$$t_{\text{общ_вып}} = \sum_{i=1}^m (t_{\text{окон}_i} - t_{\text{нач}_i}), \quad (3)$$

где $t_{\text{завер}_i}$ – время завершения выполнения i -го задания.

$$k_{\text{использования}} = \frac{t_{\text{общ_вып}}}{t_{\text{общ}}}. \quad (4)$$

$$k_{\text{over}} = \frac{k_{\text{использования}}}{n}, \quad (5)$$

где n – общее количество узлов.

$$k_{\text{обслуж}} = \frac{t_{\text{общ_очередь}} \cdot m_{\text{вып}}}{m_{\text{очередь}} \cdot t_{\text{общ_вып}}}, \quad (6)$$

где $m_{\text{вып}}$ – количество выполненных задач за промежуток времени;
 $m_{\text{очередь}}$ – количество заданий в очереди на промежутке времени.

Состав показателей генерируемых отчетов представлен в табл. 3; результаты расчетов показателей функционирования кластера на тестовых данных лог-файлов приведены в табл. 4.

Выводы

Рассмотрена общая схема информационной технологии для оценки показателей функционирования вычислительного кластера на основе форми-

Таблица 3

Типы генерированных отчетов о показателях функционирования вычислительного кластера

Название отчета	Описание
CountJobsInQueue	Данные о количестве заданий в очереди на определенный момент времени
CountJobsInProgress	Данные о количестве заданий, которые выполняются в определенный момент времени
CountJobsCompleted	Данные о количестве выполненных заданий на определенный момент времени
CoefficientOfServiceQuality	Значение коэффициента качества обслуживания
ResUptimeAndCoeffOfUtilization	Значение среднего коэффициента использования

Таблиця 4

Значения показателей функционирования вычислительного кластера

Показатель	Интервал 1	Интервал 2
$K_{обслуж}$	0.4847	0.7225
Количество заданий на этапе выполнения в начале заданного временного интервала	294	35
Количество заданий в очереди на момент начала заданного временного интервала	184	47
$K_{использования}$	0.8892	0.8888

рования и обработки данных о состоянии вычислительного кластера РВС, сформированных как результат запуска удалённых программных агентов и экспорта данных лог-файлов локального планировщика Maui. На основе полученных данных о работе объектов контроля кластера осуществляется заполнение базы данных системы с помощью разработанного файла сценария.

Для оценки показателей работы кластера и их последующего анализа на основе сформированной базы данных о вычислительных ресурсах, выполняемых заданиях, включая очереди на узлы, входящие в кластер, программно реализован процесс генерации отчётов.

В результате реализации данной технологии системный администратор кластера (менеджер виртуальной организации) получает возможность проводить оперативный анализ состояния кластерной системы с требуемым временным периодом, позволяющий принимать соответствующие решения о выборе стратегии планирования и вносить изменения в настроечные параметры планировщика в режиме реального времени.

В дальнейшем предполагается продолжить исследования в направлении оптимизации объема передаваемой служебной и хранимой информации для обработки данных лог-файлов и генерируемых отчётов в зависимости от выбираемого периода формирования лог-файлов и периода планирования для повышения эффективности и обоснования выбираемых системными администраторами кластеров и

менеджерами виртуальных организаций, функционирующих в составе РВС, стратегий планирования.

Список литературы

1. Maui Trace File Format, version 310 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.adaptivecomputing.com/maui/trace.php>.
2. Минухин С.В. Модели и методы решения задач планирования в распределенных вычислительных системах: монография / С.В. Минухин. – Х.: Изд-во ООО «Щедрая усадьба плюс», 2014. – 324 с.
3. Минухин С.В. Информационные технологии реализации двухуровневой модели планирования пакетов заданий в распределенной вычислительной системе на основе решения задачи о наименьшем покрытии / С.В. Минухин // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2015. – Вип. 1(33). – С. 111–115.
4. Минухин С.В. Информационная технология для планирования заданий на вычислительных кластерах распределенной системы на основе интеграции сервисов удаленного доступа / С.В. Минухин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 12 (137). – С. 134–139.
5. Nagios – The Industry Standard in IT Infrastructure Monitoring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nagios.org>.
6. Листровой С.В. Разработка метода мониторинга распределенной вычислительной системы на основе определения кратчайших путей и кратчайших гамильтоновых циклов в графе / С.В. Листровой, С.В. Минухин, Е.С. Листровая // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – 6/4 (78). – С. 32–45.

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Алексеев, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КЛАСТЕРА РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ

С.В. Мінухін, К.С. Молчанов, М.Г. Сизранцев

Запропоновано інформаційну технологію для вирішення завдань планування завдань на обчислювальному кластері, що базується на забезпеченні інформацією даними про стан вузлів і завдань, які формують базу даних на основі лог-файлів локального планувальника Maui. Розглянуто схему її реалізації з використанням розроблених файлів сценарію заповнення бази даних і формування звітів про показники роботи кластера за запитом за задані періоди часу.

Ключові слова: розподілена обчислювальна система, обчислювальний кластер, база даних, інформаційна технологія, файл сценарію, генерація звітів, система моніторингу.

INFORMATION TECHNOLOGY INDICATORS FOR THE EVALUATION OF A DISTRIBUTED COMPUTING CLUSTER SYSTEM

S.V. Minukhin, K.S. Molchanov, M.G. Syzrantsev

An information technology solutions for job scheduling tasks on a computing cluster based on the provision of information, data on the state of the nodes and tasks, forming a database of local scheduler Maui log files is developed. A scheme for its implementation developed using the script file database filling and reporting on the performance of the cluster on demand for specified periods of time.

Keywords: distributed computing system, the computing cluster, database, information technology, a script file, generation of reports, monitoring system.

УДК 378:53:004.9

А.О. Москаленко¹, Г.В. Сокол², Ю.В. Глуховець¹, В.В. Варич¹¹ Полтавський інститут бізнесу ПВНЗ «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая», Полтава² Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ЕЛЕКТРОННИЙ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС З ФІЗИКИ ДЛЯ ВИЩИХ ВІЙСЬКОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ЗАСОБАМИ C++/Qt

В роботі розглянуті питання використання електронних навчально-методичних комплексів, як інтерактивної технології комп'ютерно-орієнтованого навчання фізики майбутніх військових фахівців. Запропоновано структуру та розроблене програмне забезпечення електронного навчально-методичного комплексу з фізики для вищих військових навчальних закладів засобами C++/Qt.

Ключові слова: електронний навчально-методичний комплекс, фізика, вищі військові навчальні заклади, C++/Qt.

Вступ

Впровадження у навчальний процес вищих військових навчальних закладів досягнень комп'ютерно-орієнтованих технологій навчання створить передумови для [1, 2]:

- поглиблення змісту освіти;
- інтенсифікації процесу навчання;
- розвитку особистості, стимулюванням пізнавальної активності курсантів, підготовки спеціалістів;
- підготовки фахівців, здатних працювати в умовах інформаційного суспільства та ефективно використовувати знання на практиці.

Жалдак М.І., Лапінський В.В., Шут М.І., Андрійчук А.Б., з метою посилення інтересу студентів до процесу пізнання, вважають за необхідне впровадження у навчальний процес з фізики сучасних інформаційних технологій навчання.

Організація навчального процесу на основі комп'ютерно-орієнтованого навчально-методичного комплексу дисципліни з використанням технології електронного навчання відповідає третьому рівню використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчальному процесі [2].

Електронне навчальне видання – це електронне видання, що містить систематизовані дані наукового або прикладного характеру, подані у формі, зручній для навчання і викладання, у вигляді текстової, графічної, цифрової, мовної (звукової), музичної, фото-, відео- та іншої інформації або як сукупність таких форм подання інформації.

Електронні навчальні видання поділяються на наступні різновиди: електронні навчально-методичні комплекси; електронні підручники; електронні навчальні посібники; електронні конспекти. Електронні навчально-методичні комплекси – інформаційно-дидактичні ресурси дисципліни подані у формі електронного видання.

Аналіз науково-педагогічних джерел свідчить про те, що на даний момент часу різноманітні аспекти інтерактивних технологій навчання фізики висвітлені в роботах таких науковців: А.Б. Андрійчука [3-5], О.І. Пометуна [1], Д.Д. Біди [6], В.Д. Шарко [7].

За результатами аналізу останніх досліджень, можна зробити висновок, що питання розробки та застосування електронних навчально-методичних комплексів, як інтерактивної технології комп'ютерно-орієнтованого навчання фізики майбутніх військових фахівців, досліджені недостатньо. Саме тому впровадження даної технології у навчальний процес вищих військових навчальних закладів потребує окремих досліджень.

Отже, метою даного дослідження є розробка та обґрунтування раціональної структури електронного навчально-методичного комплексу з фізики для вищих військових навчальних закладів засобами C++/Qt.

Вибір засобів розробки

В якості засобів розробки електронного навчально-методичного комплексу з фізики для вищих військових навчальних закладів було обрано C++/Qt.

C++ це мова програмування загального призначення, яка поєднує в собі принципи об'єктно-орієнтованого і узагальненого програмування. C++ властиві такі характеристики як ефективність, компактність, швидкодія, розробка програм для сучасних платформ і систем, можливість роботи на низькому рівні з пам'яттю, адресами, портами, дозволяє створювати узагальнені алгоритми для різних типів даних. Завдяки об'єктно-орієнтованим принципам, мова програмування C++ пропонує нову методологію програмування, яка дозволяє вирішувати сучасні задачі, складність яких постійно зростає [8].

Qt – об'єктно-орієнтована бібліотека, в якій реалізована нова концепція ведення міжоб'єктних комунікацій та можливість обробки подій. Qt надає для роботи повний інструментарій для програмування, який складається з окремих модулів і має підтримку дво- і тривимірної графіки, анімацій, можливість інтернаціоналізації програми, використання формату XML, STL-сумісної бібліотеки контейнерів, підтримку стандартних протоколів вводу/виводу, класи для роботи з мережею та підтримку програмування баз даних [9].

Електронний навчально-методичний комплекс з фізики для вищих військових навчальних закладів

Розроблений електронний навчально-методичний комплекс це універсальна система, що дозволяє користувачеві не лише зручно маніпулювати навчальними матеріалами, але й користуватись додатковими інтегрованими функціями. Електронний на-

вчально-методичний комплекс з фізики призначений для вивчення курсу фізики курсантами вищих військових навчальних закладів.

Структуру електронного навчально-методичного комплексу дисципліни «Фізика» представлена на рис. 1.

Таким чином, до основних структурних елементів комплексу відносяться: головне меню, яке містить назву та символіку навчального закладу; елементи головного меню.

Процедура інсталяції програмного забезпечення електронного навчально-методичного комплексу дисципліни «Фізика» є стандартною. Для початку процесу інсталяції необхідно запустити на виконання файл Book-Physics_setup.exe. Далі відбувається процес перевірки наявності встановленого програмного забезпечення Adobe Acrobat Reader DC 2015 і більш нової версії. У випадку відсутності даного програмного забезпечення – з'являється діалогове вікно з пропозицією по його встановленню (рис. 2).

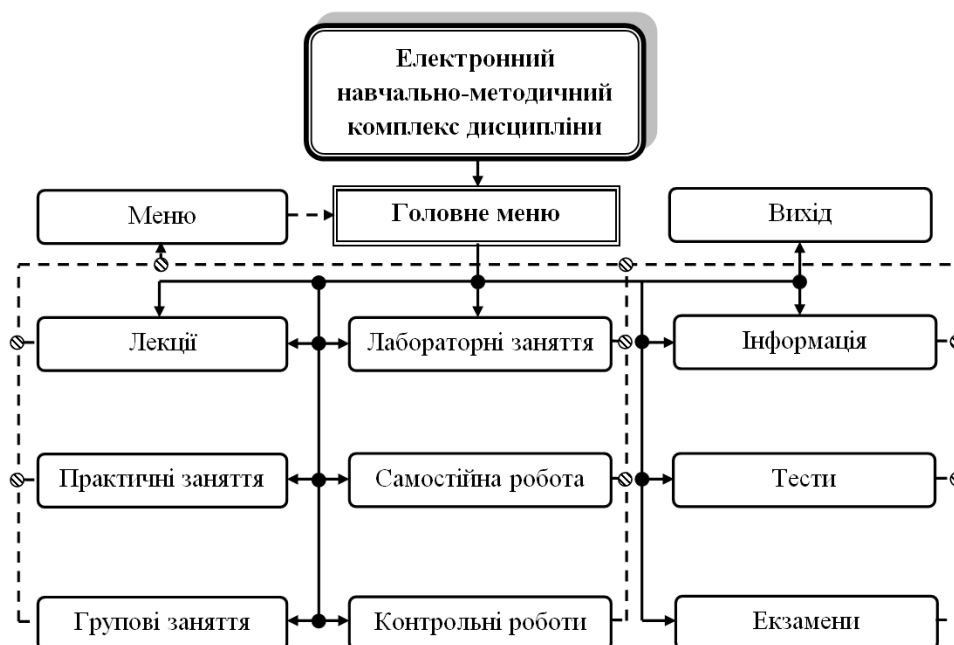


Рис. 1. Структура електронного навчально-методичного комплексу дисципліни «Фізика»

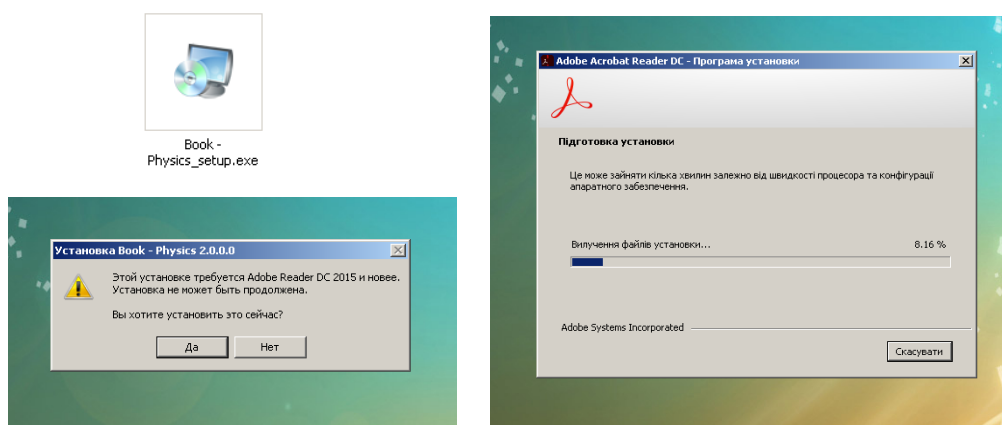


Рис. 2. Процедура інсталяції програмного забезпечення електронного навчально-методичного комплексу дисципліни «Фізика»

Потім відбувається типова процедура інсталяції програмного забезпечення.

Головне вікно електронного навчально-методичного комплексу з фізики містить наступні основні елементи (рис. 3): назву і символіку вищого військового навчального закладу; елементи головного меню.

Призначення елементів головного меню комплексу:

1. Пункт «Меню» – призначений для завершення всіх операцій та повернення до головного меню комплексу.

2. Пункт «Лекції» – призначений для вивчення лекційного матеріалу дисципліни.

3. Пункт «Практичні заняття» – призначений для виконання практичних занять з навчальної дисципліни.

4. Пункт «Групові заняття» – призначений для вивчення матеріалів групових занять з дисципліни.

5. Пункт «Лабораторні заняття» – призначений для виконання лабораторних робіт з використанням імітаційного моделювання.

6. Пункт «Самостійна робота» – призначений для ознайомлення з питаннями самостійної роботи та виконання практичних самостійних завдань.

7. Пункт «Контрольні роботи» – призначений для ознайомлення з теоретичними питаннями та практичною частиною необхідної контрольної роботи.

8. Пункт «Екзамени» – призначений для ознайомлення з теоретичними питаннями та практичною частиною необхідного екзамену.

9. Пункт «Тести» – призначений для тестового контролю знань: за результатами проведення групових, практичних та лабораторних занять; засвоєння матеріалу самостійних занять; при виконанні контрольних робіт; при проведенні тестової частини екзамену.

10. Пункт «Інформація» – призначений для перегляду даних про розробників комплексу та версії програмного забезпечення.

11. Пункт «Вихід» – призначений для виходу з програми.

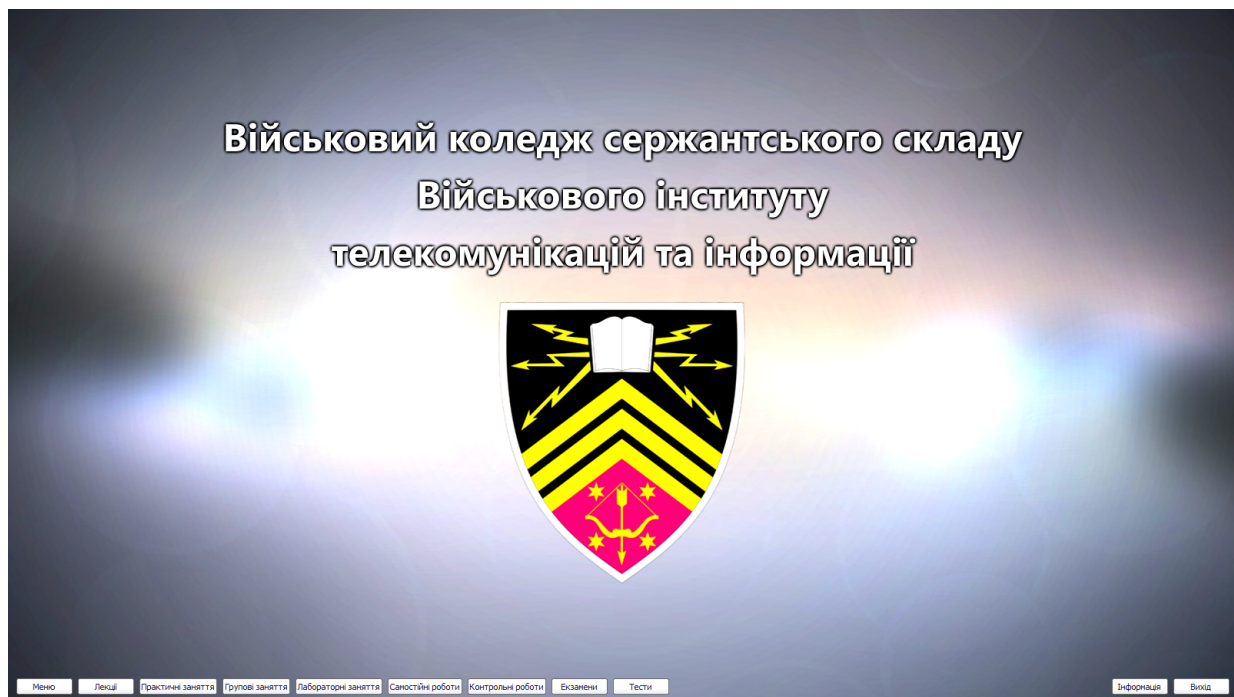


Рис. 3. Головне вікно електронного навчально-методичного комплексу з фізики

Переваги електронного навчально-методичного комплексу з фізики

Розроблений електронний навчально-методичний комплекс з фізики має наступні переваги:

1. Вибір C++/Qt для реалізації електронного комплексу дозволив забезпечити високу швидкість програмного забезпечення. Компіляція в C++ відбувається одразу в машинний код заданої платформи, а не в проміжний (Java і C#), це дає значний приріст

в продуктивності продукту. Збірка пам'яті відбувається в ручному режимі, що підвищує швидкість виконання програми [10].

2. Інтерфейс електронного навчально-методичного комплексу з фізики для вищих військових навчальних закладів має візуально сприятливий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. У головному меню розташовано дев'ять кнопок, за якими здійснюється навігація по розділах комплексу, і дві кнопки для перегляду додаткової інформації та виходу з програми. Кнопки розташовані у звичному

для користувача місці, в основі екрану. Кожна з кнопок містить загальний опис та опис розділу (з'являється при наведенні курсору на відповідну кнопку).

3. Автоматичне налаштування вікон програмного забезпечення відповідно до розширення монітору, що забезпечує комфортну роботу користувача при використанні будь-яких типів моніторів, навіть з нестандартним розширенням. Функція доступна завдяки використанню бібліотеки середовища Qt.

4. Розроблений програмний продукт може бути відкомпільованим під більшість сучасних операційних систем (Linux, Windows, MacOS та ін.).

5. Використання Adobe Reader, який інтегровано в інсталяційний пакет програми, забезпечує можливість використання великої кількості інструментів зручного управління функціями книги: мініатюри сторінок, перегляд вкладених файлів, пошук по книзі, друк на принтері, навігація, масштаб сторінок, та інші сервіси Adobe Reader (рис. 4).

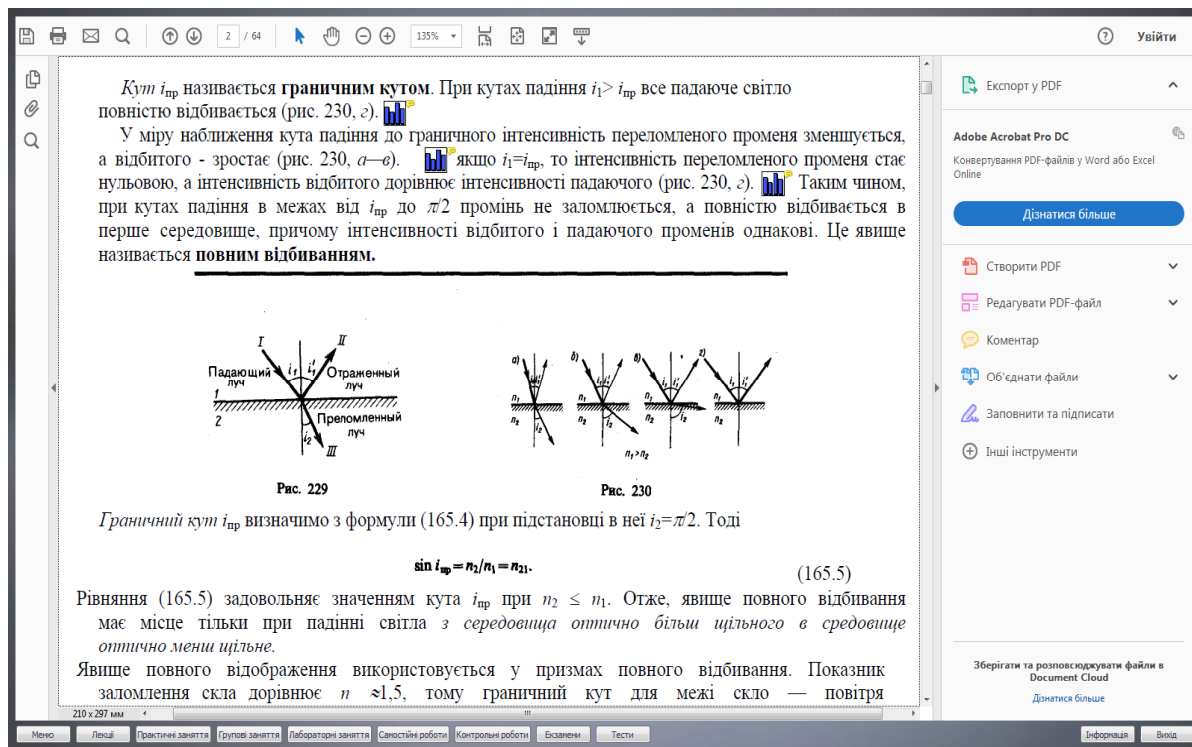


Рис. 4. Демонстрація інструментів управління книгою

6. Архітектура програмного забезпечення навчально-методичного комплексу з фізики передбачає можливість оновлення його матеріалів (текстового наповнення, рисунків, таблиць, ілюстрацій, тривимірних моделей та тестів) та зміни структури подання матеріалів.

7. Використання розроблених інтерактивних тривимірних моделей фізичних явищ дозволяє підвищити наочність та спростити процес розуміння матеріалу. Моделі дозволяють спостерігати фізичні явища в тривимірному просторі, маніпулювати ними за допомогою курсору та змінювати параметри моделі.

8. Для контролю та оцінювання знань використовуються зовнішні системи тестування, що викликаються з головного меню програми. Для прикладу обрано систему MyTestX (рис. 5).

Висновки

Таким чином, розроблено електронний навчально-методичний комплекс з фізики для вищих

військових навчальних закладів засобами C++/Qt. Даний комплекс дозволить вивести навчальний процес на новий рівень за рахунок реалізації сучасного підходу до процесу вивчення дисципліни.

Комплекс відповідає вимогам щодо організації навчально-виховного процесу у вищих військових навчальних закладах.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення структури електронного навчально-методичного комплексу та розробку комплексу інтерактивних тривимірних моделей фізичних явищ.

Список літератури

1. Пометун О.І. Інтерактивні технології навчання: Наук.-метод. посібн. / О.І. Пометун, Л.В. Пироженко. – К.: Видавництво А.С.К., 2004. – 192 с.
2. Триус Ю.В. Комп'ютерно-орієнтовані методичні системи навчання: Монографія / Ю.В. Триус. – Черкаси: Брама - Україна, 2005. – 400 с.
3. Андрійчук А.Б. Електронний навчально-методичний комплекс як сучасний програмний засіб з фізики /

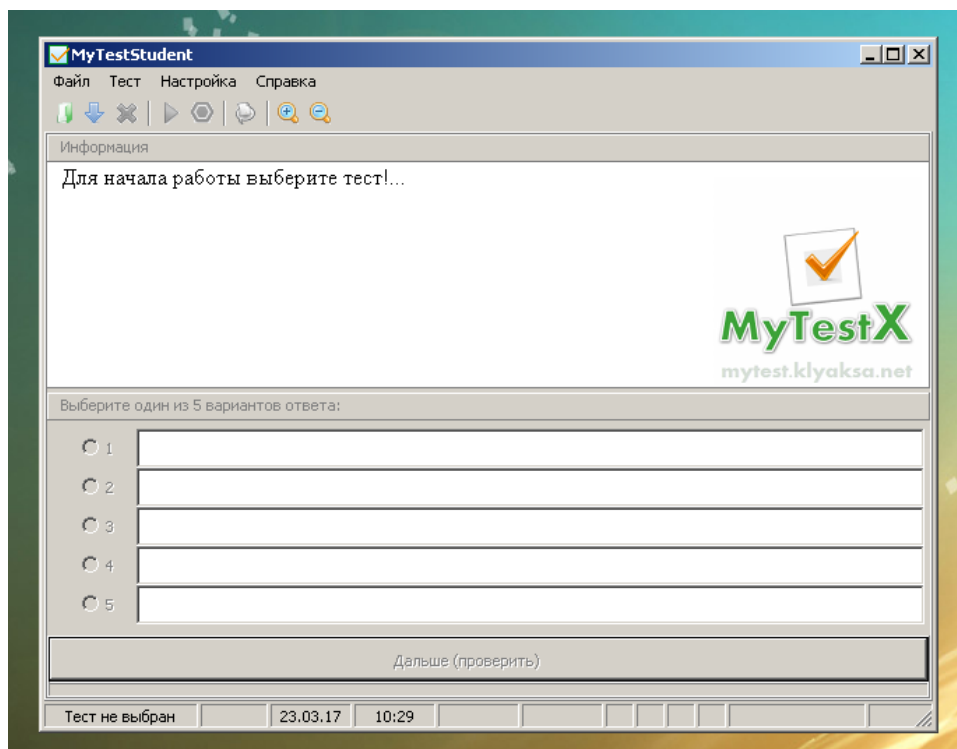


Рис. 5. Интерфейс MyTestX

А.Б. Андрійчук // Наукові записки. – Випуск 108 – Серія Педагогічні науки. Кіровоград: РРВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2012. Частина 2. – С. 165.

4. Андрійчук А.Б. Роль електронного навчально-методичного комплексу з фізики у підготовці фахівців морського профілю/ А.Б. Андрійчук// Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. – Випуск 32: збірник наукових праць/ за ред. проф. В.Д. Сиротюка. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2012. – С. 23-27.

5. Андрійчук А.Б. Структурний аналіз електронного навчально-методичного комплексу з фізики для вищих морських навчальних закладів/ А.Б. Андрійчук // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції "Актуальні проблеми природничо-математичної освіти в середній і вищій школі" (м. Херсон 13-14 вересня). Укладач Шарко В.Д. – Херсон : Грінь Д.С., 2012. – С. 162-164.

6. Біда Д.Д. Інтерактивні уроки фізики / Д.Д. Біда. – Х.: Видавн. Група "Основа", 2005. – Х., 2005. – 112 с.

7. Шарко В.Д. Сучасний урок фізики / В.Д. Шарко. – К.: ТОВ "Фірма-Есе", 2005. – 220 с.

8. Прата С. Язык программирования C++. Лекции и упражнения. 6-е изд. / С. Прата. – ООО "И.Д. Вильямс", 2012. – 1248 с.

9. Макс Ш. QT 5.3 Профессиональное программирование на C++ / Ш. Макс. – М.: СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 928 с.

10. C++. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B>. – 22.10.2016.

Надійшла до редколегії 14.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ВЫСШИХ ВОЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СРЕДСТВАМИ C++/QT

А.А. Москаленко, Г.В. Сокол, Ю.В. Глуховец, В.В. Варич

В работе рассмотрены вопросы использования электронных учебно-методических комплексов, как интерактивной технологии компьютерно-ориентированного обучения физике будущих военных специалистов. Предложена структура и разработано программное обеспечение электронного учебно-методического комплекса по физике для высших военных учебных заведений средствами C++/Qt.

Ключевые слова: электронный учебно-методический комплекс, физика, высшие военные учебные заведения, C++/Qt.

ELECTRONIC EDUCATIONAL AND METHODOICAL COMPLEX WITH PHYSICS FOR HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS USING C++/QT

A.O. Moskalenko, H.V. Sokol, Yu.V. Hlukhovets, V.V. Varych

The paper addresses the use of electronic teaching methods, such as an interactive technology for computer-oriented training in physics for future military specialists. It introduces the structure and the software of the electronic teaching methods in physics for higher military educational institutions by means of C++/Qt.

Keywords: electronic teaching methods, physics, higher military educational institutions, C++/Qt.

UDC 004.728:519.87

Mohammed Amin Salih

Salahaddin university- Erbil,

College of Engineering, Kirkuk road, 44001, Kurdistan Region-Iraq,

amin.mohammed@su.edu.krd

IMPROVEMENT OF AN ENERGY BALANCE METHOD OF LEACH BASED ON GENETIC ALGORITHM

In most implementations of wireless sensor networks fixed stations used to distribute information, but it leads to high-speed energy consumption by sensors which around and also the sensors are located on high-traffic routes lose their energy. So that after some period of time network environment will be fragmented. Therefore, the use of mobile stations in Wireless Sensor Network (WSN), advantage energy balance consumption among all sensors in providing a coverage area. It will be causing to increase the lifetime of the sensors and ultimately prolonged network lifetime. This paper proposes a new improved algorithm of LEACH protocol (LEACH-TLCH) which is intended to balance the energy consumption of the entire network and extend the life of the network. The new algorithm is emulated by Opnet simulation platform; the simulation results indicate that both energy efficiency and the lifetime of the network are improved.

Keywords: energy consumption, LEACH protocol, network lifetime, genetic algorithm, Opnet simulation.

Introduction and problem statement

LEACH Protocol is a typical representative of hierarchical routing protocols [1]. It is self-adaptive and self-organized. In this work, by the environmental monitoring of sensors and their locations, each will be evaluated with useful data and will be used. Otherwise, the sensor which is not having sensing data will not participate in the network lifecycle and energy consumption. Now, if in WSN use more mobile stations, the higher efficiency of the method will be reached. Therefore, several mobile stations at the same time monitoring the environment and they will choose the most appropriate sensors to communicate and transfer data through to the target mobile station. That station with higher load sensing will be selected for data distribution. In this work proposal method of data distribution with the mobile station will be explained. The genetic algorithm used to choose the most appropriate mobile station and data distribution.

1. Description of LEACH algorithm

In WSN, LEACH protocol can save network energy greatly compared with the non-cluster routing algorithm [2, 12-15]. Many other clustering algorithms are proposed based on LEACH, such as TEEN (Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol) [3], PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) [4], HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering) [5] and so on. The design of an energy-efficient routing protocol for WSNs requires a detailed insight into algorithm design and energy management strategies. This section describes the LEACH algorithm using the network that has the following characteristics [6-10]:

- All the sensors had the same size, limited energy and distributed in a square area.
- Mobile stations are monitoring periodically with random moving.
- The mobile station has unlimited energy.
- Position and profile of sensor nodes are fixed.
- Sensors can be regular their transmitter power.

Each time when any change of stations location or pause happened implementation, data processing and dissemination are doing. Considering the above parameters for the network process of data distribution with mobile node will be explained.

In the first phase - detection covered sensors by each mobile station. After setting up the network and sensors, the mobile stations that entered to the environment should be identified itself to the sensor of the network.

Station:	<table><tr><td>Station Number</td><td colspan="3">Location address of station</td></tr></table>			Station Number	Location address of station		
Station Number	Location address of station						
Replying Message by Sensor:	Sensor nodes number	Location addresses of sensor	Level of the sensor energy				

Figure 1. The structure of sending by station and replying message by sensor

According to the data of each of the covered sensors, which shows its active or passive of sensing operation, record the value for it, a value of 0 for passive sensor and 1 for the sensor which actively sends data. Therefore, there will be a table for each of the mobile stations, which each sensor has one of this two parameter 0 or 1.

The second phase is the determination of the most appropriate mobile station.

2. Parameterized problem with genetic algorithms

In this work, an optimization method based on genetic algorithm will be discussed. The intended purpose is the increasing operational speed and prolonged network lifetime. This section describes and analyses the performance of this algorithm, as the main issue which is the selection of best node for transmission. Before the implementation of the algorithm some assumptions should be made:

First assumption:

Determine the structure of chromosomes, according to the wireless sensor network. Genetic algorithm starts to solve a problem with a series of random answers which called Population. The Population made up of the number of chromosomes, and each chromosome contains genes, the genes can be binary numbers. Now, to determine the initial population in wireless sensor networks assumed: Sensors within the network were developed in different places at random considered as genes, and mobile stations are being monitored environment we identified as chromosomes. This determination of parameter can be set and design environment based on genetic algorithm. After the main two parameters have been determined, one can go to the next process through the algorithm.

The second assumption - set target function:

The aim of this project is the selection of the most appropriate published stations. The function should be considered to help to choose the most appropriate, so parameter will be considered for selecting chromosomes. The best selection is to choose the most appropriate station which has the most active sensors. By this way, the transfer speed increased, and the energy consumption of the network will reduce. Parameters and objective function to determine the propriety can be expressed as follows:

$$\text{fitnees}_j = \sum_{i \in N} ((p_{ij} + a + e_i) - m_i) * y_{ij}, \quad (1)$$

where y_{ij} – if the i -sensor in j -station is enabled, a value of 1, otherwise a value of 0 will be considered (this parameter in the mobile station table (chromosomes) showing that the sensor (gene) is enabled. (Figure 2); e_i – energy consumption by i -th sensor; p_{ij} is a cost of the i -th sensor to the j -th mobile station; a – is an energy required to power a sensor and m_i is a remaining energy of its sensor.

According to the equation of target function as a number of sensors to be more active in the desired station fitness function will be larger and therefore more chance to be also selected.

Sink 1-

$>N9=0, N7=0, N6=9, N5=0, N4=0, N3=0, N2=1, N1=0;$

Sink2-

$>N34=0, N40=1, N35=0, N36=1, N37=0, N38=1, N39=1, N8=0;$

Sink3-

$>N16=0, N15=0, N14=0, N13=0, N12=0, N11=1, N10=0;$

Sink4-

$>N33=0, N32=0, N31=1, N30=1, N29=0, N28=0, N27=1, N26=1, N25=0;$

Sink5-

$>N17=1, N24=0, N23=0, N21=0, N22=1, N20=0, N18=0.$

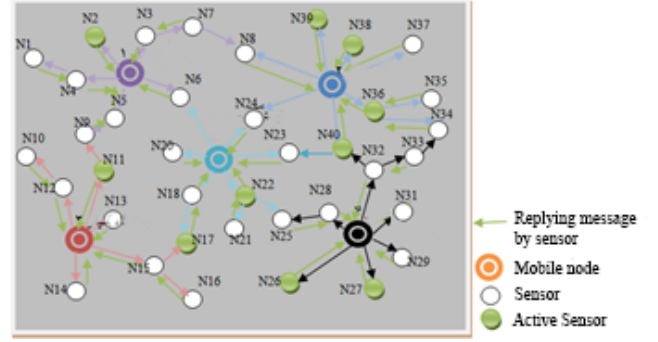


Figure 2. Identifying coverage sensor and creating binary tables of each station

Using the formula to calculate the objective function was introduced, the fitness of each mobile station can be obtained. The next step algorithm will benefit from it.

The third assumption - Selection:

Once in a generation, an individual is selected, it means that this person deserves to reproduce, or direct participation in the next generation will be. Depending on the conditions governing selection has a variety style and techniques. So after determining the fitness function for each mobile station, turn to choose the best station of derived functions, is to transmit information. Genetic algorithms are several ways to select the most appropriate target. This implementation of the method used Roulette Wheel Selection.

The performance of this method is that the probability of a hypothesis h_i for using in the next population depends on the ratio of its fitness to fitness of other members. That is:

$$P(h_i) = \text{fitnees}(h_i) / \sum_j \text{fitnees}(h_j) \quad (2)$$

The hypothesis is more likely to choose the most appropriate. This possibility it also fits with the hypothesis other than the opposite. In this method distance from zero to fitness, the collection will be taken into account, next the value of fitnesses is placed side by side on a such a distance that the distance of each is equal to its fitness. Hence, circumference is the sum of all fitness of intended mobile stations and the proportion of each of the mobile stations considered as a sector. The wheel is spun N times, where N is the number of stations. At every turn, these mobile

stations wheel marker is selected and placed in the tank of next generation parents.

Therefore, the selection should be such, that selected station increase prolonged network lifetime and its productivity must be used for the next steps.

The fourth assumption - cutting (Crossover):

After the selection of a genetic algorithm, it is time to integration step. Now two mobile stations donate the number of their sensors to create the next generation. If they do not adjust (sensor does not turn off) as they are with no change will be transferred to the next generation, and the most suitable option will be selected. Crossover grade indicates how often sensors change, and the possibility of implementation will consider $p = 0.5$.

Assuming fifth - mutation:

Mutation is one of the phenomena of genetic science that rarely occur in some chromosomes. The role of mutations in genetic algorithms to restore lost or missing genetic material into the population. To prevent premature convergence algorithm, reach locally optimal solutions. In mutations, a series of gene randomly chosen then zero turns to one and one to zero. In implementing this functionality in wireless sensor networks where the sensor is activated during the run of the publication this process is done, and the desired gene in the chromosome (mobile station) has changed from 0 to 1 or if the cause is off marker gene will change from 1 to 0. The operation will be done taking into account the probability for each gene ($p_{\text{mutation}} = 0.05$).

The sixth assumption - Finish algorithm:

After performing the steps of the algorithm, it is time to finish it; the following conditions should be considered:

Get the final answer in any particular period.

End each period in the specified time.

So, in any specified period for each stage of publication of data, sensors that are not involved different processes of algorithms remained silent, and energy will not consume. Duration of each period identified and achieved according to the network parameters and the type of sensor used in the network. At the end of the algorithm, the lifetime of the network should be considered for the entire periods and depend on the power consumption of each period calculate the total network lifetime. For this operation, regard to the energy of k -th period (E_k) total energy of network will be shown by E_t , the network remaining energy will calculate by the following formula:

$$E_r = E_t - \dots - E_k - 1 - E_1 \quad (3)$$

3. The implementation steps of the algorithm

After parameterization, the problem with genetic algorithms in this section theoretical implementation

will be discussed (Figure 3). For that there are several steps:

Step one - set up a wireless sensor network with a defined field, m mobile station and n sensors which distributed randomly.

The second step - the stations at current location start identified themselves with a broadcasting message to the sensors that around and in their next steps (In each

step the stations make a pause for some time and move at a certain speed and in random order).

Step Three - sensor station in response to the identifying message of the mobile station sends a membership message to a mobile station which closer.

Step Four - after the stations receive messages from the sensors they are as follows: (begin Genetics Algorithm).

The first step of Genetic: create the initial population:

- Each station (chromosomes) makes up a table for itself. Each sensor (gene) if enabled the value of 1 otherwise 0 will consider at their table.

The second step of Genetic: determination of target function:

- According to the following formula for each of the mobile stations a lot of metrics will be considered:

- For each of the mobile stations (chromosomes), one fitness value will be considered.

The third step of Genetic: choose the most suitable mobile station: using the method of roulette wheel choice will be done:

The collect rate of total station and the result shows as u .

- The following steps will be done n times (n number of stations)

- Select a random number(r) between 0 and u .

- The station which completes the limit can be chosen as the selected station.

The fourth and fifth steps of Genetic: mutation Cutting:

If in some period of time sensor turn off or turn on the table indicators change from zero to one or from one to zero, this leads to the new state in a station, which would be a new situation and get back to the period of determination of the objective function.

Finish the algorithm which happens in a case of the outcome the time of period or gets a result and selects the best station.

4. Simulation and Results

After describing the steps of the algorithm in a networked environment and parameterized according to the wireless sensor network, using Opnet [16] to simulate the scenario and following parameters for simulation will be considered:

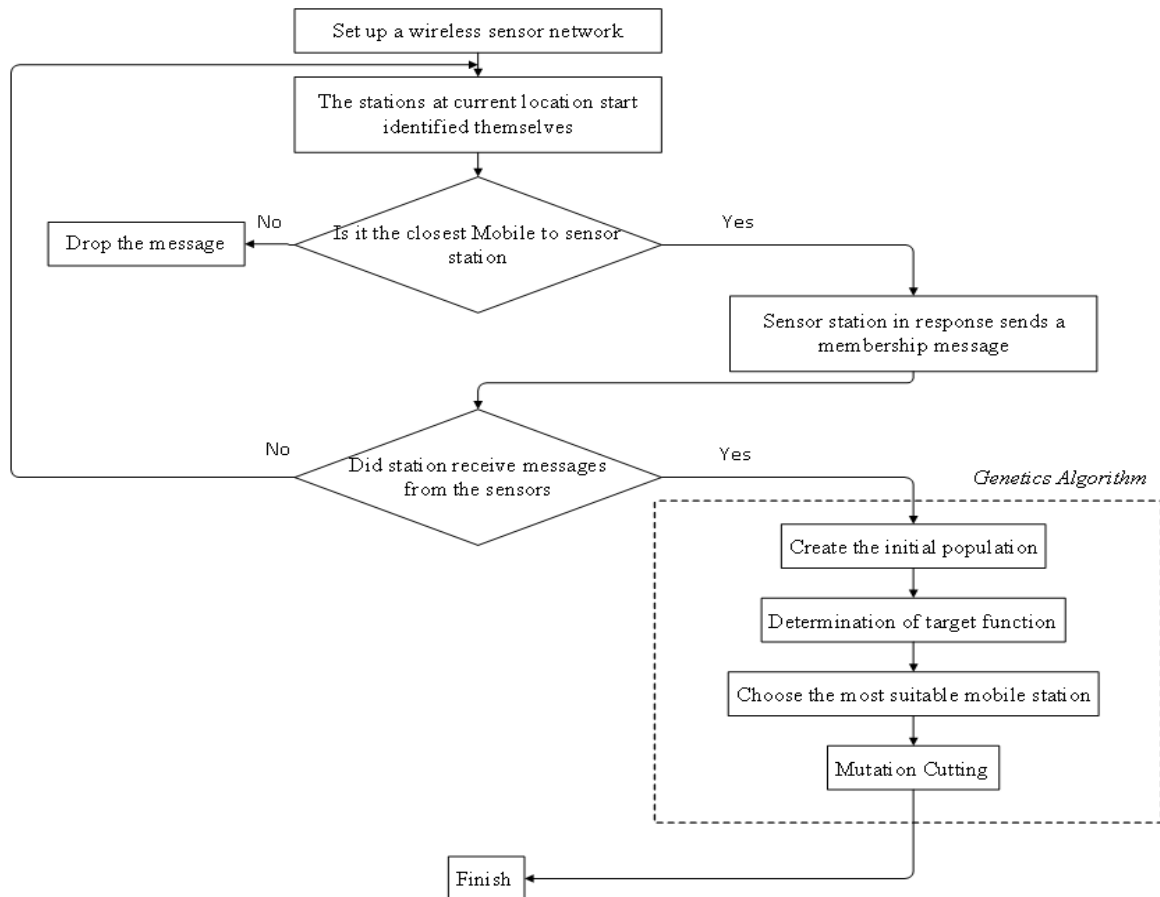


Figure 3. Genetic algorithms for selection of the best appropriate wireless sensor

Scenario: Cartesian network environment in size 100×100 is implemented, and position sensors and stations are integer Cartesian grid. The location of each sensor consists of two parameters that determine the location of the coordinates on the grid, which are placed just randomly.

Mobile stations are in the same way randomly located on the screen every time after running the simulation location will change randomly. In the scenario, there are 5 stations, 100 Sensors and the network size is 200×200 .

Table 1 shows some of the basic parameters which used in the simulation, some of them were presented as a matrix of values in a simulation.

In the first step after the placement of sensors in a networked environment, identify their location on the Cartesian grid which plays the role of the network environment. And their coordinates and distance sensor station checked to determine the desired sensor is belonging to which mobile station in that period of time. So the shortest distance from a sensor to stations is obtained using Euclidean equation.

Table 1

Parameters For Simulation

Parameters	Value	Parameters	Value
Sensor's Energy	$E(40 \times 1)$	Number Of Station	5
The energy required powering the sensor	$A(40 \times 1)$	Number Of Sensors	100
i-th Sensor path cost to j-th destination	$P(40 \times 5)$	Network size	200×200 or 100×100
Number of periods	Maxit=100	The sensor energy	100 j
Number of population in each period	Npop=5	The energy required powering the sensor	10 j
Rate of crossover	Pc=0.8	i-th Sensor path cost to jth destination	100 j
Rate of mutation	Pmu=0.2	Packet size	2000 bit

Table 2 shows a part of the output of this step in the simulation.

Table 2
Coordinates And Distance Sensor Of Sensors

Sensor ID	Coordinates (Cartesian)	The distance between sensor to station in order from 1 to 5	Belonging to Station No. (Assignment)
1	[148,47]	[23.70,25.17,148.62,117.38,70.02]	1
2	[147,195]	[169.29,173.01,140.94,103.23,78.05]	5
3	[174,17]	[38.07,29.42,187.10,157.03,102.83]	2
4	[73,74]	[80.88,81.73,59.57,42.88,19]	4
5	[137,120]	[94.98,32.114.28,71.84,13.34]	5
6	[158,73]	[51.47,52.63,145.77,108.75,44.72]	5
7	[41,17]	[96.42,104.12,112.45,116.70,147.92]	1
8	[155,41]	[23.43,21.47,158.09,126.57,76.16]	2
9	[78,110]	[102.64,110.69,57.87,24.18,72.33]	4
10	[46,129]	[137.44,145.77,23.02,20.09,104.69]	4
11	[97,30]	[40.19,48.66,122.80,105.65,101.87]	1
...
76	[162,150]	[126.49,129.12,140.73,97.86,35.11]	5
77	[24,105]	[137.87,146.73,23.02,49.39,126.57]	3
78	[65,109]	[109.87,118.19,46.09,22.02,85.37]	4
79	[80,83]	[80.61,89.14,72.62,50.77,82]	4
80	[36,51]	[104.04,112.79,78.08,85.44,131.72]	3
81	[4,185]	[207.29,215.52,60.08,82.21,161.05]	3
94	[191,89]	[82.97,81.27,172.46,131.86,49.64]	5
95	[12,174]	[193.72,201.97,47.29,69.02,149.30]	3
96	[126,71]	[46.32,52.55,117.72,84.85,51.88]	1
97	[200,45]	[65.80,59.61,195.49,159.22,87.65]	2
98	[131,121]	[95.18,99.98,108.22,65.76,19.41]	5
99	[77,28]	[60.03,68.26,113.64,103.58,115.10]	1
100	[5,84]	[144.18,153.11,47.53,77.148.70]	3

In another processing matrix for each station, location is considered, concerning the proposed plan in previews section, activation of the sensor will be determined. It can be raised so that:

- The location of each station in each period with specific coordinates on the network.

- A matrix $[1*n]$ that represents the active (1) or inactive (0) of the sensor for that station.

For example, for the first station in this simulation in some period it is considered as follows:

Station (1,1).Cartesian = [137,26]

The distribution of this sensor for the device is shown in figure 4.

As it was shown in Table 4-2, this station has 20 active elements in its coverage area. Thus, mobile stations in each after changing locations and reached to the new coordinate they identify new coverage. And by creating a matrix and use in the next steps.

Now after determining of coverage sensors in each period of the population, it is time to execute the genetic algorithm and select the best station. For each station, we had a chromosome into account in this implementation throws to the same theory, and have assumed the number of chromosomes in the initial population algorithm equal to 5. And so this formula to get the most appropriate, for each of the chromosomes according to the proportional data value earned and will assume separately.

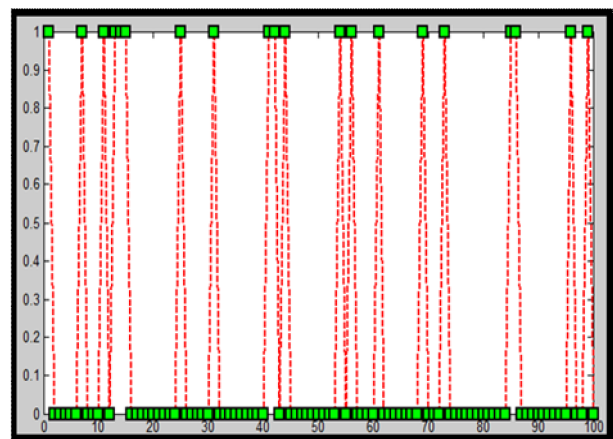


Figure 4. The sensor distribution for the first station

It's taken Implementation of the genetic algorithm for the 100 periods. In these periods at each station, a new location and new cost considered and sensors that belong changed. In each case separately calculate the cost and appropriate cost will be done. After the implementation of the 100 periods, the most appropriate of them will be selected and compared with the results of all periods. So that for each period, some amounts of the best pop will be considered, that it would be the most appropriate genes in each period at the "observed" position. For example, the distribution for the most appropriate chromosome in period seven will be as follows (Figure 5).

As well as sensors for transfer to any station within a particular period can be seen in the best pop in into assigned, which by using a matrix number of

station and number of allocation sensor specified. For example, this can be seen in a period 20.

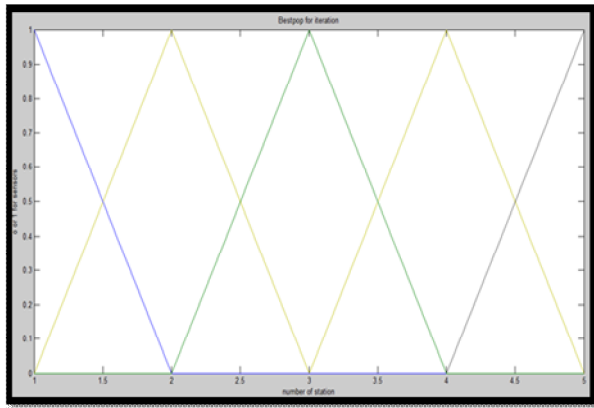


Figure 5. The distribution for the most appropriate chromosome

[1,1],[5,2],[2,3],[4,4],[5,5],[5,6],[1,7],[2,8],[4,9],[4,10],[1,11],[2,12],[1,13],[1,14],[1,15],[3,16],[4,17],[5,18],[5,19],[4,20],[3,21],[3,22],[5,23],[5,24],[1,25],[5,26],[4,27],[3,28],[5,29],[3,30],[1,31],[4,32],[5,33],[3,34],[3,35],[3,36],[3,37],[4,38],[3,39],[5,40],[1,41],[1,42],[5,43],[1,44],[3,45],[2,46],[4,47],[3,48],[4,49],[4,50],[3,51],[3,52],[5,53],[1,54],[4,55],[1,56],[4,57],[4,58],[4,59],[4,60],[1,61],[4,62],[5,63],[5,64],[4,65],[5,66],[2,67],[5,68],[1,69],[2,70],[3,71],[5,72],[1,73],[5,74],[2,75],[5,76],[3,77],[4,78],[4,79],[3,80],[3,81],[5,82],[3,83],[5,84],[1,85],[1,86],[3,87],[5,88],[5,89],[4,90],[4,91],[5,92],[4,93],[5,94],[3,95],[1,96],[2,97],[5,98],[1,99],[3,100].

Where each row includes a vector in which the second verse of each vector represents the number of sensors and the first element of the vector display and the station number assigned to it. For example, [2,12] indicates that sensor. 12 is assigned to Station 2. In each period depending on the population that is created, there is the possibility of mutation and composition which led to the creation of new child chromosomes. These new chromosomes can be more appropriate for selecting. Thus, the time period increased or the number of searching attempt for selecting. For example, to display station number 2 in period 20, for a given sensors 150 possible permutations intended that vary depending on the mutation and composition for each chromosome. The following chart shows the distribution of these sensors at station number 2 in period 20 (Figure 6).

Thus, for each of these chromosomes, a combination value is considered, which led to the creation or non-creation of a combination of desired chromosomes. Figure 7 represents the combination in period 20 for station 2.

In determining the most appropriate chromosome in each period, one of the parameters which determine

the suitability of chromosomes is select as cost. With shows in cost portion of the bestpop menu.

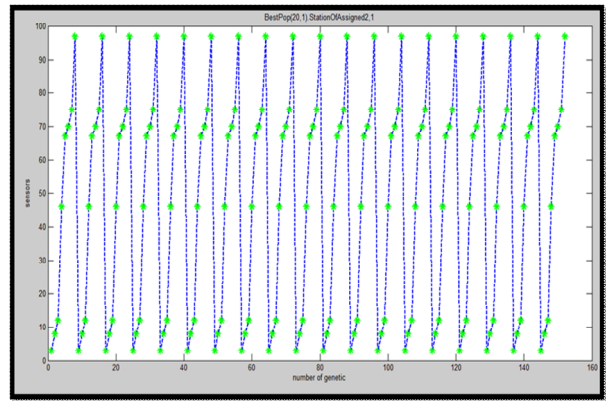


Figure 6. Distribution of the sensors at the station number 2

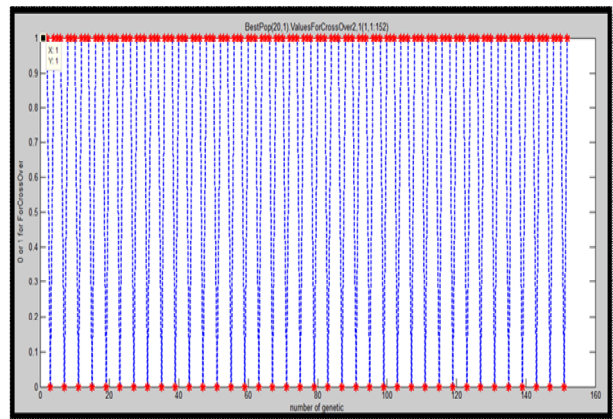


Figure 7. Combination value in period 20 for the station number 2

Conclusions

In most implementations of WSN fixed stations used to distribute information, but it leads to high-speed energy consumption by sensors which around and also the sensors are located on high-traffic routes lose their energy.

To increase the lifetime of the sensors and ultimately prolonged network lifetime proposed the method, in which using wireless sensors to distribute information. The proposed method is based on genetic algorithm for selection of the best appropriate wireless sensor. In this way, firstly parameterized problem with genetic algorithms had been done. After that theoretical implementation had been discussed.

The result shows the process of determining the most appropriate chromosome in each period. For example, for the period number 20, [19,44] was the most appropriate choice cost. By this way, instead of using fixed stations, the most appropriate wireless sensor (chromosome) used to distribute information, and it will be causing to increase the lifetime of the sensors and ultimately prolonged network lifetime.

References

1. Tyagi S, Kumar N. A systematic review on clustering and routing techniques based upon LEACH protocol for wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2013 Mar 31;36(2):623-45.
2. N. Saini and J. Singh, "A survey: hierarchical routing protocols in Wireless Sensor Networks", *Global Journal of Computer Science and Technology (E)*, vol. 14, no. 1, pp. 33 – 39, 2014.
3. Parul Khurana and Inderdeep aulakh, "Wireless Sensor Network Routing Protocols: A Survey", *International journal of computer applications*, vol.75, Issue No. 15, 2013.
4. Vibha Nehra and Ajay K. Sharma, "PEGASIS-E: Power Efficient Gathering in Sensor Information System Extended", *Global Journal of Computer Science and Technology Network, Web & Security Volume 13 Issue 15 Version 1.0 Year 2013*
5. Harneet Kour and Ajay K. Sharma. "Hybrid Energy Efficient Distributed Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Network", *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 4 – No.6, July 2010*.
6. Md. Faruqul Islam, Yogesh Kumar, saurabh, "Recent Trends in Energy Efficient Clustering in WSN", *International Journal of Computer Applications*, vol. 95, Issue No.20, pp. 44-48, 2014.
7. Pankaj Chauhan and Tarun Kumar, "Power Optimization in Wireless Sensor Network: A Perspective", *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, vol. 3, issue-5, May 2015.
8. C. Zhang, F. Liu and N. Wu, "A Distributed Energy-efficient Unequal Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", *Int. Journal of Computational Information Systems*, vol. 10, no. 6, (2014) March, pp. 2369-2376
9. Asha Alawat and Vineeta Malik, "An Extended Vice-CH Selection Approach to Improve LEACH Protocol in WSN", *IEEE 3rd International Conference on advance Computing & Communication technologies*, pp.236-240, 2013.
10. Vipin Pal, Yogita, Girdhari Singh, RP.Yadav, "CH Optimization based on Genetic Algorithm to prolong lifetime of WSN", Elsevier: third international conference on recent trends in computing, pp. 1417-1423, 2015.
11. Chunyao FU, Zhifang Jiang, Wei Wang, "An Energy Balanced Algorithm of LEACH Protocol in WSN", *International journal of computer science IJCSI*, vol. 10, issue 1, No. 1, 2013.
12. Ali Jorio, Sanaa El Fkihi, Brahim Elbhiri, and Driss Aboutajdine, "An Energy-Efficient Clustering Routing Algorithm Based on Geographic Position and Residual Energy for Wireless Sensor Network", *Journal of Computer Networks and Communications*, Volume 2015.
13. F. Li and J. Wang, "A Best Clustering Scheme Based on Simulated Annealing Algorithm in Wireless Sensor Networks", *Chinese Journal of Sensous and Actuators*, vol. 24, no. 6, (2011) pp. 900-904.
14. A Razaque, KM. Elleithy, "Energy-efficient boarder node medium access control protocol for wireless sensor networks", *Sensors*, vol. 14, no. 3, pp. 5074-117, Mar. 2014.
15. Agrawal Palak, P. R. Pardhi, "Routing Protocols For WSN", *International Journal Of Computer Science And Applications*, vol. 8, no. 1, 2015.
16. OPNET Technologies Ltd. WWW-page, <http://www.opnet.com>

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ LEACH НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Мохаммад Амін Салех

У більшості реалізацій сучасних безпроводних сенсорних мереж нерухомі вузли використовуються для розподілення інформації, що призводить до збільшеного розходу енергії сенсорами, що пов'язані з такими вузлами, а також сенсорами, що розміщені на маршрутах такого інтенсивного трафіку. Таким чином, через деякий час мереже середовище стане фрагментованим. Отже, використання мобільних станцій в безпроводних сенсорних мережах покращує енергетичний баланс серед усіх сенсорів в зоні обслуговування. Це призводить до збільшення часу життя сенсорів та, в результаті, до пролонгованого часу життя мережі. В статті запропоновано вдосконалений метод для протоколу LEACH (LEACH-TLCH), що дозволяє збалансувати енергоспоживання всієї мережі та збільшити час життя мережі. Моделювання вдосконаленого методу виконано у середовищі Opnet; результати моделювання підтвердили покращені характеристики енергоефективності та часу життя мережі.

Ключевые слова: енергоспоживання, протокол LEACH, час життя мережі, генетичний алгоритм, середовище Opnet.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА LEACH НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Мохаммад Амин Салех

В большинстве реализаций современных беспроводных сенсорных сетей неподвижные узлы используются для распределения информации, что приводит к повышенному расходу энергии сенсорами, связанными с такими узлами, а также сенсорами, расположенными на маршрутах такого интенсивного трафика. Таким образом, через некоторое время сетевая среда станет фрагментированной. Следовательно, использование мобильных станций в беспроводных сенсорных сетях улучшает энергетический баланс среди всех сенсоров в зоне обслуживания. Это приводит к увеличению времени жизни сенсоров и, в итоге, к пролонгированному времени жизни сети. В статье предложен усовершенствованный метод для протокола LEACH (LEACH-TLCH), позволяющий сбалансировать энергопотребление всей сети и увеличить время жизни сети. Моделирование усовершенствованного метода выполнено в среде Opnet; результаты моделирования подтвердили улучшенные характеристики энергоэффективности и времени жизни сети.

Ключевые слова: энергопотребление, протокол LEACH, время жизни сети, генетический алгоритм, среда Opnet.

УДК 536.532

І.В. Рубан¹, В.Г. Худов¹, Р.Г. Худов²¹Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Якість сегментування оптико-електронних зображень має суттєвий вплив на кінцеві результати розпізнавання зображення, що передбачає важливість вибору методу сегментування. У теперішній час запропонована велика кількість критеріїв і показників оцінки якості сегментування (аналітичних, емпіричних, кількісних і якісних). В роботі проведено аналіз відомих показників оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень. Розглядаються показники, для обчислення яких необхідне еталонне сегментоване зображення, та показники оцінки якості без порівняння з еталоном. Зроблено висновок щодо необхідності розробки методики формування оптимального набору показників оцінки якості сегментування зображення, а також способу обчислення узагальненого показника якості на основі отриманого вектору значень показників якості сегментування зображення.

Ключові слова: оптико-електронне зображення, показник якості, сегментування, еталонне зображення, піксель, ознака, клас, помилка, емпірична відстань.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Відомо [1 – 5], що результат обробки зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості методу сегментування зображення. Саме цим зумовлена велика кількість публікацій, які присвячені розробці, модернізації та застосуванню багатьох методів сегментування зображення (оглядові статті [6, 7]). Так, за даними електронної науково-технічної бібліотеки Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) [8] публікації, які включають у назву, анотацію або ключові слова термін image segmentation, розподіляються по роках таким чином:

- 1970-1979 рр. – 11 публікацій;
- 1980-1989 рр. – 314 публікацій;
- 1990-1999 рр. – 3066 публікацій;
- 2000-2010 рр. – 9938 публікацій.

Таким чином, перед розробниками систем обробки зображень стає непроста проблема вибору найбільш адекватних їх задачам методів з множини тих, що запропоновані у відомій літературі. Це, в свою чергу, зумовлює розробку методик та методів оцінки якості сегментування зображень.

Мета статті – проаналізувати основні показники якості сегментування оптико-електронних зображень та зроблено висновок щодо необхідності розробки методики формування оптимального набору показників оцінки якості сегментування зображення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Основні відмінності методів оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень наступні [6]:

- різні набори тестових зображень, які відрізняються як по типу зображення (реальні або синте-

зовані), так і по розміру, кількості, джерелам (оригінальні зображення або зображення з доступних баз даних) і т.і.;

- різні процедури вибору оптимальних параметрів методів обробки;

- різні критерії оцінки якості сегментування (кількісні або якісні; ті, що використовують еталонні сегментовані зображення або ні).

Основні методики сегментування зображень поділяються на [6, 9]:

1. Суб'єктивні.
2. Об'єктивні.
 - 2.1. Системні.
 - 2.2. Прямі.
 - 2.2.1. Аналітичні.
 - 2.2.2. Емпіричні.
 - 2.2.2.1. Контрольовані.
 - 2.2.2.2. Неконтрольовані (автоматичні).

Одним з ключових елементів методики порівняльного тестування є критерій оцінки якості сегментування зображення. На теперішній час основні критерії і показники розроблені для двох основних підходів до сегментування зображення [6]:

- 1) розділення зображення контурами на області зі схожими характеристиками (в англійській термінології – edge-based methods (boundary-based, contour-based));

- 2) об'єднання пікселів зображення в групи на основі близькості деяких кількісних ознак (region-based methods).

Для оцінки результатів роботи методів першої групи використовуються, в основному критерії і показники такі ж самі, що і для детекторів границь (такі показники наведені в [10]). Критерії оцінки якості методів сегментування зображення, що відносяться до другої групи наведені в [6].

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Основними ознаками якісного сегментування є [3, 11]: однорідність області по характеристикам (в першу чергу, по кольору та текстурі); відмінність значень обраних характеристик для суміжних областей зображення; гладкість границь кожного сегменту зображення; незначна кількість «дірок» у сегменті.

По відповідності указаним ознакам і класифікуються відомі показники якості сегментування зображення.

1. Перша група – це показники, які засновані на порівнянні з еталонним сегментуванням.

1.1. Кількість пікселів, що віднесені при сегментуванні не до свого сегменту. Оцінюється шляхом побудови матриці неточності (табл. 1) [6]. Стовбці матриці відповідають класу, до якого пікселі дійсно належать, а строки – класу, до якого пікселі віднесені при сегментуванні. Таким чином, правильно класифіковані пікселі відносяться до елементів матриці, що знаходяться на головній діагоналі, неправильно класифіковані – до всіх інших елементів матриці [6].

Таблиця 1
Приклад матриці неточності [6]

	BK	PA	RD	CY	NU	Total
BK	909	2		2		913
PA						
RD			111	10		121
CY	37	3	67	802	1	910
NU				87	419	506
Total	946	5	178	901	420	

Показники, що використовуються при цьому, наступні. Перший – процентне відношення неправильно класифікованих пікселів даного k -го класу до загальної кількості пікселів цього класу на еталонному зображенні (вираз (1)):

$$M_1^k = 100 \cdot \left(\sum_{i=1}^n C_{ik} - C_{kk} \right) / \sum_{i=1}^n C_{ik}, \quad (1)$$

де n – кількість класів; C_{kk} – кількість правильно класифікованих пікселів k -го класу; $\sum_{i=1}^n C_{ik}$ – кількість пікселів, що дійсно належать до k -го класу.

Другий показник – це процентне відношення пікселів, що помилково віднесені до k -го класу до загальної кількості пікселів других класів на еталонному зображенні (вираз (2)):

$$M_2^k = 100 \times \left(\left(\sum_{i=1}^n C_{ki} \right) - C_{kk} \right) / \left(\left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n C_{ik} \right) - \sum_{i=1}^n C_{ik} \right), \quad (2)$$

де кількість пікселів, що віднесені до k -го класу – це $\sum_{i=1}^n C_{ki}$; $\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n C_{ik}$ – загальна кількість пікселів на

зображенні k -го класу; C_{kk} – кількість правильно класифікованих пікселів k -го класу; $\sum_{i=1}^n C_{ik}$ – кількість пікселів, що дійсно належать до k -го класу.

Третій показник – імовірність помилки сегментування $p(\text{err})$. Імовірність того, що піксель вихідного зображення буде віднесений на сегментованому зображенні до об'єкту $p_s(o)$ дорівнює:

$$p_s(o) = p(o)p(o/o) + p(b)p(o/b), \quad (3)$$

де $p(o)$, $p(b)$ – імовірності того, що випадковим образом обраний піксель вихідного зображення належить об'єкту або фону, при цьому $p(o) + p(b) = 1$; $p(o/o)$ – імовірність того, що піксель, що належить об'єкту, при сегментуванні також буде віднесений до об'єкту; $p(o/b)$ – імовірність того, що піксель, що належить фону, при сегментуванні буде помилково віднесений до об'єкту.

Імовірність того, що піксель вихідного зображення буде віднесений на сегментованому зображенні до фону $p_s(b)$ може бути представлена так:

$$p_s(b) = p(b)p(b/b) + p(o)p(b/o), \quad (4)$$

де $p(b/b)$ – імовірність того, що піксель, що належить фону, при сегментуванні також буде віднесений до фону; $p(b/o)$ – імовірність того, що піксель, що належить об'єкту, при сегментуванні буде помилково віднесений до фону. Імовірність $p(\text{err})$ така:

$$p(\text{err}) = p(o)p(b/o) + p(b)p(o/b). \quad (5)$$

В [6] наведено ще декілька узагальнень показника (5) на випадок довільної кількості сегментів.

1.2. Показники, що характеризують неправильне місце розташування класифікованих пікселів. Перший показник – ε :

$$\varepsilon = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^N d_i^2} / A \right) \cdot 100, \quad (6)$$

де N – кількість помилково класифікованих пікселів; A – загальна кількість пікселів на зображенні; d_i – евклідова відстань між i -м помилково класифікованим пікселем, що дійсно відноситься до даного класу. Інтервал значень, що приймає ε : від 0 (при ідеальному сегментуванні) до ε_{\max} , яке залежить від розмірності зображення n , та розраховується для квадратного зображення розміром $(n \times n)$:

$$\varepsilon_{\max} = 100 \sqrt{\frac{7}{6} - \frac{3}{2n} + \frac{1}{3n^2}}, \text{ якщо } n - \text{чільне};$$

$$\varepsilon_{\max} = 100 \sqrt{\frac{7}{6} - \frac{3}{2n} - \frac{1}{6n^2} + \frac{1}{2n^2}}, \text{ інакше.} \quad (7)$$

Другий показник – FOM (figure of merit) [6] – емпірична відстань даного пікселя від його дійсного розташування. Існують дві різновиди показника FOM:

$$FOM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + \gamma d_i^2}, \quad (8)$$

$$FOM_1 = \begin{cases} \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + \gamma d_i^2}, & N_e > 0 \\ 1, & N_e = 0. \end{cases} \quad (9)$$

де N - кількість пікселів на зображенні; d_i - відстань i -го пікселя зображення до найближчого пікселя, що віднесений до того ж класу на еталонному зображенні; γ - масштабний множник; N_e - помилково класифіковані пікселі. Існують ще декілька емпіричних показників якості сегментування зображення, наприклад, - показник Хаусдорфа:

$$\text{Hausdorff}(I_t, I_s) = \max(h(I_t, I_s), h(I_s, I_t)), \quad (10)$$

де I_t, I_s - множини пікселів різних областей; $h(I_s, I_t)$ - відстань між відповідними областями;

$$h(I_t, I_s) = \max_{t_i \in I_t} \min_{s_i \in I_s} \|t_i - s_i\|. \quad (11)$$

Якщо $h(I_t, I_s) = d$, то це означає що всі пікселі множини I_t знаходяться не далі, ніж на відстані d від множини пікселів I_s .

Використовують також показники:

- RMS (root mean squared error) – середньоквадратична похибка (вираз (12)):

$$\text{RMS}(I_1, I_2) = \left[\frac{1}{\text{card}(X)} \sum_{x \in X} (I_1(x) - I_2(x))^2 \right]^{1/2}, \quad (12)$$

де $\text{card}(X)$ - кількість пікселів в множині X ; $I_i(x)$ - інтенсивність пікселя x в I_i ; X - множина пікселів на сегментованому зображенні;

- показник Баддели (вираз (13)):

$$\text{Baddeley}(I_1, I_2) = \left[\sum_{x \in X} |d(x, I_1) - d(x, I_2)|^p / \text{card}(X) \right]^{1/p}, \quad (13)$$

де $d(x, I) = \min_{y \in I} d(x, y)$; $p \geq 1$,

та інші. Показники за виразами (8)-(13) також називають супервізорними показниками оцінки якості сегментування зображення [12].

1.3. Показники, що характеризують ступінь фрагментації зображення (вираз (14)):

$$\text{FRAG} = 1 / \left(1 + |\alpha(n_R - n_1)|^\beta \right), \quad (14)$$

де n_R - кількість сегментів на сегментованому зображенні; n_1 - кількість сегментів на еталонному зображенні; α, β - масштабні коефіцієнти.

1.4. Показники, що характеризують значення характеристик вихідного зображення, що використовуються для сегментування (вираз (15)):

$$\text{FOC} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + |\psi(f_i - \mu_j)|^\delta}, \quad (15)$$

де N - кількість пікселів на зображенні; f_i - значення інтенсивності пікселя i вихідного зображення; μ_j - репрезентативне значення інтенсивності j -го сегменту, до i -й піксель був віднесений при сегментуванні; ψ, δ - масштабні параметри.

2. Друга група – показники, які не потребують наявності еталонного сегментування.

2.1. Показник, що враховує однорідність сегментів, який заснований на обчисленні дисперсії величини відповідної ознаки зображення, що використовується для сегментування. Нехай f_i - значення ознаки F в пікселі i . Тоді дисперсія ознаки F для сегменту зображення R_j дорівнює

$$\sigma_j^2 = \sum_{i \in R_j} (f_i - \bar{f}_j)^2 / A_j, \quad (16)$$

де $\bar{f}_j = \sum_{i \in R_j} f_i / A_j$; A_j - площа сегменту R_j .

Міра однорідності області Ω , яка складається з сегментів R_j , визначається виразом (17):

$$U_\Omega = 1 - \sum_{R_j \in \Omega} \frac{w_j \sigma_j^2}{N}, \quad (17)$$

де w_j - вага, що визначає вклад сегменту R_j в U_Ω ;

$N = \sigma_{\max}^2 \sum_{R_j \in \Omega} w_j$ - нормуючий коефіцієнт;

f_{\max}, f_{\min} - максимальне та мінімальне значення ознаки F в області Ω ; $\sigma_{\max}^2 = \frac{1}{2} (f_{\max} - f_{\min})^2$.

2.2. Показник, що враховує контраст між сегментами:

$$c_{ij} = |\bar{f}_i - \bar{f}_j| / (\bar{f}_i + \bar{f}_j), \quad (18)$$

де \bar{f}_i, \bar{f}_j - середні значення ознаки F в сегментах R_i та R_j відповідно.

2.3. Комплексний показник, який, наприклад, враховує як однорідність сегментів, так і їх кількість (вираз (19)):

$$F = \frac{1}{1000N} \sqrt{R} \sum_{i=1}^R \frac{e_i^2}{\sqrt{A_i}}, \quad (19)$$

де N - кількість пікселів на зображенні; R - кількість сегментів; A_i - площа i -го сегмента; e_i - величина, що характеризує ступінь однорідності i -го сегмента.

Однак, наведені вище показники оцінки якості сегментування зображення мають такі недоліки:

- іноді результати сегментування, які є найкращими з точки зору експертів, мають більш високий відсоток помилково класифікованих пікселів;

- не враховується розташування помилкових пікселів відносно відповідного сегменту – тому по-

милка на границі та помилка в центрі сегменту повинні штрафуватися по різному;

- не враховується різниця у важності окремих ділянок зображення для сегментування – помилки для різних сегментів зображення повинні мати різну вагу;

- відсутня інформація по клас пікселів, що вносить найбільшу помилку.

Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, встановлено, що якість методів сегментування впливає велика кількість факторів, тому важко визначити один універсальний показник якості сегментування зображення, який однаково враховує результати всіх методів сегментування. Найбільш перспективним є підхід, який передбачає використання декількох показників для оцінки якості сегментування. При цьому ці показники повинні доповнювати один одного.

Отже, напрямком подальших досліджень є розробка методики формування оптимального набору показників оцінки якості сегментування зображення, а також способу обчислення узагальненого показника якості на основі отриманого вектору значень показників якості сегментування зображення.

Список літератури

1. Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UVS) / Башинский В.Г., Бзот В.Б. и др. / Монография. – Запорожье: Мотор-Сич, 2014. – 261 с.
2. Застосування БпЛА в конфліктах сучасності / Під ред. С.П. Мосова. – К.: 2013. – 248 с.
3. Барталев С.А. Анализ возможностей применения методов сегментации спутниковых изображений для выявления изменений в лесах / С.А. Барталев, Т.С. Ховра-

тович // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т. 8, № 1. – С. 44-62.

4. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 09.03.05 / Смеляков Кирилл Сергеевич – Харьков, 2005. – 162 с.

5. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Н.Н.Красильников. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.

6. Критерии оценки качества сегментации изображений / А.В. Захаров, П.П. Кольцов, Н.В. Котович и др. // Труды НИИСИ РАН, 2012. – Том 2, № 2. – С. 87-99.

7. Методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида, особенности их применения и перспективы развития / К.С. Смеляков, И.А. Романенко, И.В. Рубан, Н.И. Кириллова, О.В. Шитова // Збірник наукових праць ХУПС, 2010. – Вип. 2 (24). – С. 92-97.

8. <http://ieeexplore.ieee.org>.

9. Zhang H. Image segmentation evaluation: A survey of unsupervised methods / H. Zhang, J.E. Fritts, S.A. Goldman // Computer Vision and Image Understanding, 2008. – Vol. 110, issue 2. – P. 260-280.

10. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ / А.В. Захаров и др. // Труды НИИСИ РАН, 2012. – Том 2. - № 1. – С. 4-13.

11. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // Системи обробки інформації, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77-80.

12. Леваикина А.О. Исследование супервизорных критериев оценки качества сегментации изображений / А.О.Леваикина, С.В.Поринев // Известия ТПУ, 2008. – Т. 313, № 5. – С. 28-33.

Надійшла до редколегії 9.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С.Васюта, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СЕГМЕНТАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

І.В. Рубан, В.Г. Худов, Р.Г. Худов

Качество сегментации оптико-электронных изображений существенно влияет на конечный результат распознавания изображения, что предусматривает важность выбора метода сегментации. В настоящее время предложено большое количество критериев и показателей оценки качества сегментации (аналитических, эмпирических, количественных и качественных). В работе проведено анализ известных показателей оценки качества сегментации оптико-электронных изображений. Рассматриваются показатели, для вычисления которых необходимо сегментированное эталонное изображение, и показатели оценки качества без сравнения с эталоном. Сделан вывод о необходимости разработки методики формирования оптимального набора показателей оценки качества сегментации изображения, а также способа вычисления обобщенного показателя качества на основе полученного вектора значений показателей качества сегментации изображения.

Ключевые слова: оптико-электронное изображение, показатель качества, сегментация, эталонное изображение, пиксель, признак, класс, ошибка, эмпирическое расстояние.

INDICATORS OF THE QUALITY OF SEGMENTATION OF OPTICAL-ELECTRONIC IMAGES

I.V. Ruban, V.G. Khudov, R.G. Khudov

The quality of the segmentation of optic-electronic images significantly influences the final result of image recognition, which implies the importance of choosing the segmentation method. Currently, a large number of criteria and indicators for assessing the quality of segmentation (analytical, empirical, quantitative and qualitative) have been proposed. In the work, an analysis is made of known indexes for assessing the quality of segmentation of optic-electronic images. We consider indicators for the calculation of which a segmented reference image is necessary, and quality indicators without comparison with the standard. It was concluded that it is necessary to develop a methodology for the formation of an optimal set of indicators for assessing the quality of image segmentation, as well as a method for calculating the generalized quality index based on the obtained vector of the quality values of image segmentation.

Keywords: optic-electronic image, quality index, segmentation, reference image, pixel, feature, class, error, empirical distance.

МОДЕЛИ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ТРЕНИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ПО КОМПЬЮТЕРНЫМ СЕТЯМ

Эволюционное развитие компьютерных сетей приводит к необходимости обеспечения постоянного контроля степени эффективности их использования. Как следствие – повышаются требования к уровню понимания процессов функционирования сетей. Необходимый уровень квалификации можно достичь с помощью систем тренинга. Основу и наполнение таких систем составляют методологические блоки метаданных, описывающих технологические аспекты функционирования сетей. Такими метаданными могут быть группы, содержащие модели и аналитические задачи. В статье предлагается блочная структура групп и примеры сформированных типовых блоков. Все предложенные результаты получили апробацию в рамках университетской подготовки студентов.

Ключевые слова: компьютерные сети, анализ состояния компьютерных сетей, тренинговые системы.

Введение

Актуальность решения задач, связанных с анализом состояния компьютерной сети и степени эффективности их использования, несомненна. Компьютерные сети развиваются и эволюционируют. Сегодня даже домашние сети становятся по сложности, как сети малых офисов. Корпоративные сети становятся все более сложными, включая в себя облачные технологии. А сами облачные ресурсы позволяют формировать виртуальные сети любой степени сложности с динамически изменяемой структурой ресурсных узлов. Во всех этих условиях остаются задачи анализа состояния сети, своевременного выявления неисправностей, предсказания возникновения отказов или снижения эффективности использования ресурсов [1, 2]. Как следствие – повышаются требования к уровню понимания процессов функционирования сетей. Как указывалось, в [2], это актуально для широкой группы специалистов и, особенно, для администратора сети.

Как показано в фундаментальных работах [3, 4, 5], необходимый уровень квалификации можно достичь с помощью различных систем тренинга. Основу и наполнение этих систем составляют методологические блоки метаданных, описывающих технологические аспекты функционирования сетей. Такими метаданными могут быть блоки модели и аналитические задачи. Сложность состоит в наполнении систем моделями и задачами. Модели плохо формализованы, а задачи разрознены. Учебники [3 – 5] содержат большой список задач и примеров, требующих соответствующей систематизации. Большая часть задач относится к оценке качества трафика компьютерной сети. В этой связи полезными оказываются работы [6 – 8].

Цель статьи состоит в разработке комплекса моделей и аналитических задач по компьютерным сетям и сетевым технологиям, которые могут быть использованы в тренинговых системах.

1. Концептуальные положения формирования структуры системы

Для проведения тренинга, прежде всего, необходимо определиться с наборами основных показателей. Как показали исследования и результаты работ [3, 6, 7], эта задача сводится к определению характера изменения значений трех показателей: пропускной способности в битах в секунду (C_e), пропускной способности в кадрах в секунду (C_{ef}), времени передачи определенного объема данных (T_t).

Все модели и задачи можно представить в виде некоторой групповой-блочной структуры:

- группа простых задач, ориентированных на простые условия передачи данных;
- группа задач для условий передачи данных последовательностью пакетов с подтверждением и передачи окнами;
- группа задач для условий передачи при наличии потерь пакетов;
- группа задач при условии потоковой передачи.

Каждая группа состоит из трех блоков: графическая интерпретация, модели, типовые задачи.

Такое представление задач позволяет сформировать метаданные описания каждого блока и построить справочную аналитическую систему.

2. Модели для тренинговых систем

Приведем примеры для выборочных групп. **Группа «Условия передачи с подтверждением».**

Блок 1. Графическая интерпретация.

Диаграммы, поясняющие процесс передачи, представлены на рис. 1, а, б.

Блок 2. Основные математические модели.

К основным моделям относим:

$C_e = f(L_0, \tau_F, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, M, Sw)$, где M – тип подтверждения (SAW, GBN, SR), Sw – размер окна.

$C_{ef} = f(L_0, \tau_F, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, M, Sw)$,

$T_t = f(L_0, \tau_F, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, M, Sw)$;

$RTT = f(L_0, \tau_F, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, M, Sw)$

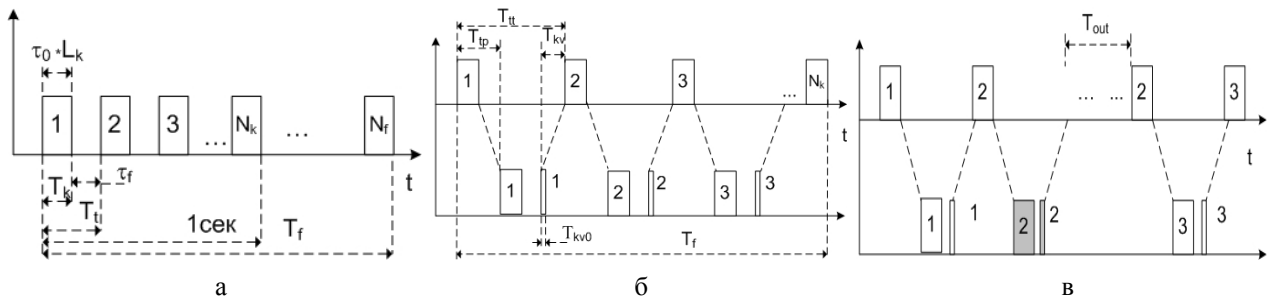


Рис. 1. Диаграммы передачи данных: а – общая;
б – с учетом подтверждения по методу SAW; в – в условиях передачи при потерях пакетов»

$t_{out} = f(RTT)$, RTT – Round Tripp Time.

L_0 – размер информационного поля в кадре, τ_f – межкадровый интервал, τ_0 – длительность одного бита, t_w , t_s – время обработки пакета на рабочей станции и сервере.

Дополнительные соотношения:

$$L_{kv} = L_{hmac} + L_{hip} + L_{htcp} + L_{kv0},$$

$$T_{kv0} = C_n * L_{kv},$$

$$T_{kv} = T_{kv0} + t_w + t_s + T_p, (T_p = 0)$$

$$C_r = V_f / T_f$$

$$T_t = T_k + \tau_f$$

$$N_f = V_f / L_0$$

L_{kv} – размер квитанции, L_{hmac} , L_{hip} , L_{htcp} – размеры заголовков MAC, IP, TCP, L_{kv0} – размер информационного для квитанции.

В случае передачи без окон имеем

$$T_{tt} = 2 * t_w + 2 * t_s + T_f + T_{kv},$$

$$T_f = T_{tt} * N_f$$

В условиях передачи окнами имеем

$$N_w = S_w / L_k,$$

$$N_{fk} = N_f / N_w,$$

$$T_{tt} = t_w + t_s + T_t.$$

$$T_f = N_f * T_{tt} + N_{fk} * T_{kv}.$$

Группа «Для условий передачи при потерях пакетов».

Блок 1. Графическая интерпретация.

Диаграммы, поясняющие процесс передачи, представлены на рис. 1, в.

Блок 2. Основные математические модели потерь пакетов.

К основным моделям относим:

$$C_e = f(L_0, \tau_f, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, r, t_{out}),$$

$$C_{ef} = f(L_0, \tau_f, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, r, t_{out}),$$

$$C_r = f(L_0, \tau_f, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, r, t_{out}),$$

$$T_t = f(L_0, \tau_f, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, r, t_{out}).$$

$$Q_e = C_r / C_e = f(L_0, \tau_f, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, r, t_{out})$$

t_{out} – время Time-out, r – уровень ошибок.

Дополнительные соотношения:

$$T_{kv} = T_{kv0} + t_w + t_s + T_p$$

$$T_{tt} = t_w + t_s + t_t + T_{kv} + T_p = 2 * t_w + 2 * t_s + T_t + T_{kv0} + 2 * T_p. (T_p = 0)$$

$$N_f = V_f / L_0$$

$$T_{block} = t_{out} * N_f * r \%.$$

$$T_{fr} = T_{block} + T_{tt}.$$

$$C_r = V_f / T_{fr},$$

$$k = C_e / C_r.$$

$$Q = C_r / C_e = 1/k.$$

3. Задачи для тренинговых систем

Группа «Условия передачи с подтверждением» - Блок 2.

1. Пусть выбрана модель вида

$$C_e = f(L_0, \tau_f, \tau_0, t_w, t_s, t_{kv}, M, S_w).$$

а) Распределить переменные по степени значимости. Пояснить.

б) Какие значения переменных легко изменяются, а какие являются неизменными. Пояснить.

в) Какие диапазоны значений переменных могут быть (область допустимых значений). Пояснить для 100Base-TX.

г) Где в компьютерной системе хранятся эти значения? Пояснить.

2. Составить формулу и построить график:

а) для оценки производительности $C_e = F(t_w)$, где t_w – время обработки данных на рабочей станции, C_e – эффективная пропускная способность (для 100Base-TX, 1000Base-T);

б) для оценки производительности $C_{e1} = F(L_0 | P=UDP)$, $C_{e2} = F(L_0 | P=TCP)$, где L_0 – размер информационного поля кадра, C_e – эффективная пропускная способность, для условий передачи данных без подтверждения (UDP) и с подтверждением (TCP) (для 100Base-TX, 1000Base-T);

в) для оценки производительности $C_{e1} = F(\tau_f | P=UDP)$, $C_{e2} = F(\tau_f | P=TCP)$, где τ_f – время межкадрового интервала, C_e – эффективная пропускная способность (для 100Base-TX, 1000Base-T);

г) для оценки производительности в единицах измерения [число кадров] \ сек: $C_{ef1} = F(L_0 | P=UDP)$, $C_{ef2} = F(L_0 | P=TCP)$, где L_0 – размер информационного поля кадра (для 100Base-TX, 1000Base-T);

д) для технической утилизации канала: $U_e = F(L_0) = (C_e \setminus C_n)$, где L_0 – размер информационного поля кадра (для 100Base-TX, 1000Base-T).

е) для оценки допустимого объема передаваемой базы данных

$$V_f = C_e * T = f(C_e, C_n, L_0 | C_n = 10[Mbps], L_0 = 1000[B]).$$

3. Что более чувствительно для сети: изменение τ_f или t_s ? Почему? (Показать на математических зависимостях). (Для передачи UDP и TCP).

4. Как изменятся характеристики производительности, если в два раза увеличиться межкадровый интервал? Почему? (Показать на математических зависимостях). (Для передачи UDP и TCP).

5. Как изменятся характеристики производительности, если в два раза увеличится время обработки кадра на стороне сервера? Почему? (Показать на математических зависимостях). (Для передачи UDP и TCP).

Группа «Для условий передачи данных при потере пакетов» - Блок 2.

1. Составить формулу и построить график зависимостей, для условий передачи данных без подтверждения (UDP) и с подтверждением (TCP) (для 100Base-TX, 1000Base-T):

а) для оценки производительности
 $C_{e1}=F(r | P=UDP)$, $C_{e2}=F(r | P=TCP)$,

где r – уровень потерь, C_e – эффективная пропускная способность;

б) для оценки производительности
 $C_{e1}=F(t_{out} | P=UDP)$, $C_{e2}=F(t_{out} | P=TCP)$,

где t_{out} – время тайм-аута;

в) для оценки производительности
 $C_{ef1}=F(r | P=UDP)$, $C_{ef2}=F(r_s | P=TCP)$;

г) для оценки производительности
 $C_{ef1}=F(t_{out} | P=UDP)$, $C_{ef2}=F(t_{out} | P=TCP)$;

д) для оценки показателя утилизации
 $k_{e1}=F(r | P=UDP)$;

е) для оценки показателя утилизации
 $k_{e1}=F(t_{out} | P=UDP)$.

2. Почему даже малые значения потерь (r) не желательны в сети? (Показать на математических зависимостях). Построить графики.

4. Анализ использования групповой-блочной структуры

Предложенная концепция формирования метаданных для тренировочных систем позволяет строить гибкие системы с адаптивной подстройкой на уровень квалификации пользователя. Такая структура комплекса позволяет развивать его в любом направлении изучения технологий компьютерных сетей.

Выводы

В статье предлагается базовая структура метаданных для тренировочных систем по компьютерным

сетям. Предложены типовые модели для оценивания показателей качества функционирования сетей и набор типовых аналитических задач.

К научным результатам моно отнести формализованные описания моделей для условий передачи данных с учетом потерь пакетов и механизмов подтверждения правильности передачи и наборы типовых задач.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что они могут быть использованы для формирования специальных тренировочных систем в рамках академических программ подготовки специалистов, для самоподготовки и тестирования.

Продолжение исследований предполагается рассматривать в направлении расширения структуры типовых групп задач и моделей для других условий функционирования компьютерной сети.

Все методологические предложения получили апробацию в рамках университетской подготовки студентов.

Список литературы

1. A. Clemm. *Network Management Fundamentals* \ Cisco Systems, Inc. 2007 – 532 p.
2. M. Burgess. *Principles of Network and System Administration* — 2nd ed. \ John Wiley & Sons Ltd, 2004. - 635 p.
3. Таненбаум Э. С., Уэзеролл Д. *Компьютерные сети. 5-е изд.* \ Издательство: ПИТЕР, СПб, 2013. – 960 с
4. Олифер В., Олифер Н. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд.* \ СПб.: Питер. 2015 – 992 с.
5. W. Stallings. *Data and Computer Communications (10th Edition)* \ Prentice Hall, 2013 – 912 p.
6. M. Sadiku, S. Musa. *Performance Analysis of Computer Networks* \ Springer; 2013- 350 p.
7. R. Srikant *Communication Networks. An Optimization, Control, and Stochastic Networks Perspective/ University of Illinois*, 2014 - 363 p.
8. M. Harchol-Balter. *Performance Modeling and Design of Computer Systems* \ Cambridge, 2013. - 576 p.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Філатов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МОДЕЛІ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ ТРЕНІНГОВОЇ СИСТЕМИ ПО КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

В.І. Сасненко

Пропонується базова структура метаданих для тренінгових систем по комп'ютерних мережах. Запропоновано типові моделі для оцінювання показників якості функціонування мереж і набір типових аналітичних задач. Моделі розглядаються для умов передачі даних з урахуванням втрат пакетів і механізмів підтвердження правильності передачі. Всі рішення отримали апробацію в рамках університетської підготовки.

Ключові слова: комп'ютерні мережі, моделі для комп'ютерних мереж, тренінгові системи.

MODELS AND TASKS FOR A TRAINING SYSTEM ON A COMPUTER NETWORK

V.I. Sayenko

The basic structure of metadata for training systems on computer networks is offered. Typical models for estimating the performance indicators of networks and a set of typical analytical tasks are proposed. The models are considered for data transmission with packet loss and transmission with packet acknowledgement mechanisms. All decisions were approved in the framework of university training.

Keywords: computer network, models for computer network, training system.

УДК 004.724

О.І. Тиртишніков, В.М. Курчанов, М.О. Мавріна, Ю.М. Корж

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОСОБЛИВОСТІ АПАРАТНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ У ТОРОЇДАЛЬНО-РЕШІТЧАСТИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуті особливості апаратної реалізації оптимального покоординатного адаптивного алгоритму маршрутизації повідомлень у тороїдально-решітчастих комунікаційних мережах різних типів. На основі проведеного аналізу виконано оцінювання апаратних витрат на реалізацію даного алгоритму у мережах вказаного класу.

Ключові слова: тороїдально-решітчаста комунікаційна мережа, гіперкуб, апаратна маршрутизація, оптимальний алгоритм маршрутизації, мультипроцесорна комп'ютерна система.

Вступ

Протягом всієї еволюції мультипроцесорних комп'ютерних систем (МПКС) – від «історичних» до найсучасніших – у них широко застосовуються комунікаційні мережі (КМ), топології яких утворюють клас тороїдально-решітчастих структур (ТРС) – n -розмірні тори на основі прямокутних n -решіток або гіпертори (булеві гіперкуби або n -куби також можуть розглядатися як найпростіші ТРС змінної розмірності) [1 – 4]. Це обумовлено наступними властивостями структур даного класу [1, 5, 6]:

- конфігурація решітчастих (або стільникових) топологічних структур (ТС) відповідає специфіці науково-технічних завдань, що вимагають оброблення великих масивів різної розмірності;

- неунівалентні n -решітки легко перетворюються на унівалентні n -тори шляхом введення в їх структуру додаткових зв'язків [6];

- основні топологічні метрики тороїдально-решітчастих КМ (ТРКМ) будь-якого розміру N можуть бути точно оцінені в процесі топологічного синтезу мережі за допомогою простих аналітичних виразів;

- ТРКМ надають широкі можливості їх оптимізації (вибору співвідношення між топологічною вартістю КМ та значеннями метрик, що характеризують її надійність і максимальну затримку передачі повідомлень);

- маршрутизація повідомлень в ТРКМ здійснюється на основі простої кубічної функції, що припускає схему адресації вузлів за допомогою рефлексивного коду Грея [1]. Відповідно, алгоритм маршрутизації ґрунтується на операції порозрядного порівняння адрес вузла-відправника та вузла-приймача за допомогою логічної операції XOR (виключне АБО, сума за модулем 2), що легко реалізується апаратним шляхом.

Однак, у відомій авторам літературі відсутня узагальнена оцінка апаратних витрат на реалізацію вузлових маршрутизаторів (ВМ) для ТРКМ

різних типів. Відповідно, метою даного дослідження є оцінювання апаратних витрат на апаратну реалізацію оптимального покоординатного адаптивного алгоритму маршрутизації повідомлень з урахуванням особливостей ТРКМ різних типів.

Властивості алгоритму маршрутизації

При використанні кубічної функції маршрутизації, що припускає адресацію вузлів за допомогою рефлексивного коду Грея, двійкові адреси будь-яких двох сусідніх вузлів відрізняються тільки одним розрядом, причому позиція розряду може бути умовно ототожнена з відповідним «виміром» ТС.

Як приклад, на рис. 1 зображений чотирьохрозмірний гіперкуб (4D-куб) з відповідною схемою адресації вузлів.

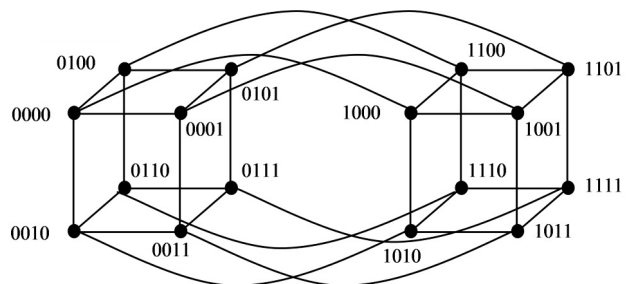


Рис. 1. 4D-куб та схема адресації його вузлів

Якщо результат виконання операцій XOR над двійковими адресами вузла-відправника та вузла-приймача приводить до 1 в заданій бітовій позиції, то повідомлення має бути посланим по каналу, який належить відповідному «виміру» ТС (маршрутизація є покоординатною).

Очевидно, що кількість повністю альтернативних шляхів (що не перетинаються на будь-якому їх відрізку) між будь-якими двома вузлами унівалентної КМ не може перевищувати її розмірності (ступеня вузлів). Для гіперкуба кількість таких шляхів між найбільш віддаленими вузлами дорівнює його

розмірності n , але кількість альтернативних шляхів найкоротшої довжини між двома довільними вузлами визначається тільки кількістю одиничних бітів в результаті виконання операції XOR над адресами цих вузлів.

Кубічне правило реалізує оптимальний (вибираються тільки найкоротші шляхи) покоординатний алгоритм маршрутизації [3]. Для забезпечення адаптивності алгоритму (можливості здійснення вибору одного з декількох рівноправних альтернативних шляхів передачі повідомлень з урахуванням їх завантаження) необхідно доповнити його правилом визначення пріоритетності можливих напрямків передачі. Наприклад, результат порівняння адрес вузла-відправника та вузла-приймача може аналізуватися, починаючи зі старшого розряду (пріоритети розрядів – у порядку старшинства) з урахуванням сигналів готовності (знаходження в справному стані та незайнятості) сусідніх вузлів. Взагалі, пріоритетність можливих напрямків передачі (фактично-порядок аналізу бітів в результаті порівняння адрес вузла-відправника та вузла-приймача) не впливає на апаратну складність ВМ.

Приклад синтезу логічної схеми вузлового маршрутизатора

Як приклад, синтезуємо ВМ для 4D-куба (рис. 1), що реалізує апаратним способом алгоритм маршрутизації, описаний раніше.

Модель ВМ у вигляді «чорного ящика», для якого визначені множини вхідних та вихідних сигналів, представлена на рис. 2.

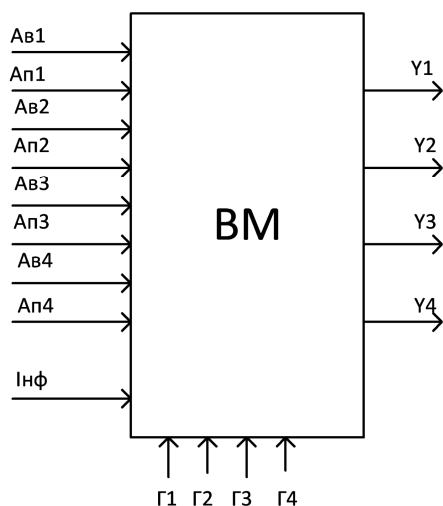


Рис. 2. Модель ВМ

На рисунку позначені наступні вхідні та вихідні сигнали:

- $A_{b4}, A_{b3}, A_{b2}, A_{b1}$ – розряди адреси вузла-відправника;
- $A_{n4}, A_{n3}, A_{n2}, A_{n1}$ – розряди адреси вузла-приймача;

- Inf – інформаційний вхід (вхід повідомлень);
- G_4, G_3, G_2, G_1 – сигнали готовності сусідніх вузлів;
- Y_4, Y_3, Y_2, Y_1 – виходи (можливі напрямки передачі повідомлень).

Без урахування вузлових стеків (черг повідомлень), ВМ є комбінаційною схемою.

Маємо чотири логічні функції (ЛФ) тринадцяти аргументів (уточнимо, що для конкретного вузла-відправника його адреса є константою). Для гіперкуба довільної розмірності n , відповідно, маємо n ЛФ $3n+1$ аргументів.

Формальний синтез логічної схеми ВМ ускладнюється великою кількістю аргументів ЛФ, але вона може бути суттєво зменшена.

По-перше, очевидно, що порозрядне порівняння адрес вузла-відправника та вузла-приймача виконується за допомогою набору з n суматорів за модулем 2.

По-друге, сигнали готовності сусідніх вузлів можна врахувати за допомогою набору з n двохходових елементів «І», аналогічний набір необхідний для комутації інформаційного входу на один з виходів ВМ.

Узагальнена структурна схема ВМ для гіперкуба довільної розмірності зображена на рис. 3.

Літерами ЛВ (логіка вибору) позначена частина схеми, що реалізує правило вибору шляху передачі повідомлення з урахуванням пріоритетності можливих напрямків передачі (визначається порядком старшинства бітів в результаті порівняння адрес вузла-відправника та вузла-приймача).

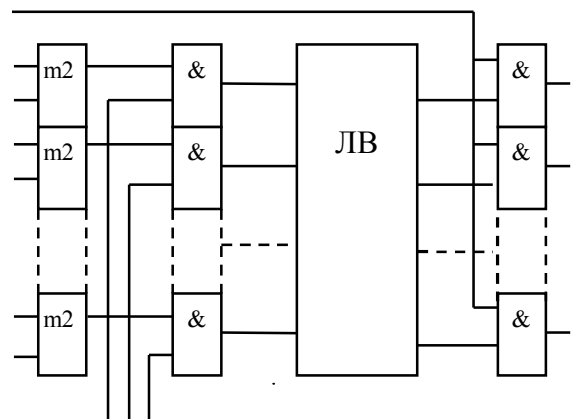


Рис. 3. Узагальнена структурна схема ВМ

Видно, що блок ЛВ має, у загальному випадку, n входів та n виходів, тобто для $n=4$ необхідно отримати чотири ЛФ чотирьох змінних. Вказані функції подані таблицею істинності 1.

В таблиці вхідні аргументи $A_4 \dots A_1$ визначаються виразом:

$$A_i = (A_{bi} \oplus A_{ni}) G_i \dots \quad (1)$$

Таблиця 1

Логічні функції ЛВ ВМ

A_4	A_3	A_2	A_1	Y_4	Y_3	Y_2	Y_1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0

З таблиці отримаємо ЛФ ВМ в аналітичному вигляді:

$$\begin{aligned}
 Y_4 &= A_4, \\
 Y_3 &= \overline{A_4} A_3 \overline{A_2} \overline{A_1} + \overline{A_4} A_3 \overline{A_2} A_1 + \overline{A_4} A_3 A_2 \overline{A_1} + \\
 &+ \overline{A_4} A_3 A_2 A_1 = \overline{A_4} A_3 \overline{A_2} + \overline{A_4} A_3 A_2 = \overline{A_4} A_3, \\
 Y_2 &= \overline{A_4} A_3 \overline{A_2} \overline{A_1} + \overline{A_4} A_3 A_2 \overline{A_1} = \overline{A_4} A_3 \overline{A_2}, \\
 Y_1 &= \overline{A_4} A_3 A_2 A_1.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Узагальнені логічні функції логіки вибору вузлового маршрутизатора

Аналогічним способом отримаємо ЛФ ЛВ для 2D-куба (3) та 3D-куба (4):

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= A_2, \\
 Y_1 &= \overline{A_2} A_1.
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 Y_3 &= A_3, \\
 Y_2 &= \overline{A_3} A_2 \overline{A_1} + \overline{A_3} A_2 A_1 = \overline{A_3} A_2, \\
 Y_1 &= \overline{A_3} A_2 A_1.
 \end{aligned} \quad (4)$$

Використовуючи метод математичної індукції, на основі порівняльного аналізу виразів (2-4), можна отримати просте рекурентне правило для одержання ЛФ ЛВ ВМ $Y_{n,i}$ гіперкуба довільної розмірності $n \geq 2$ з відповідних ЛФ $Y_{n-1,i}$ гіперкуба розмірності $n-1$:

$$\begin{aligned}
 Y_{n,n} &= A_n, \\
 Y_{n,i} &= \overline{A_n} Y_{n-1,i}.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Наприклад, ЛФ ЛВ ВМ 5D-куба можуть бути отримані застосуванням сформульованого правила до виразів (2):

$$\begin{aligned}
 Y_{5,5} &= A_5, \\
 Y_{5,4} &= \overline{A_5} A_4, \\
 Y_{5,3} &= \overline{A_5} A_4 A_3, \\
 Y_{5,2} &= \overline{A_5} A_4 A_3 A_2, \\
 Y_{5,1} &= \overline{A_5} A_4 A_3 A_2 A_1.
 \end{aligned} \quad (6)$$

Оцінювання апаратурних витрат на реалізацію вузлового маршрутизатора

Оцінювання апаратурних витрат на реалізацію комбінаційних схем зручно проводити у вигляді кількості вентилів, необхідних для реалізації логічної схеми.

Під вентилям традиційно розуміють логічні елементи АБО, ТА, АБО-НІ, ТА-НІ на два входи.

Вказані елементи з більшою кількістю входів розглядаються як еквівалентні схеми на двовходових елементах.

Суматори за модулем 2 та елементи рівності, на підставі відомих виразів для перетворення відповідних ЛФ в булевий базис, вважаються такими, що складаються з трьох вентилів.

Окремі інвертори, як правило, не враховуються.

Тоді, у першому наближенні, на підставі структурної схеми вузлового маршрутизатора (рис. 3) апаратурні витрати на його реалізацію для n -розмірного гіперкуба W_n ($n \geq 2$) можна оцінити в наступний спосіб:

$$W_n = 5n + W_{n1}, \quad (7)$$

де $5n$ – кількість вентилів, необхідна для реалізації всіх суматорів за модулем 2 та логічних елементів «І»,

W_{n1} – апаратурні витрати на реалізацію ЛВ, які, очевидно, залежать від розмірності гіперкуба (в загальному випадку – від порядку вузлів ТРС).

Тенденція збільшення W_{n1} зі збільшенням розмірності гіперкуба може бути оцінена безпосередньо на підставі виразів (2 – 6):

$$W_{n1} = \sum_{i=1}^{n-1} i; n \geq 2. \quad (8)$$

Аналізуючи отримані ЛФ ЛВ ВМ для n -кубів різної розмірності (2, 3, 4, 5) неважко помітити присутність у них повторюваних елементарних кон'юнкцій, причому кожна функція $Y_{n,i-1}$ може бути отримана з частини функції $Y_{n,i}$ (а саме, з кон'юнкції всіх інверсних аргументів) виконанням всього двох елементарних кон'юнкцій.

Таким чином, за умови однократного виконання вказаних кон'юнкцій, оцінка W_{nl} може бути отримана в наступний спосіб:

$$W_{nl} = 3 + 2(n-3) = 2n-3; n \geq 2. \quad (9)$$

Відповідно, апаратні витрати на ВМ в цілому становлять:

$$W_n = 5n + 2n - 3 = 7n - 3. \quad (10)$$

Таким чином, апаратні витрати на реалізацію окремого ВМ зі збільшенням розмірності n -куба (та, відповідно, порядку його вузлів $d=n$) зростають лінійно.

Очевидно, даний висновок може бути розповсюджений на всі тороїдально-решітчасті комунікаційні мережі, що ґрунтуються на кубічному правилі маршрутизації.

Відповідно, загальні апаратні витрати на реалізацію всіх вузлових маршрутизаторів ТРКМ, що складається з N вузлів порядку d :

$$W_{Nd} = N(7d-3). \quad (11)$$

З урахуванням відомого співвідношення між розміром булевого гіперкуба та порядком його вузлів $N_{hc} = 2^d$ [1, 5], загальні апаратні витрати на реалізацію всіх ВМ n -розмірного гіперкуба становлять:

$$W_{hc} = N_{hc}(7 \log_2 N_{hc} - 3) = 2^d(7d-3). \quad (12)$$

Отже, можна зробити висновок, що забезпечення лінійного зростання сукупних апаратних витрат на реалізацію всіх вузлових маршрутизаторів тороїдально-решітчастих комунікаційних мереж, зі збільшенням її розміру, можливе тільки для структур, що не є булевими гіперкубами, тобто надають можливість масштабування ТС без збільшення порядку її вузлів.

Висновки

Проведено оцінювання апаратних витрат на апаратну реалізацію оптимального покоординатного адаптивного алгоритму маршрутизації повідомлень з урахуванням особливостей ТРКМ різних типів (гіперкубів та ТС, для яких порядок вузлів не залежить від розміру структури).

Обґрунтований висновок про те, що забезпечення лінійного зростання сукупних апаратних витрат на реалізацію тороїдально-решітчастих комунікаційних мереж можливе тільки для структур, що не є булевими гіперкубами, тобто надають можливість масштабування структури комунікаційної мережі без збільшення порядку її вузлів.

Список літератури

1. Мельник, А.О. Архітектура комп'ютера: Наукове видання: підручник / А.О. Мельник. - Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. - 470 с.
2. Тиртишніков, О.І. Класифікація комунікаційних мереж багатопроцесорних комп'ютерних систем на основі уточненого поняття розмірності / О.І. Тиртишніков, Ю.М. Корж, Ботвін О.О. // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. - Х.: ХУПС, 2016. - Вип. 2 (139). - С. 126-131.
3. Корнеев, В.В. Параллельные вычислительные системы / В.В. Корнеев. - М.: Нолидж, 1999. - 320 с.
4. Орлов, С.А. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер. - СПб.: Питер, 2011. - 688 с.
5. Kotsis, G. Interconnection topologies and routing for parallel processing systems / G. Kotsis. - Wien: ACP, Technical Report Series, ACP / TR 92-19, 1992. - 95 p.
6. Артамонов, Г.Т. Топология регулярных вычислительных сетей и сред. - М.: Радио и связь, 1985. - 192 с.

Надійшла до редколегії 10.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ТОРОИДАЛЬНО-РЕШЕТЧАТЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

А.И. Тыртышников, В.Н. Курчанов, М.А. Маврина, Ю.М. Корж

Рассмотрены особенности аппаратной реализации оптимального покоординатного адаптивного алгоритма маршрутизации сообщений в тороидально-решетчатых коммуникационных сетях различных типов. На основе проведенного анализа выполнено оценивание аппаратных затрат на реализацию данного алгоритма в сетях указанного класса.

Ключевые слова: тороидально-решетчатая коммуникационная сеть, гиперкуб, аппаратная маршрутизация, оптимальный алгоритм маршрутизации, мультипроцессорная компьютерная система.

FEATURES OF HARDWARE ROUTING IN THE TOROIDAL-LATTICED COMMUNICATION NETWORKS

O.I. Tyrtysnikov, V.N. Kurchanov, M.O. Mavrina, Y.M. Korzh

Features of the hardware implementation of the optimal coordinate-wise adaptive algorithm for message routing in toroidal-latticed communication networks of various types are considered. Based on the performed analysis, estimation the hardware cost for the implementation of this algorithm in the networks of this class was evaluated.

Keywords: toroidal-latticed communication network, hypercube, hardware routing, optimal routing algorithm, multiprocessor computer system.

УДК 004.7

В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ТИПУ BIG DATA У МОБІЛЬНІЙ СИСТЕМІ «МУЛЬТИКОПТЕР – СЕНСОРНА МЕРЕЖА»

В статті проведено огляд проблеми передачі даних, у тому числі Big Data, у мобільній системі «Мультикоптер – сенсорна мережа». Проаналізовані сучасні системи збору телеметричної інформації сенсорними мережами з географічно розподілених точок та за спеціальних умов. Обґрунтовано використання мультикоптерних систем для збору інформації в сенсорних мережах. Запропоновано декілька підходів щодо вирішення проблеми передачі даних типу Big Data. Надані рекомендації щодо практичної реалізації деяких запропонованих рішень.

Ключові слова: система передачі даних, мультикоптер, завадостійкість, сенсорна мережа.

Вступ

Бурхливий розвиток прикладних технологій є причиною глибокої інтеграції різних галузей науки та техніки. Одним з таких напрямків є синтез сучасної робототехніки та інформаційних технологій. При цьому, саме розвиток інформаційних технологій та автоматизованих систем управління розкривають нові можливості для різних технічних платформ [1]. Класичним прикладом є доступні на сьогодні мультикоптерні системи, які, де-факто, трансформуються завдяки програмному наповненню, що розширює функціональні можливості, власне, системи.

Активне застосування подібних рішень в галузях прикладної науки набуло широкого розповсюдження. Так, наприклад, економічно обґрунтованим можна вважати рішення, пов'язані з моніторингом природного середовища (як то сейсμοактивність на схилах вулканів, еко-контроль ділянок моря, автоматизована система виявлення пожеж у лісі тощо) [2]. Беручи до уваги, що останнім часом у світовій практиці тенденціями щодо створення електронних пристроїв є green-технології [3], а концепція боротьби з електромагнітним забрудненням навколишнього середовища набуває подальшого розвитку, – актуальною проблемою є створення мобільної системи передачі даних, яка задовольняла б головні вимоги щодо автономності, рівня автоматизації та зменшенню електромагнітного забруднення навколишнього середовища і при цьому дозволяла гарантовано передавати дані відповідно до вузькоспеціалізованих задач моніторингу ділянок місцевості.

Аналіз публікацій та постановка задачі. Протягом останніх п'яти років в наукових журналах було опубліковано декілька статей, які були присвячені проблемі доставки даних з застосуванням технічних засобів. Так, у роботі [4] проводиться детальний аналіз ефективності передачі даних в мережі зв'язку угруповання мультикоптерів. Зокрема, декларується те, що внаслідок руху мультикоптерів

структура інформаційної мережі постійно змінюється. Для ефективного обміну даними ставиться задача щодо постійного оновлення інформації про стан мережі. Для цього аналізуються тимчасові параметри процесу оновлення мережевих матриць, необхідних для маршрутизації повідомлень. В результаті досліджень, які здійснювалися з використанням математичної моделі мережі, проведена імітація процесів обміну мультикоптерів локальними даними про структуру мережі. Отримані тимчасові характеристики поновлення мережевих матриць з урахуванням використовуваних механізмів доступу і спотворень переданих повідомлень. Авторами зроблені припущення про можливість застосування запропонованого рішення для створення комплексної системи розподіленого збору інформації.

Наприклад, в роботі [5] виділена задача оптимального керування передачею даних в мобільній двоагентній робототехнічній системі. Авторами вирішується завдання мінімізації втрат вхідних пакетів з урахуванням обмежень на час обробки і енерговитрати за рахунок керування швидкістю пересилання і ймовірністю відмови; визначено умови, при яких значення цільового функціоналу і функціоналів, які задають обмеження, утворюють опуклу множину рішень; реалізовано чисельний синтез управління на основі методу модифікованої функції Лагранжа.

Одним з напрямків у практичному сенсі стало рішення фізичного транспортування екстремально великих обсягів інформації до 100 ПБ AWS Snowmobile [6]. Такий підхід є аналогічним у консенсусі організації передачі даних 50-60 рр. минулого століття, але актуальним для переносу надвеликих обсягів інформації сьогодення. Рішення, відображені в публікаціях [4-6] носять виокремлений характер. На відміну від цього розглядається синтез-рішення щодо створення спеціалізованої системи передачі даних для специфічних умов з урахуванням напрацювань в даній предметній області. **Метою роботи** є аналіз проблематики щодо реалізації такого рішення.

Результати досліджень

Кортежний опис середовища як складної системи. Позначимо: $\eta_{tsv_{in}}$ – мультикоптер, який характеризується: t – граничним часом взаємодії з іншими об'єктами; s – ємністю системи збереження даних; v_{in} – максимальною швидкістю завантаження даних в систему збереження даних мультикоптера; $\mu_{isv_{out}}$ – i -те джерело даних (пристрій концентрації даних в сенсорній мережі), яке характеризується: v_{out} – максимальною швидкістю вивантаження даних в систему збереження даних мультикоптера; ζ_k – k -та підсистема обробки даних (споживач даних).

Враховуючи інші елементи, систему можна описати як $\Psi = \{\mu, \eta, \zeta, \xi\}$, де ξ – сукупність інших елементів системи. Таким чином, систему можна описати у вигляді кортежу:

$$S = \{\Psi, X, F\} \quad (1)$$

де $X = \{x\}$ – множина зв'язків між елементами системи; F – функція системи.

Враховуючи раніше введені параметри, маємо:

$$\Psi^\mu, \Psi^\eta, \Psi^{\zeta_k}, \dots, \Psi^{\xi_i} = \{m^i\} = \{m_\mu^i, m_\eta^i, \dots, m_{ni}^i\}. \quad (2)$$

Загальний вигляд описаної системи наведено на рис. 1.

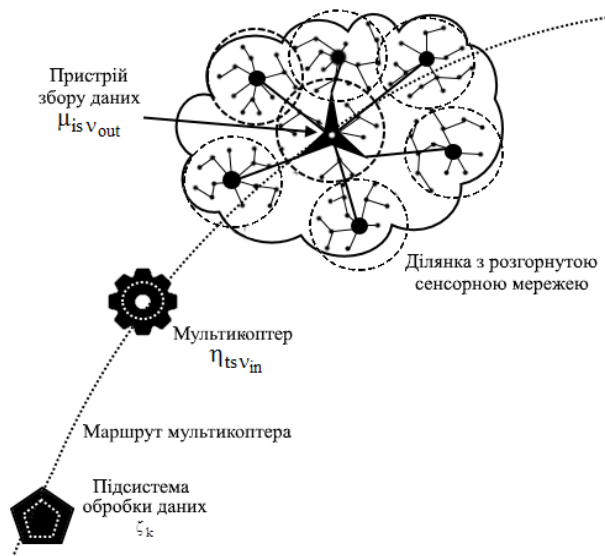


Рис. 1. Мобільна система збору, передачі та зберігання даних

Моделі функціонування мультикоптера та проблеми, що виникають. В рамках поставленої задачі розглядається декілька варіантів моделей функціонування мультикоптера в рамках описаної вище системи.

1. *Мультикоптер є транспортом пристрою збереження даних.* Особливістю є фізичний контакт мультикоптера з пристроєм збереження даних. З точки зору реалізації він дещо схожий з принципом «колібри», коли важливу роль грає точність. З однієї сторони цей варіант трудомісткий, а з іншої – досить енергоеко-

номним у разі створення оптимального робототехнічного рішення. Алгоритм функціонування мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$ складається з таких кроків:

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для можливості захоплення та/або встановлення носія даних системи збереження даних сенсорної мережі.

Крок 3. Мультикоптер прямує в іншу точку збирання/встановлення носія інформації системи збереження даних.

Крок 4. Якщо точка маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникають такі проблеми, які потребують вирішення:

- у разі забирання останнього носія даних системи збереження інформації в сенсорній мережі куди мають зберігатися, власне, нові дані;

- яким чином на практиці можна реалізувати механізм забирання пристрою збереження даних з урахуванням наявності мегасистеми з великою кількістю систем сенсорних мереж;

- як реалізувати механізм обміну носіями інформації в початковій точці в рамках автоматизації запропонованої моделі.

2. *Мультикоптер є носієм даних шляхом їх забирання через безпроводний або проводний канал зв'язку з пристроєм забирання інформації в сенсорній мережі.* Є велика різниця у застосуванні проводного і безпроводного способу забирання інформації. Так, проводний спосіб має всі недоліки щодо складності моделі управління та реалізації. На противагу цьому, безпроводний спосіб передачі даних з головною діаграмою направленості передавальних систем може забезпечити швидкість потоку даних до 7 Гб/с (технологія IEEE 802.11 ad). У разі кругової діаграми направленості – швидкість передачі даних може суттєво бути зниженою. Алгоритм функціонування мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$ у разі коутованого забирання даних складається з таких кроків:

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для можливості підключення до системи збереження даних сенсорної мережі.

Крок 3. Відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера.

Крок 4. Мультикоптер прямує в іншу точку збирання даних системи збереження даних іншого сегменту сенсорної мережі.

Крок 5. Якщо точка маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

Алгоритм функціонування мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$ у разі безпроводного забирання даних складається з таких кроків:

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для юстування системи безпроводної передачі даних, яка побудована на застосування антенних систем з голковою діаграмою направленості сигналу.

Крок 3. Відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера.

Крок 4. Мультикоптер прямує в іншу точку збирання даних системи збереження даних іншого сегменту сенсорної мережі.

Крок 5. Якщо точка маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникають такі проблеми, які потребують вирішення: які стандарти та протоколи необхідно використовувати у розрізі енергоефективності та швидкодії для забирання інформації мультикоптером; у разі використання провідної комутації, яким чином здійснити практичну реалізацію даної моделі.

3. *Мультикоптер є носієм даних шляхом їх збору через безпроводний канал зв'язку в результаті переміщення біля пристрою збору інформації в сенсорній мережі.* В такому випадку більш доцільним є застосування технологій передачі даних IEEE 802.11 ас. Під час переміщення мультикоптера поряд із пристроєм збереження даних сенсорної мережі всі дані мають бути переданими до системи збереження даних мультикоптера $\eta_{tsv_{in}}$.

Крок 1. Мультикоптер розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер переміщується у множину точок маршруту його руху, визначеного в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних швидкісних маневрів для максимізації швидкості безпроводної передачі даних, яка побудована на застосування антенних систем з круговою діаграмою направленості сигналу.

Крок 3. Під час проходження мультикоптером відрізка маршруту його руху, відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера.

Крок 4. Мультикоптер прямує в іншу множину точок збирання даних системи збереження даних іншого сегменту сенсорної мережі.

Крок 5. Якщо множина точок маршруту остання, то мультикоптер повертається на стартову позицію.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникає необхідність вирішення задачі динамічної зміни швидкості передачі даних з огляду на такі фактори як: швидкість переміщення, пропускна здатність середовища, енергоефективність. З огляду на велику кількість факторів та мінімізацією ваги задачі щодо електромагнітного забруднення (враховуючи застосування антен з круговою діаграмою направленості), даний підхід може бути застосованим в випадках неможливості фактичної призупинки руху мультикоптера для передачі даних.

4. *Мультикоптер (мультикоптерний ланцюг) $\eta_{tsv_{in}}$ є активним ретранслятором між пристроєм збору інформації в сенсорній мережі та споживачем інформації.*

Крок 1. Мультикоптер ($j = 1$) розпочинає рух по заздалегідь встановленому маршруту після оцінки факторів зовнішнього середовища.

Крок 2. Мультикоптер ($j = 1$) переміщується в точку, визначеній в його системі геопозиціонування з виконанням необхідних маневрів для юстування системи безпроводної передачі даних, яка побудована на застосування антенних систем з круговою діаграмою направленості сигналу.

Крок 3. Відбувається процес передачі даних із системи збереження даних сенсорної мережі до системи збереження, власне, мультикоптера ($j = 1$).

Крок 4. Мультикоптер ($j = 1$) реалізує функцію проміжного зберігання [8].

Крок 5. Мультикоптер ($j = 1$) виконує сеанс встановлення зв'язку з мультикоптером ($j = 2$). У разі встановлення такого зв'язку, відбувається передача даних із системи збереження мультикоптера ($j = 1$) до системи збереження мультикоптера ($j = 2$).

Крок 6. Ітерація повторюється для всіх ($j = n$).

Крок 7. Мультикоптер ($j = n$) функціонує протягом часу τ :

$$\tau = \tau_{aw} + \tau_r, \quad (2)$$

де τ_{aw} – час активної роботи; τ_r – час повернення мультикоптера на базову станцію для поновлення енергетичного ресурсу.

Крок 8. Якщо мультикоптер ($j = n$) повертається на стартову позицію, то ретрансляційна система передачі даних припиняє функціонування.

У разі застосування такого варіанту моделі функціонування виникають такі проблеми, які потребують вирішення: які методи доцільно застосовувати при ланцюговій передачі; яким чином вирішити проблему подвійного прийому сигналів у разі порушення юстування мультикоптерів.

Такий підхід є економічно необґрунтованим, але гарантує доставку даних в онлайн-режимі, при цьому нехтуються принципи запобігання електромагнітного забруднення. З огляду на поставлену задачу, оптимальним за критерієм складності реалізації є підхід, коли мультикоптер є носієм даних шляхом їх забирання через безпроводний канал зв'язку з при-

строю забирання інформації в сенсорній мережі. Особливості практичної реалізації вимагають проведення додаткових досліджень.

Аналіз збурюючих впливів. З теорії автоматичного керування відомим є збурюючий вплив. Наслідком такого впливу на роботу елементів системи прийнято вважати порушення необхідного функціонального зв'язку [7]. Причинами збурень є зміна навантаження та завади. До збурюючих впливів, відповідно до поставленої задачі відносяться: особливості зовнішнього середовища: пориви вітру, гроза, атмосферні опади, температурний режим; електромагнітний вплив інших джерел випромінювання.

Варто зазначити, що в роботі пропонується підхід по управлінню за принципом комбінованого регулювання. Це пояснюється використанням одночасно регулювання за збуренням і за відхиленням, що забезпечує найвищу точність управління, тобто, мультикоптер, як система із заданими функціями, що характеризується стійкістю, має властивість повертатися в заданий або близький до нього сталий режим після якого-небудь збурення в рамках стандартних робототехнічних застосувань.

Рекомендації щодо перспективних досліджень. Пропонується проведення спільних прикладних досліджень спеціалістів в галузі робототехніки для вирішення проблем, пов'язаних з особливостями функціонування технічних засобів, спеціалістів в галузі теорії автоматичного управління для створення алгоритмів функціонування мультикоптерів та спеціалістів в галузі інформаційних технологій для організації системи передачі даних між елементами загальної системи. Пропонується для використання базовий опис моделі середовища, наведений у вигляді кортежу.

Висновки

В статті закладено фундації щодо створення мобільної системи передачі інформації, зокрема проаналізовано можливі проблеми, які можуть виникати під час реалізації різних варіантів доставки інфо-

рмації з джерела (пристрій збору інформації в сенсорній мережі) до підсистеми обробки даних завдяки використанню мультикоптерів, як механізму доставки даних. Спектр можливих сфер застосування надзвичайно великий, тому кожна із них вносить свої корекції до загальної моделі, а компенсація можливих збурюючих впливів – це система часткових рішень. Дослідження проводились на базі навчально-наукової лабораторії моделювання систем кафедри електронних обчислювальних машин ХНУРЕ.

Список літератури

1. Maxwell I.A. et al. *Technology and innovation: Drones, droids and robots* // *Chemistry in Australia*. – 2016. – №. Aug 2016. – P. 32.
2. Токарев В.В. Компьютерная система учета и экспресс-диагностики личного состава сил специальных операций / В.В. Токарев, П.М. Подпрудников, В.А. Радченко // *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ*. – Львів, Україна, Т.2. – С.323
3. Irimia-Vladu M. "Green" electronics: biodegradable and biocompatible materials and devices for sustainable future // *Chemical Society Reviews*. – 2014. – Т. 43, №. 2. – С. 588-610.
4. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // *Труды МАИ*. – 2015. – №. 81.
5. Кузнецов Н.А., Мясников Д.В., Семенухин К.В. Оптимальное управление передачей данных в мобильной двухагентной робототехнической системе // *Информационные процессы*. – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 137-151.
6. Сервис переноса больших массивов данных AWS Snowmobile. – <https://aws.amazon.com/ru/snowmobile>.
7. Лукин А.Н. Теория автоматического управления / А.Н. Лукин // - Магнитогорск: НОЦ "НМКН" (ИЦ) МГТУ. - 2005. - 215 с.
8. Саваневич В.Е. Метод передачи данных с промежуточным хранением / В.Е. Саваневич, В.Н. Ткачев // *Системы обработки информации: сборник научных трудов*. - Х.: ХУВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 99-105.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТИПА BIG DATA В МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «МУЛЬТИКОПТЕР – СЕНСОРНАЯ СЕТЬ»

В.Н. Ткачев, В.В. Токарев, В.А. Радченко, В.О. Лебедев

В статье проведен обзор проблемы передачи данных, в том числе Big Data, в мобильной системе «Мультикоптер – сенсорная сеть». Проанализированы современные системы сбора телеметрической информации сенсорными сетями с географически распределенных точек и при специальных условиях. Обосновано использование мультикоптерных систем для сбора информации в сенсорных сетях. Предложено несколько подходов к решению проблемы передачи данных типа Big Data. Даны рекомендации по практической реализации некоторых предложенных решений.

Ключевые слова: система передачи данных, мультикоптер, помехоустойчивость, сенсорная сеть.

THE PROBLEM OF BIG DATA TRANSMISSION IN THE MOBILE «MULTI-COPTER – SENSOR NETWORK» SYSTEM

V.M. Tkachov, V.V. Tokarev, V.O. Radchenko, V.O. Lebedev

The article reviews the problem of data transmission, including Big Data, in the mobile system "Multicopter-sensor network". The modern systems for collecting telemetric information by sensor networks from geographically distributed points and under special conditions are analyzed. The use of multicopter systems for collecting information in sensor networks is justified. Several approaches have been proposed to solve the problem of data transmission of the Big Data type. Recommendations are given on the practical implementation of some of the proposed solutions.

Keywords: data transmission system, multi-copter, noise immunity, sensor network.

УДК 621.391

А.В. Шостак

Національний аерокосмічний університет імені Н.Е. Жуковського, Харків

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ СВЯЗНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Проанализирована связность в беспроводных сенсорных сетях. Выполнена оценка вероятности связности беспроводной сенсорной сети в зависимости от радиуса связи сенсора и от числа сенсоров сети.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, связность, радиус действия сенсора.

Введение

Под беспроводной сенсорной сетью (БСС) понимается распределенная, самоорганизующаяся сеть множества сенсоров и исполнительных устройств, взаимодействующих между собой посредством радиоканала. Как правило, БСС применяется для сбора данных с устройств, оснащенных сенсорами: датчиком рентгеновского излучения, влажности, температуры, освещенности и т.п. По организации БСС относятся к самоорганизующимся сетям, т.е. к сетям, состоящим из случайного, постоянно меняющегося числа узлов и связей между узлами, которые должны адаптивно подстраиваться для выполнения своих функций [1, 2].

Обычно сенсорные узлы имеют ограниченные ресурсы – емкость источника питания, объем памяти, радиус действия и вычислительные возможности процессора.

Наряду с такими характеристиками как время жизни БСС и покрытие сетью территории важную роль играет связность сети сенсоров [2-5]. Очевидно, что связность сети является одним из необходимых условий обеспечения функционирования БСС. В статье оценивается вероятность связности сети в зависимости от радиуса действия сенсоров и количества покрывающих территорию сенсоров.

Основная часть

Рассмотрим множество одинаковых по своим характеристикам сенсорных узлов на плоской территории в виде квадрата со стороной L . Пусть R – радиус зоны обслуживания сенсора, т.е. сенсор узла в центре окружности радиуса R обнаруживает изменение измеряемых характеристик внутри этой окружности. r – радиус связи узла, т.е. сенсорные узлы, расстояние между которыми меньше r , являются связанными и могут непосредственно взаимодействовать друг с другом.

На рис. 1 показаны однородные сенсорные узлы i и j с одинаковыми радиусами связи $r_i = r_j = r$. Расстояние между узлами $d_{ij} > r$, поэтому отсутствует связность между узлами i и j . На рис. 2 расстояние

между узлами $d_{ij} < r$, поэтому узлы i и j связаны между собой.

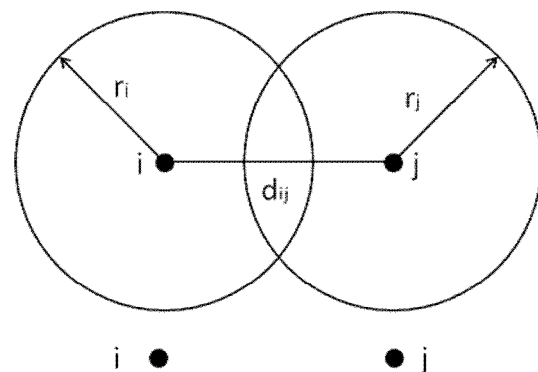


Рис. 1. Отсутствие связности между узлами i и j

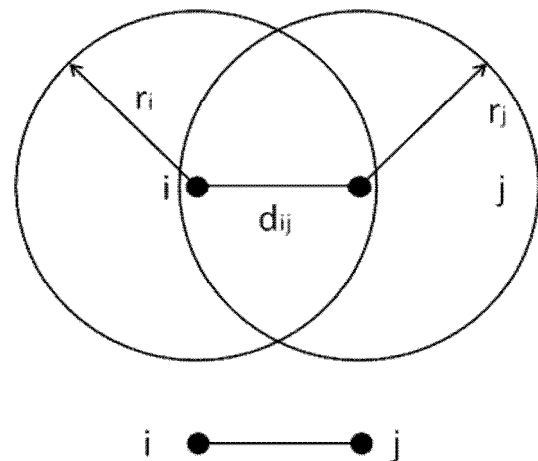


Рис. 2. Наличие связности между узлами i и j

Существует два основных способа размещения сенсорных узлов на покрываемой территории – детерминированный и случайный [2, 4, 6]. В первом случае узлы размещаются в заранее определенных точках области покрытия. При этом связность сети обеспечивается за счет выбора координат этих точек. При случайном размещении узлов последние находятся в случайных точках области, поэтому маршрут между узлами существует только при наличии связности БСС. Таким образом, ввиду слу-

чайного розположення вузлов сети показатель связности сети необходимо характеризовать вероятностью связности сети, под которой понимается вероятностью существования маршрута между любыми узлами сети [2, 4].

В соответствии с [4] нижняя граница вероятности связности сети P_{con} определяется таким образом:

$$P_{con} = \left(\left(1 - \exp\left(-\frac{n\pi r^2}{L^2}\right) \right) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{n\pi r^2}{L^2}\right) \right) \right)^{4\pi R(L-r)/L^2}, \quad (1)$$

где n – число случайно расположенных узлов квадратного региона сети с длиной стороны L , r – радиус связи сенсора узла.

В табл. 1 на основании (1) для различных размеров сети L и для радиуса связи $r=40$ приведена зависимость между числом узлов n и вероятностью

связности сети P_{con} . Т.е., например, для $L=100$ и $r=40$ сеть из $n=11$ узлов имеет вероятность связности 0,482.

При размере сети $L=100$ 32 узла обеспечивают вероятность связности сети 0,99, эту же вероятность связности для сети размера $L=200$ обеспечат 146 узлов, а для сети с $L=300$ – 347 узлов.

На рис. 3 приведена зависимость числа узлов n (ось ОУ) от вероятности связности сети P_{con} (ось ОХ) для различных L , построенная в соответствии с данными из табл. 1.

В табл. 2 для различных размеров сети L и для радиуса связи $r=40$ приведена зависимость оценки вероятности связности P_{con} от того же числа узлов сети n , что были получены в таблице 1, а также приведено значение разности вероятности связности ΔP_{con} из табл. 1 и данной оценки вероятности связности P_{con} .

Таблица 1

Зависимость между числом узлов n и вероятностью связности сети P_{con}

P_{con}	$L=100$	P_{con}	$L=200$	P_{con}	$L=300$
0,482	11	0,504	66	0,501	170
0,545	12	0,554	69	0,547	176
0,605	13	0,602	72	0,597	183
0,66	14	0,646	75	0,651	191
0,709	15	0,7	79	0,7	199
0,754	16	0,747	83	0,748	208
0,793	17	0,799	88	0,803	220
0,856	18	0,848	94	0,851	233
0,902	21	0,903	103	0,9	251
0,946	24	0,95	116	0,95	281
0,99	32	0,99	146	0,99	347

Таблица 2

Зависимость вероятности связности сети P_{con} от числа узлов n сети

P_{con}	ΔP_{con}	$L=100$	P_{con}	ΔP_{con}	$L=200$	P_{con}	ΔP_{con}	$L=300$
0,403	0,079	11	0,593	-0,089	66	0,684	-0,183	170
0,51	0,035	12	0,646	-0,092	69	0,742	-0,195	176
0,582	0,023	13	0,714	-0,112	72	0,772	-0,175	183
0,644	0,016	14	0,753	-0,107	75	0,817	-0,166	191
0,689	0,02	15	0,799	-0,099	79	0,829	-0,129	199
0,754	0	16	0,848	-0,101	83	0,87	-0,122	208
0,808	-0,015	17	0,876	-0,077	88	0,902	-0,099	220
0,849	0,007	18	0,92	-0,072	94	0,922	-0,071	233
0,915	-0,013	21	0,947	-0,044	103	0,94	-0,04	251
0,962	-0,016	24	0,966	-0,016	116	0,947	0,003	281
0,993	-0,003	32	0,991	-0,001	146	0,994	-0,004	347

Значения вероятности связности сети P_{con} в табл. 2 оценивались на основании вычислительного эксперимента. Для оценки каждого значения вероятности связности (табл. 2) 1000 раз генерировалась сеть из n узлов с координатами, равномерно распределенными в квадрате со стороной L . Узлы i и j такой сети связаны, если между ними существует ребро. Между узлами i и j существует ребро, если расстояние между этими узлами d_{ij} меньше или равно радиуса связи r (рис. 2). На основании этого правила для каждой из 1000 сетей строилась матрица смежности сети, по которой, с использованием алгоритма поиска в глубину, определялась связность сгенерированного варианта сети. Физический смысл значения $P_{\text{con}}=0,403$ для числа узлов $n=11$ (размер сети $L=100$, радиус связи узла $r=40$) из таблицы 2 таков – из 1000 сгенерированных вариантов сетей 403 сети оказались связными.

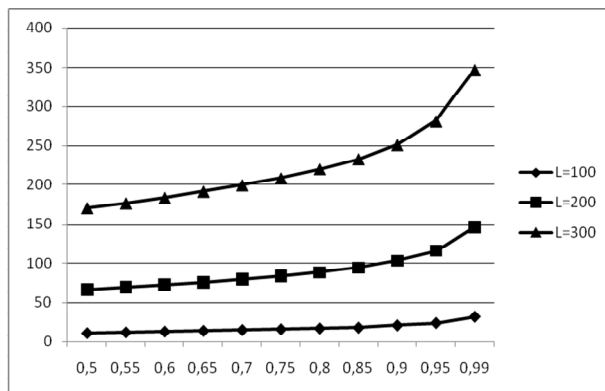


Рис. 3. Зависимость между числом узлов n и вероятностью связности сети P_{con}

На рис. 4 приведена зависимость величины ΔP_{con} от числа узлов n для размера сети $L = 200$, построенная в соответствии с данными табл. 2.

Выводы

Результаты проведенного вычислительного эксперимента позволяют выполнить оценку вероятности связности БСС. Полученная в результате вычислительного эксперимента оценка вероятности связности (табл. 2) в основном превышает вероятность связности сети из [4] (табл. 1). Абсолютная величина разности ΔP_{con} вероятности связности из

табл. 1 и оценки вероятности связности из табл. 2 с ростом числа узлов сети n имеет тенденцию к убыванию (рис. 4). Перспективным направлением дальнейших исследований может являться оценка вероятности связности БСС в зависимости от закона распределения координат узлов сети.

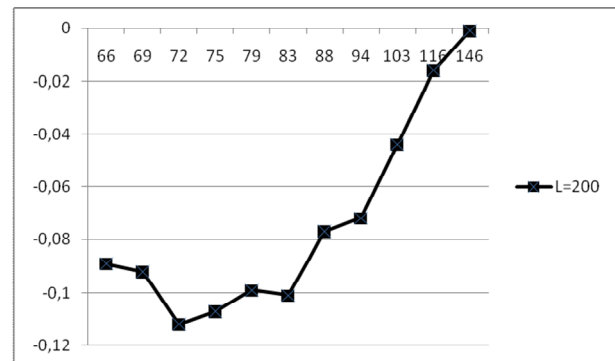


Рис. 4. Зависимость между числом узлов n и величиной ΔP_{con}

Список литературы

1. Кучерявый А.Е. Самоорганизующиеся сети / А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый. – СПб.: Любавич, 2011. – 312 с.
2. Обеспечение связности беспроводных сенсорных узлов гетерогенной сети / А.Е. Кучерявый, И.Н. Нуриллоев, А.И. Парамонов, А.В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1 (9). – С. 115-122.
3. Махров С.С. Исследование связности в иерархических протоколах беспроводных сенсорных сетей / С.С. Махров // Материалы Межд. научно-технической конференции INTERMATIC, Москва, 2-6 декабря 2013. – С. 186-189.
4. Xing X., Wang G., Li J. A square-based coverage and connectivity probability model for WSNs, International Journal of Sensor Networks, 2015, Vol. 19, No. 3/4, pp.161 – 170.
5. Sun Z., Li H., Chen H., Wei W. Optimization coverage of wireless sensor networks based on energy saving, International Journal of future generation communication and networking, 2014, Vol. 7, No. 4, pp. 35-48.
6. Денисенко В.С. Модификация алгоритма построения кратчайшего остовного дерева для беспроводной сенсорной сети / В.С. Денисенко, А.В. Шостак // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 2 (83). – С. 75 – 77.

Надійшла до редколегії 15.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF CONNECTIVITY OF A WIRELESS SENSOR NETWORK

A.V. Shostak

Analyzes connectivity in wireless sensor networks. Estimation of the probability of connectivity wireless sensor networks depending on the range (connection) of the sensor and the number of sensors in the network.

Keywords: wireless sensor networks, connectivity, the range of the sensor.

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ЗВ'ЯЗНОСТІ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

A.B. Шостак

Проаналізовано зв'язність в бездротових сенсорних мережах. Виконана оцінка ймовірності зв'язності бездротової сенсорної мережі в залежності від радіусу зв'язку сенсора і від кількості сенсорів мережі.

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, зв'язність, радіус зв'язку сенсора.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ДЛЯ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ

Успешная реализация проектов развития во многом зависит от их ресурсного обеспечения. Рассмотрена функциональная модель процесса распределения ресурсов проекта, обеспечивающая их доступность в произвольный момент времени. Обосновано, что решение задачи распределения ресурсов существенно зависит от структуры логистической цепи проекта. Разработана функциональная модель процесса выбора местоположения распределительного центра и метод, позволяющий обоснованно принимать решения о размещении. Приведена программная реализация некоторых этапов метода. Проведена оценка достоверности предложенного подхода.

Ключевые слова: материальный поток, логистическая цепь, координаты, функциональная модель, транспортный тариф, объемы поставок, оценка достоверности.

Введение

Одной из основных задач экономического развития Украины является создание условий для эффективного функционирования предприятий и компаний. Однако сложившаяся экономическая ситуация требует переориентации их деятельности на постоянное развитие и совершенствование для сохранения (повышения) конкурентоспособности как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Разработка новых продуктов, организация новых сервисов, выход на новые сегменты рынка на сегодняшний день являются важнейшими приоритетными проектами развития предприятий и компаний [1, 2].

По мнению руководителей ряда ведущих украинских предприятий наиболее конкурентоспособных отраслей промышленности успешной реализации проектов развития способствуют [1]:

- высокая гибкость и возможность оперативно реагирования на изменения в спросе с непрерывным обновлением ассортимента продукции;
- высокий уровень сервиса;
- способность оперативно влиять на производственные затраты;
- наличие эффективной системы управления проектами, способной своевременно реагировать на изменения внутренней и внешней среды.

При этом не только отечественные, но и зарубежные специалисты отмечают, что успешность этих подходов для проектов развития напрямую зависит от решения задач материально-технического обеспечения, подчеркивая тем самым стратегическую важность сферы логистики [3, 4]. В результате увеличение рентабельности бизнеса происходит не за счет наценки и увеличения объема продаж, а за счет снижения текущих затрат, связанных в том числе и с логистикой. Так, по оценкам специалистов, в конечной цене товара логистические издержки составляют от 8% (в странах Европы и США) до 20 % (в странах СНГ) [5].

Логистические затраты – это часть общих затрат, формирующихся в процессе сопровождения материального потока (МП), который образуется в результате транспортировки, складирования и выполнения прочих операций с сырьем, полуфабрикатами и готовыми изделиями, начиная от источника сырья и заканчивая конечным потребителем. Анализ их структуры показывает, что важнейшими факторами, влияющими на финансовые показатели проекта, являются время движения МП по логистической цепи проекта и пространственное размещение производства, поставщиков и потребителей продукта проекта [3, 4]. Возможным компромиссным решением, позволяющим достигнуть приемлемого времени движения МП при сложившемся размещении производителей, поставщиков и потребителей, является развитие логистической инфраструктуры проекта. Так по оценкам специалистов «...доллар, вложенный в оптимизацию цепи поставок, приносит больше прибыли, чем три доллара, потраченные на увеличение продаж» [6]. Обоснованное размещение распределительных центров (РЦ) позволяет снизить транспортные расходы на 7-20%, расходы на погрузочно-разгрузочные работы и хранение на 15-30%, общие логистические расходы на 12-35% [3, 5]. По этой причине вопрос обоснования места для РЦ при реализации проектов играет важную роль, влияя на эффективность движения МП за счет уменьшения логистических затрат. Таким образом, *целью работы* является моделирование процесса выбора места РЦ и разработка метода, используя который можно обоснованно принимать решения при проектировании логистической цепи проектов развития.

Постановка задачи

В рамках управления материальными ресурсами проекта рассматривается задача их распределения (рис. 1), решение которой зависит от структуры логистической цепи проекта, позволяющей придерживаться необходимого графика доставки ресурсов [7].

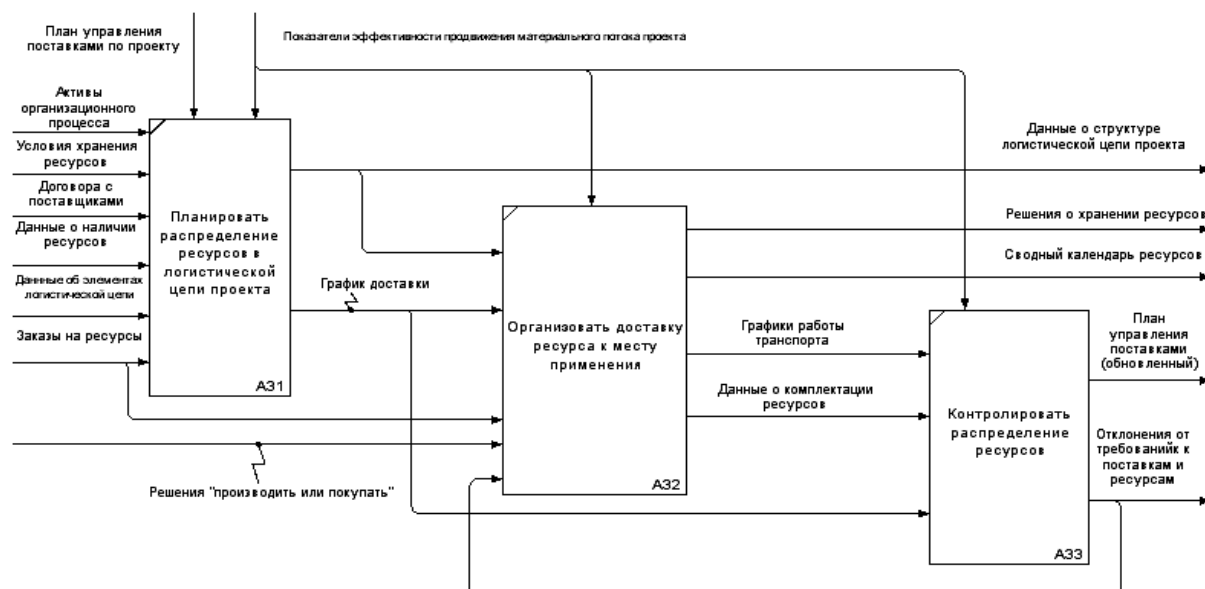
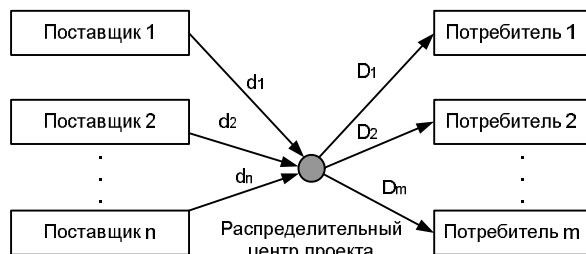


Рис. 1. Функциональная модель процесса распределения ресурсов проекта

Предположим, обобщенная структура логистической цепи проекта состоит из n поставщиков и m потребителей. Зачастую непосредственное движение МП от поставщика к потребителю экономически невыгодно, что приводит к созданию дополнительного звена в структуре – распределительного центра, основное назначение которого обеспечить гибкость и возможность оперативного реагирования на изменения в спросе, поддерживая необходимый уровень сервиса обслуживания и соблюдая график доставки (рис. 2) [8].

Рис. 2. Обобщенная структура логистической цепи проекта, где d_i – расстояние от i -го поставщика до РЦ, D_j – расстояние от j -го потребителя до РЦ

Задача выбора оптимального варианта размещения РЦ решается в рамках реализации плана управления поставками по проекту.

Существует много научных публикаций по различным аспектам моделирования и решения задачи оптимизации структуры логистической цепи. Первые методы решения задач «о размещении» были предложены еще в середине XIX в. Ведущие экономисты И. фон Тюнен, А. Вебер, А. Лёш, Э. Гувер, М. Гринхат, В. Лаунхард и др. подчеркивали роль географической специализации производства и фундаментальное значение развития логистической инфраструктуры [4, 5, 9]. На сегодня основное внимание специалистов сосредоточено на подходах, развивающих оптимизационные методы решения подобных задач, где критерием оптимальности размещения вы-

ступает минимум затрат, связанных с продвижением МП от поставщика к потребителю [8, 10].

Математически такая задача соответствует многокритериальной оптимизации, когда координаты РЦ (x_0, y_0) определяют из условия, что целевая функция, зависящая от расстояний между элементами логистической цепи с координатами (x_k, y_k) , должна быть минимальной, т.е. [8]

$$S(x, y) = \sum_{k=1}^{n+m} \varphi_k v_k \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где φ_k – транспортный тариф для k -го элемента логистической цепи; v_k – объемы поставок (спрос) k -го элемента логистической цепи. При этом некоторые факторы, влияющие на решение о выборе места РЦ, могут выступать в качестве ограничений вида:

$$\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \leq c, \quad k = 1, n + m, \quad (2)$$

где c – ограничение, определяемое факторами, которые регламентируют, например, допустимую близость к коммуникациям, зданиям и пр.

Таким образом, для получения перечня возможных районов размещения РЦ необходимо знать: координаты элементов логистической цепи; транспортные тарифы, косвенно характеризующие транспортную доступность местности (чем выше тариф, тем сложнее добраться до места назначения, тем выше риски, связанные с доставкой); объемы поставок (чем выше спрос, тем перспективнее направление поставок); ограничения.

Моделирование процесса выбора местоположения РЦ

Учитывая необходимость принятия системных решений относительно локализации элементов логистической цепи, анализируя исходную информацию, функциональную модель процесса выбора местоположения РЦ представим в стандарте IDEF 0 (рис. 3) [7].



Рис. 3. Функциональная модель процесса выбора местоположения РЦ

В соответствии с этой моделью согласно плану управления поставками на основе анализа показателей эффективности продвижения МП проекта рассматривается информация о требованиях к РЦ и факторах, влияющих на выбор его местоположения. В результате формируется перечень возможных районов размещения, с учетом которых вносятся изменения в действующие графики доставки. Эта информация направляется руководству проекта для окончательного принятия решения о выборе места для РЦ.

Для реализации предложенной функциональной модели разработан метод выбора местоположения РЦ, состоящий из следующих этапов.

Этап 1. Изучить информацию о требованиях к РЦ и его местоположению. В соответствии с рис. 1 такую информацию можно получить, анализируя данные об активах организационного процесса проекта, информацию об условиях хранения ресурсов, данные о наличии ресурсов, информацию по их заказам, а также условия договоров с поставщиками и пр.

Этап 2. На основе данных об элементах логистической цепи проекта найти координаты всех объектов, влияющих на принятие решения о местоположении РЦ, с учетом основных требований. Отметим, что в вышеприведенной формулировке задачи (формулы (1) – (2)) используются плоские прямоугольные координаты элементов логистической цепи x_k и y_k . Однако современные картографические сервисы дают географические координаты широты и долготы земной поверхности либо в градусах с минутами и секундами, либо в градусах с десятичной дробью. Для перевода исходных географических координат в необходимые прямоугольные координаты используем подход, предложенный в работе Ештокина А.Н., основанный на использовании формул, выведенных для референс – эллипсоида Красовского [11].

Листинг программы, реализующей данный алгоритм, представлен на рис. 4. Здесь вектор-строки исходных координат широты и долготы даны в обобщенном виде:

$$a_{web} = [a(i)] \text{ и } b_{web} = [b(i)] (i = 1 \dots N),$$

где $a(i)$, $b(i)$ – географические координаты (в десятичных градусах); $N = n + m$ – количество элементов логистической цепи проекта, влияющих на принятие решений о размещении РЦ.

```
function radweb
aweb=[a(1) a(2) ... a(N)]; %координаты широты%
bweb=[b(1) b(2) ... b(N)]; %координаты долготы%
for i=1:N
    rad(i)=(aweb(i)*pi)/180;
end
sh=[rad]; %координаты широты в радианах%
for k=1:N
    n(k)=fix((fix(bweb(k))+6)/6); %номер географической зоны%
    no(k)=(6*n(k)-3);
    rad(k)=(bweb(k)-no(k))*pi/180;
end
dol=[rad]; %координаты долготы в радианах%
for m=1:N
    q(m)=cos(sh(m));
    qk(m)=q(m)^2;
    a0(m)=32140.404-(135.3302-(0.7092...
    -0.004*qk(m))*qk(m))*qk(m);
    a3(m)=(0.3333333+0.001123*qk(m))*...
    *qk(m)-0.1666667;
    a4(m)=(0.25+0.00252*qk(m))*...
    *qk(m)-0.04166;
    a5(m)=0.0083-(0.1667...
    -(0.1968+0.004*qk(m))*qk(m))*qk(m);
    a6(m)=(0.166*qk(m)-0.084)*qk(m);
    a7(m)=6399698.902-(21562.267...
    -(108.973-0.612*qk(m))*qk(m))*qk(m);
    lk(m)=dol(m)^2;
    nlk(m)=a7(m)*lk(m);
    x(m)=6367558.4969*sh(m)-(a0(m)-...
    (0.5+(a4(m)+a6(m)*lk(m))*lk(m))*...
    *nlk(m))*sin(sh(m))*q(m);
    y(m)=(500000+(1+(a3(m)+a5(m)*lk(m))*...
    *lk(m))*dol(m)*a7(m)*q(m));
end
a=[x] %плоская прямоугольная широта%
b=[y] %плоская прямоугольная долгота%
n=[n] %номер зоны%
```

Рис. 4. Листинг программы для перевода географических координат в плоские прямоугольные

Выходные данные формируются в виде вектора. При этом, учитывая зональность системы прямоугольных координат [11], в программе дополнительно выводится вектор-строка, определяющая номер географической зоны.

Етап 3. Найти координаты РЦ (x_0, y_0) путем минимизации функции (1). Аналитический подход предполагает решение системы дифференциальных уравнений вида [12]:

$$\frac{\partial S(x, y)}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial S(x, y)}{\partial y} = 0,$$

что связано с вычислительными трудностями.

В работе [12] приведен ряд численных методов, позволяющих найти минимум функции (1). Однако увеличение количества элементов логистической цепи приводит к существенному усложнению задачи оптимизации. Поэтому использование компьютерного моделирования позволяет значительно упростить вычислительный процесс.

Листинг программы для нахождения координат размещения РЦ, дающих минимальное значение функции (1), представлен на рис. 5.

```
function f=LC(x)
global a b v fi k
a=[a(1) a(2) ... a(N)]; %прямоугольные координаты широты%;
b=[b(1) b(2) ... b(N)]; %прямоугольные координаты долготы с учетом зоны%;
v=[v(1) v(2) ... v(N)]; %весовой коэффициент, характеризующий объемы поставок%;
fi=[fi(1) fi(2) ... fi(N)] %весовой коэффициент, характеризующий транспортный тариф%;
f=0;
for k=1:N
    f=f+sum(v(k)*fi(k)*sqrt((x(1)-a(k))^2+(x(2)-b(k))^2));
end
```

Рис. 5. Программа для нахождения оптимальных координат размещения РЦ

При этом особое внимание необходимо уделить нахождению весовых коэффициентов φ_k и v_k , характеризующих объемы поставок и транспортные тарифы соответственно. Они задаются векторами

$$v=[v(i)] \text{ и } fi=[fi(i)] \quad (i = \overline{1, N}).$$

Етап 4. Учитывая географическую привязку, проверить полученные координаты на допустимость. Если координаты недопустимы (например, совпадают с элементами инфраструктуры, жилищного фонда и пр.), то ввести ограничения в виде функции (2). Листинг соответствующей программы представлен на рис. 6.

```
function [c, ceq]=LSconstr(x)
global a b v fi k
c=[];
c=[c; sqrt((v(k)*fi(k)*(x(1)-a(k))^2+(v(k)*fi(k)*(x(2)-b(k))^2)-c];
ceq=[];
end
```

Рис. 6. Листинг программы, задающей ограничения на местоположение РЦ

Етап 5. Решить задачу получения координат с учетом ограничений, на основании которых сформировать перечень районов размещения РЦ. Внести предложения по изменению и обновлению действующих графиков доставки.

Етап 6. Полученные данные направить руководству проекта для принятия решений о размещении РЦ при проектировании логистической цепи проектов развития.

Оценка достоверности

Как уже отмечалось, решением одной из фундаментальных логистических задач «о размещении» занимались многие специалисты. В частности в работах [5, 8, 9, 12] проведен сравнительный анализ методов, рассмотрены их недостатки, определена область использования. Среди существенных недостатков называют следующие: - каждый из рассмотренных методов дает разные значения координат; - получаемые координаты не всегда оптимальны, так как не дают минимума целевой функции; - иногда получаемые координаты недопустимы, так как отсутствие географической привязки не позволяет исключить из рассмотрения участки, где размещение строительных объектов запрещено, и пр.

Предложенный метод, основанный на многокритериальной оптимизации, позволяет устранить эти недостатки, а применение средств компьютерного моделирования не только ускоряет процесс расчета, но и позволяет найти необходимые данные с требуемой точностью.

Для оценки достоверности предложенного метода возьмем исходные данные, представленные в работе [12] (табл. 1). Результаты нахождения координат разными методами, в том числе с помощью разработанного метода, представлены в табл. 2.

Они показывают незначительное отклонение в значениях функции $S(x, y)$, полученной при различных подходах к определению координат, но значения самих координат, особенно по оси y , существенно отличаются [8, 12].

Таблица 1

Исходные данные для анализа

№ элемента логистической цепи	Объемы поставок, v	Транспортный тариф, φ	Корд-ты	
			x_i	y_i
1.	300	1	0	575
2.	250	1	300	500
3.	150	1	550	600
4.	150	1	150	125
5.	75	1	275	300
6.	125	1	400	275
7.	100	1	500	100
8.	150	1	600	550

Таблица 2

Результаты нахождения координат

Название метода	Значение $S(x, y)$	Корд-ты	
		x_0	y_0
Метод «центра тяжести» [12]	334200	300	427
Метод «центра равновесной системы транспортных затрат» [12]	338250	303	400
Численный метод поиска минимума [12]	329950	300	500
Ускоренный алгоритм поиска [12]	330900	305	460
Моделирование на основе предложенного метода (без учета ограничений)	329918	300	492

При этом корректная постановка задачи оптимизации (выражение (1)) позволяют сделать вывод о достоверности результатов, полученных с помощью предложенного метода (последняя строка табл. 2).

Графическая иллюстрация процесса нахождения оптимальных координат представлена на рис. 7.

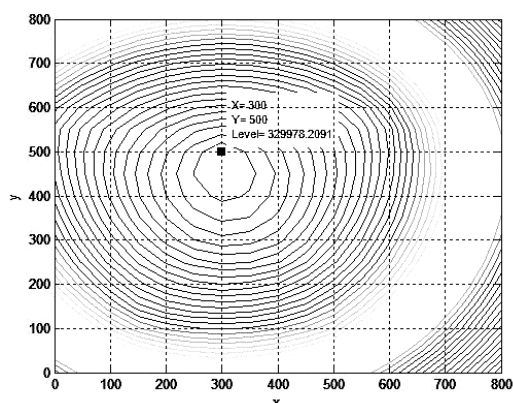


Рис. 7. Графическое представление результатов расчета координат

Рассмотрим, как влияют весовые коэффициенты на значение координат. Оценим влияние транспортного тарифа на значения координат. Предположим, величина транспортного тарифа учтена в виде весового коэффициента ϕ . При этом будем предполагать, что значение $\phi_k > 1$, означает, что данное направление характеризуется низкой доступностью (нет прямого пути между элементами логистической цепи, низкое качество дорожного покрытия заставляет искать объездные маршруты и т.п.). Тогда, чем сложнее добраться до места назначения, тем выше транспортный тариф, тем дороже стоимость доставки, а значит, значение целевой функции $S(x,y)$ будет увеличиваться (рис. 8).

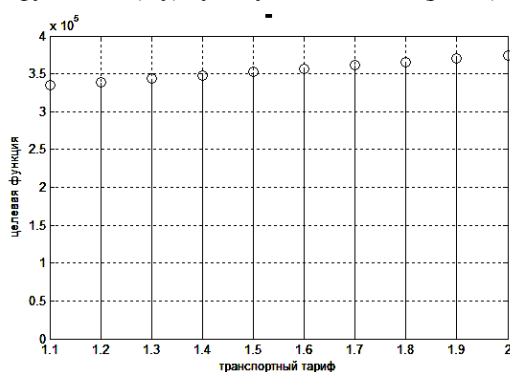


Рис. 8. Зависимость целевой функции $S(x,y)$ от величины транспортного тарифа

На примере изменения тарифа для седьмого элемента логистической цепи оценим, как влияет его изменение на значение координат. Результаты моделирования представлены в табл. 3, где первая строка соответствует исходным данным (табл. 1 и 2), вторая – показывает, как поменялись координаты при увеличении тарифа в 10 раз. Видим, что увеличение транспортного тарифа приводит к изменению значений оптимальных координат, т.е., чем сложнее добраться до места назначения, тем ближе к нему необ-

ходимо расположить РЦ. Полученные результаты моделирования подтверждают выводы, сделанные в работах В. Лаунхарда и А. Вебера [9].

Таблица 3

Исследование влияния транспортного тарифа на местоположение РЦ

№	v_7	ϕ_7	Координаты элемента		$S(x,y)$	Оптимальные координаты	
			x_7	y_7		x_0	y_0
1	100	1	500	100	329918	300	492
2	100	10	500	100	561779	464	159

Оценим влияние объема поставок на значения координат. Так как в исходных данных (работа [12]) объем поставок взят в натуральных единицах, при моделировании объем поставок также принят в натуральных величинах. Проведем моделирование, изменяя объемы поставок для седьмого элемента логистической цепи. Отметим, что с увеличением объема поставок значение функции $S(x,y)$ также увеличивалось (рис. 9). Изменение значений оптимальных координат при увеличении объема поставок представлено в табл. 4, где первая строка соответствует исходным данным (работа [12]).

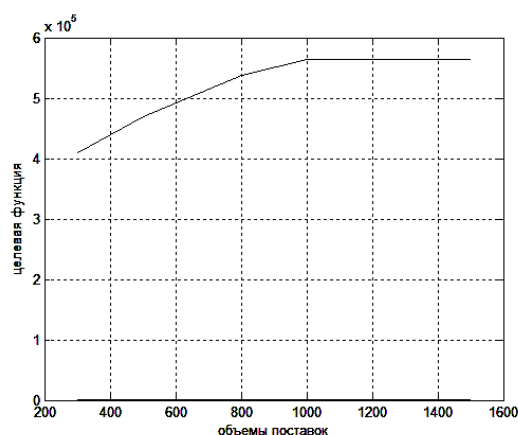


Рис. 9. Зависимость целевой функции $S(x,y)$ от объемов поставок

Таблица 4

Исследование влияния объема поставок на местоположение РЦ

№	v_7	Координаты элемента		$S(x,y)$	Оптимальные координаты	
		x_7	y_7		x_0	y_0
1	100	500	100	329918	300	492
2	500	500	100	467687	369	316
3	800	500	100	530797	400	275
4	1000	500	100	561779	464	159

Несложно заметить, что, чем выше спрос в точке потребления, тем ближе к ней необходимо располагать РЦ. Это предположение впервые отмечено в работе немецкого экономиста И. фон Тюнена [8, 9] и также подтверждается результатами моделирования.

Таким образом, достоверность предложенного подхода подтверждается совпадением результатов моделирования с ранее известными предположениями и результатами.

Заключення

Современный проект развития – это проект, целью которого является оптимизация (совершенствование) существующих или введение новых процессов в деятельность предприятий и компаний для достижения их стратегических целей. При этом проект успешен только тогда, когда все требуемые ресурсы уже доступны или могут быть доступны в необходимом объеме в нужное время с требуемой эффективностью. А это во многом зависит от развитой логистической инфраструктуры проекта.

Предложенная в работе модель процесса выбора и метод, обосновывающий решения о размещении распределительного центра, позволяют системно решать задачу локализации элементов логистической цепи. Учет факторов, выступающих не только в виде линейных коэффициентов, но и в виде нелинейных ограничений, существенно отличает предложенный подход от известных.

Компьютерное моделирование и программная реализация некоторых этапов разработанного метода позволили оценить достоверность предложенного подхода и сделать вывод о непротиворечивости полученных результатов существующим методам.

Дальнейшие исследования нужно ввести в направление решения практических задач «о размещении» объектов инфраструктуры проектов развития.

Список литературы

1. Коваленко, О.М. Сучасні аспекти забезпечення конкурентоспроможності промислового підприємства [Текст] / О.М. Коваленко, О.В. Станіславик // Економіка. Фінанси. Право. Сер. Економіка. – 2015. – № 10. – С. 4 – 7.
2. Создание и развитие конкурентоспособных проектно-ориентированных предприятий [Текст]: монография / В.Н. Бушуев [и др.]. – Николаев: Изд-во Торубары, 2011. – 260 с.
3. Новопісна, Е.В. Чинники, що впливають на формування логістичних витрат підприємства [Текст] /

Е.В. Новопісна // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. / Східноукраїнськ. нац. ун-т імені В. Даля. – Луганськ, 2009. – № 4(32). – С. 123 – 129.

4. Lee, Hsiao-Hui The role of innovation in inventory turnover performance [Text] / Hsiao-Hui Lee, Jianer Zhou, Po-Hsuan Hsu // Decisions Support Systems. – 2015. – Vol. 79. – P. 35-44.

5. Копылова О.А. Методика оценки вариантов размещения региональных логистических центров: автореф. ... канд. техн. наук. : 05.22.01 / Копылова Олеся Александровна. – Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – Екатеринбург, 2014. – 20 с.

6. Соколова, А. Какие технологии нужны в логистике? [Электронный ресурс] / А. Соколова. – Режим доступа: <http://rb.ru/howto/logistics-ideas>. – 6.01.2016 г.

7. Данишина, С.Ю. Функциональная модель процесса управления материальными ресурсами проектов создания новой техники [Текст] / С.Ю. Данишина // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 4. – С. 11-16.

8. Данишина С.Ю. Проблема размещения распределительного центра для проектов развития [Текст] / С.Ю. Данишина // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. / Східноукраїнськ. нац. ун-т імені В. Даля. – Луганськ, 2016. – № 3 (59). – С. 22-28.

9. Бауэрсокс, Д.-Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок [Текст]: пер. с англ. / Д.-Дж. Бауэрсокс, Д.-Дж. Клосс. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 640 с.

10. Новожилова М.В. Моделирование и оптимизация децентрализованной сети поставок в условиях бюджетных ограничений [Текст] / М.В. Новожилова, И.А. Чуб, М.Н. Муринов // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 81 – 91.

11. Ештокин, А.Н. Топография с основами геодезии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Н. Ештокин. – Режим доступа: <http://topography.ltsu.org>. – 9.12.2016 г.

12. Лукинский, В.С. Модели и методы теории логистики [Текст]: учеб. пособие / В.С. Лукинский, И.А. Цвирицько, Ю.В. Малевич; под ред. В.С. Лукинского. – СПб: Питер, 2003. – 176 с.

Надійшла до редколегії 6.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНОГО ЦЕНТРУ ДЛЯ ПРОЕКТІВ РОЗВИТКУ

С.Ю. Данишина

Успішна реалізація проектів розвитку суттєво залежить від їхнього ресурсного забезпечення. Розглянуто функціональну модель процесу розподілу ресурсів проекту, яка забезпечує їхню доступність у довільний момент часу. Обґрунтовано, що вирішення завдання розподілу ресурсів значною мірою залежить від структури логістичного ланцюга проекту. Розроблено функціональну модель процесу вибору місця розподільного центру й метод, що дозволяє обґрунтовано ухвалювати рішення щодо розміщення. Наведено програмну реалізацію деяких етапів методу. Проведено оцінку вірогідності запропонованого підходу.

Ключеві слова: матеріальний потік, логістичний ланцюг, координати, функціональна модель, транспортний тариф, обсяги постачання, оцінка вірогідності.

MODELING OF THE PROCESS OF CHOICE LOCATION OF THE DISTRIBUTION CENTRE FOR THE PROJECTS OF DEVELOPMENT

S.Yu. Danshyna

Successful implementation of development projects depends on their resource delivery. A functional model of the process of project resource distribution, which ensures their availability at any time, is considered. It is substantiated, that the solution of the problem of resource distribution essentially depends on the structure of the logistic chain of the project. A functional model of the process of choosing location of the distribution center is developed and method, that allows making decisions on location reasonably, is developed too. The program realization of some stages of this method is resulted. The estimation of veracity of the proposed approach is carry out.

Keywords: material flow, logistics chain, the coordinates, functional model, transport tariff, scope of supply, estimation of veracity.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье рассматриваются математические модели планирования многономенклатурного производства. Выделяются случайные факторы, которые следует учитывать при формализации задач планирования объемов производства и загрузки оборудования. Производится синтез моделей планирования объемов производства в детерминированном и в стохастическом вариантах. Предлагается модель закрепления изделий за рабочими местами для реализации планируемых объемов выпуска.

Ключевые слова: математическое моделирование, многономенклатурное производство, линейное программирование, неопределенные факторы.

Введение

Одной из актуальных проблем планирования производства является совместное решение задач планирования объемов производства и загрузки оборудования. Для оценки реализуемости объемных характеристик планов многономенклатурного производства следует использовать модели задач оптимизации. Они позволяют определить оптимальные объемы производства с учетом ресурсных ограничений и целевых функций, определяющих максимизацию прибыли. Если полученные значения объемов производства и ожидаемой прибыли от реализации новой продукции не меньше планируемых, то план производства продукции является реализуемым.

Постановка задачи

Обычно в подсистеме планирования производственного предприятия используются модели в детерминированной постановке [1, 2]. Однако, при значительной неопределенности информации, как о внешней среде, так и условиях производства, более адекватными будут модели с параметрами, представленными в виде прогнозных интервальных значений.

Задача планирования и оценивания многономенклатурного производства на прединвестиционном этапе состоит из двух последовательных этапов:

- оценка объемов производства продукции с учетом наличия сырьевых, энергетических, складских и других ресурсов, прогнозируемой прибыли от реализации продукции и затрат на производство и хранение [3];

- оценка требуемого состава оборудования предприятия с учетом оптимального плана производства, состава и технических характеристик оборудования [4].

Общие подходы к решению указанных задач определяются моделями и методами теории принятия решений [5, 6]. Однако, учет специфики каждой из них требует применения соответствующих моделей.

При определении реализуемого плана производства учитывается ряд факторов: обеспеченность сырь-

евыми и производственными ресурсами; уровень материально-технического обеспечения; уровень информационного обеспечения о состоянии элементов системы производства и состоянии среды, в которой это производство функционирует; уровень методического и математического обеспечения решения задачи оптимизации плана производства, содержащего информационные технологии расчета прибыли и потерь, учета неопределенности исходных данных.

Получаемый в результате решения соответствующей оптимизационной задачи план производства содержит перечень выпускаемых номенклатур и объемы их производства. Эти данные используются для решения задачи планирования занятости оборудования. Структура подсистемы планирования производства приведена на рис. 1.

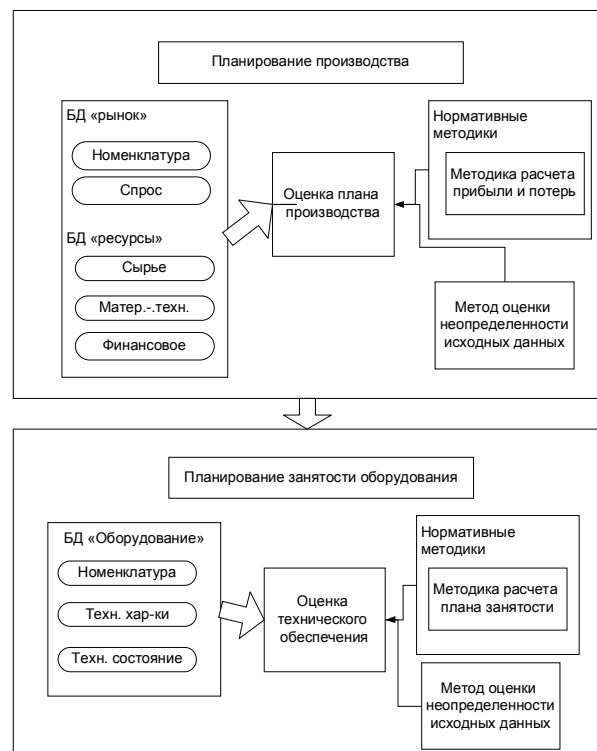


Рис. 1. Структура подсистемы планирования производства и занятости оборудования

Основной задачей планирования производства является определение оптимальных параметров организации производственного процесса, обеспечивающих его наиболее эффективную реализацию [7].

Планирование производства включает две взаимосвязанные задачи: планирование производственной программы и планирование выполнения производственной программы. Вторую из этих задач обычно называют задачей планирования занятости оборудования. Основное содержание первой задачи состоит в установлении номенклатуры и объемов производства, согласованных с возможностями сбыта продукции, определяемых спросом.

Оптимизационная задача планирования объема производства

Рассмотрим математическую модель задачи планирования объема производства. Однопродуктовая задача указанного типа формулируется следующим образом [2]. Обозначим: x_t – количество продукции, которое планируется произвести в t -м периоде, $t = 1 \dots T$; y_t – количество продукции, которое необходимо произвести для удовлетворения требований рынка в t -м периоде; p_t – цена единицы продукции в t -м периоде при реализации, $c_t(x_t)$ – прогнозируемая стоимость производства единицы продукции в зависимости от объема производства; a – планируемый уровень незавершенного производства; b – прогнозируемая емкость рынка. Требуется определить набор x_t , $t = 1 \dots T$, максимизирующий

$$F(X) = \sum_{t=1}^T p_t y_t - \sum_{t=1}^T c_t(x_t) x_t$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$a + \sum_{t=1}^{T-1} x_t \geq \sum_{t=1}^T y_t, \quad a + \sum_{t=1}^T x_t \leq b, \quad x_t \geq 0, \quad t = \overline{1, T}.$$

Если $c_t(x_t)$ имеет вид

$$c_t(x_t) = c_{0t} + c_{1t}x_t + c_{2t}x_t^2,$$

то эта задача становится квадратической и решается методами нелинейного программирования [8]. Недостатки приведенной модели следующие: однопродуктовость и детерминированность объема производства.

Первый из этих недостатков устраняется в модели, в которой учитываются материальные затраты на изготовление продукции. При этом используются следующие обозначения: d_{ij} – норма расхода материала j -го вида на изготовление единицы продукции i -го вида; $i = 1 \dots m$; $j = 1 \dots n$, N_{it} – объем спроса на продукцию i -го вида в t -й период, $t = \overline{1, T}$; $\underline{y}_j, \overline{y}_j$ – допустимые минимальный и максимальный запасы материалов j -го вида; c_j – стоимость единицы материала j -го вида; x_{it} – планируемый объем производства продукции i -го вида в t -й период.

Оптимизационная модель данной задачи: найти набор $X = (x_{it})$, минимизирующий

$$L(X) = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m d_{ij} c_j x_{it}$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$x_{it} \geq N_{it}, \quad i = \overline{1, m}, \quad t = \overline{1, T},$$

$$\underline{y}_j \leq \sum_{i=1}^m d_{ij} x_{it} \leq \overline{y}_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, T}.$$

Указанная модель является статической, поскольку изменения размеров запасов во времени в ней не учитываются. Кроме того, в ней предполагается детерминированность спроса, объем которого для каждого периода времени считается известным. Этот недостаток отсутствует в модели, в которой можно определить множество возможных состояний спроса. При этом вводятся матрица с элементами k_{ij} – количество единиц изделий i -го вида, которые могут быть реализованы при j -м варианте спроса, и матрица с элементами c_{ij} – соответствующая цена реализации этих изделий, $i = 1 \dots m$; $j = 1 \dots n$. Если z_i – издержки производства изделия i -го вида, которые не зависят от спроса, то прибыль a_{ij} в результате реализации единицы изделия i -го вида при j -м варианте спроса, определяется формулой

$$a_{ij} = c_{ij} - z_i, \quad i = 1 \dots m; \quad j = 1 \dots n,$$

При этом прибыль от реализации k_{ij} изделий i -го вида при j -м варианте спроса будет равна

$$p_{ij} = a_{ij} k_{ij} = (c_{ij} - z_i) k_{ij}.$$

Таким образом, формируется матрица $P = (p_{ij})$, которая рассматривается как платежная матрица антагонистической игры. Строкам матрицы соответствуют чистые стратегии производства, а столбцам – чистые стратегии рыночного спроса.

Оптимальное распределение объемов выпуска продукции соответствует оптимальной смешанной стратегии предприятия. Искомая стратегия определяется путем сведения матричной игры к задаче линейного программирования. Недостаток этой модели состоит в том, что она приводит к оптимальной чистой стратегии, не соответствующей многономенклатурному производству.

Необходимость устранения указанных недостатков обуславливает применение моделей планирования с учетом неопределенности [7].

Оценка плана производства с учетом неопределенных факторов

Рассмотрим задачу планирования производства с использованием стохастического и нечеткого представления неопределенных факторов. Обозначим: r_i – количество ресурса i -го типа, расходуемого на изготовление единицы j -го продукта, $i = 1 \dots m$; $j = 1 \dots n$, x_j – планируемое для производства количество единиц j -го продукта, $j = 1 \dots n$, Q_i – имеющийся в наличии запас ресурса i -го типа, $\varphi(\theta_j)$ – плотность распределения случайной величины моделируемого объема производства продукции j -го вида, $\mu_j(\theta_j)$ – функция принадлежности нечеткой величины воз-

можного объема производства продукции j -го вида, G_j – средняя прибыль от реализации единицы продукции j -го вида, $G_j = \beta_j - c_j$, β_j – средний доход от реализации единицы продукции j -го вида, c_j – средние затраты на изготовление единицы продукции j -го вида, α_j – средние затраты на хранение единицы продукции j -го вида на складе предприятия.

Рассмотрим ситуацию, когда ни плотности распределения случайных величин возможного объема производства, ни их функции принадлежности не известны, однако задан набор функций $f_j(x_j)$, определяющих средний уровень поставки продукции соответствующего вида при производстве этой продукции в количестве x_j , $j = 1 \dots n$. Тогда средняя прибыль от производства продукции j -го вида в количестве x_j .

$$g_j(x_j) = G_j f_j(x_j).$$

При этом суммарная средняя прибыль от плана производства $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ будет равна

$$G(X) = \sum_{j=1}^n G_j f_j(x_j)$$

В соответствии с законом убывающей эффективности производства для всех $f_j(x_j)$ имеет место

$$f'_j(x) > 0, f''_j(x) < 0.$$

Этими свойствами обладает функция

$$f_j(x_j) = x_j^{\alpha_j}, \alpha_j \in [0, 1].$$

При этом
$$G(X) = \sum_{j=1}^n G_j x_j^{\alpha_j}. \quad (1)$$

План производства $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ должен быть согласован с ограничениями, связанными с расходом ресурсов при производстве продукции

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} x_j \leq Q_i, i = \overline{1, m}, x_j \geq 0, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Ограничения (2) записаны в виде неравенств, что предполагает возможность неполного израсходования ресурса. Если это не так, то стандартным образом осуществляется переход от неравенств к равенствам. Тогда задача формирования рационального плана сведется к отысканию неотрицательного вектора X , максимизирующего (1) и удовлетворяющего ограничениям (2) в форме равенств. Эта задача может быть решена методом неопределенных множителей Лагранжа. Сформируем функцию Лагранжа

$$\Phi(X, \lambda) = \sum_{j=1}^n G_j x_j^{\alpha_j} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} x_j - Q_i \right),$$

далее
$$\frac{d\Phi(X, \lambda)}{dx} = G_j \alpha_j x_j^{\alpha_j-1} - \sum_{i=1}^m \lambda_i r_{ij} = 0, j = \overline{1, n},$$

т.е.
$$x_j = \left(\sum_{i=1}^m \lambda_i r_{ij} / (G_j \alpha_j) \right)^{1/(\alpha_j-1)}, j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим систему уравнений относительно λ_i :

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} \left(\sum_{i=1}^m \lambda_i r_{ij} / (G_j \alpha_j) \right)^{1/(\alpha_j-1)} = Q_i, i = \overline{1, m}.$$

Нелинейная относительно набора λ_i система уравнений решается численно. Решение $(\lambda_1^*, \dots, \lambda_m^*)$ подставляется в (3) для расчета компонентов плана.

Оптимизационная задача закрепления оборудования

После решения задачи моделирования планируемых к производству объемов продукции и оценки соответствующих параметров производства (прибыльности, ресурсоемкости и др.) необходимо определить возможность реализации планируемых объемов продукции с учетом реальной технической оснащенности производства.

Важным элементом планирования производства является задача определения и обеспечения производственного процесса на уровне наибольшей его производительности в конкретных условиях. Основой планирования является информация о распределении оборудования в течение будущего периода для производства изделий по каждой из номенклатур. Сформулируем модель задачи с учетом многофункциональности оборудования, затрат на производство и требований к плану производства.

Рассмотрим задачу закрепления оборудования, которая формулируется следующим образом [5]: найти закрепление типов изготавливаемых изделий за каждым рабочим местом или их группой, обеспечивающее минимальные затраты ресурсов на выполнение плана выпуска изделий. Такая задача возникает, если для обработки одних и тех же деталей может быть использовано различное оборудование (после соответствующей переналадки). При этом появляется возможность маневрирования ресурсами мощностей путем передачи обработки с перегруженных на недогруженные группы оборудования.

Сформулируем математическую модель этой задачи в терминах линейного программирования. Вводятся следующие обозначения: d_{ij} – средний расход ресурса при изготовлении одного изделия j -го типа оборудованием i -го типа, $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$; x_j – планируемое для изготовления количество изделий j -го типа; a_i – располагаемый ресурс оборудования i -го типа. Задача планирования формулируется следующим образом: найти набор $x = \{x_j\}$, максимизирующий суммарное количество изготовленных изделий

$$R(x) = \sum_{j=1}^n x_j$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_j \leq a_i, i = \overline{1, m}; x_j \geq 0, j = \overline{1, n}.$$

В этой модели предполагается, что в изготовлении изделий каждого вида участвует оборудование всех типов, расходуя при этом свой ресурс. При

этом не учитывается, что в соответствии с технологическим процессом изготовления изделий на практике необходимо реализовать некоторую последовательность операций, каждая из которых не обязательно выполнима на любом из типов оборудования. Кроме того, в модели не учитывается, что при изготовлении многих видов продукции используется многофункциональное оборудование, на котором может быть выполнено (после переналадки) несколько необходимых операций.

Определим переменные: a_{ijk} – затраты времени на производство единицы продукции j -го вида на станках i -й группы по k -му варианту технологического процесса; m – число групп оборудования; n – число наименований продукции; S – число вариантов технологического процесса; x_{jk} – количество единиц продукции j -го вида, планируемое для выпуска k -м вариантом технологического процесса; Φ_i – располагаемый фонд временного ресурса i -й группы оборудования; N_j – планируемое для изготовления число единиц продукции j -го вида, в соответствии с прогнозом спроса. Тогда суммарные затраты времени на изготовление планируемой продукции по всем группам оборудования определяются выражением

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K a_{ijk} x_{jk}.$$

Задача состоит в отыскании плана загрузки оборудования $X = (x_{jk})$, минимизирующего $L(X)$ и удовлетворяющего ограничениям

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K a_{ijk} x_{jk} \leq \Phi_i, \quad \sum_{k=1}^K x_{jk} \geq N_j, \\ x_{jk} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, K}.$$

Полученная задача определяет минимизацию времени производства с учетом вариантов технологических процессов, решается общими методами линейного программирования [2].

Выводы

Рассмотрены математические модели планирования однономенклатурного и многономенклатурного производства. Показано, что задача оценки

планов производства в условиях случайного спроса на продукцию, с учетом уровня обеспеченности ресурсами, прибыли от реализации продукции, потерь от дефицита сводится к задаче математического программирования на основе оптимизационных моделей. Сформирована модель максимизации ожидаемой прибыли при ресурсных ограничениях с учетом стохастических параметров. При этом объем производства задан в виде плотности распределения случайной величины. Определен способ решения задачи с помощью функции Лагранжа.

Результаты работы могут быть использованы при принятии решений о возможности выполнения планов по выпуску инновационной продукции с учетом характеристик производства, в том числе, имеющегося оборудования.

Список литературы

1. Косачев А.В. Модель оптимального управления долгосрочным развитием интеллектуального предприятия / А.В. Косачев, В.Е. Лялин, В.В. Семенов // *Аудит и финансовый анализ*. – 2006, № 4. – С. 314 – 349.
2. Карманов В.Г. Математическое программирование / В.Г. Карманов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 264 с.
3. Кочурова Л. Планирование в условиях развития рынка / Л. Кочурова // *Проблемы теории и практики управления*. 2010. – № 1. – С. 35-40.
4. Серая О.В. Распределительная задача линейного программирования / О.В. Серая // *Математические методы и модели*, 2013. – Вып. 2 (109). – С. 167 – 170.
5. Разработка и принятие решений в управлении инновациями / И.Л. Туккель, С.Н. Яшин, С.А. Макаров, Е.В. Кошелев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 352 с.
6. Эддоус М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стэнфилд. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.
7. Ханк, Д.Э. Бизнес-прогнозирование: пер. с англ. [Текст] / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А. Дж. Райтс. – 7-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 656 с.
8. Габасов Р. Методы оптимизации / Р. Габасов, Ф. М. Кириллова, В. В. Альсевич, А. И. Калинин, В. В. Крахотко, Н. С. Павленок. – Минск : Издательство «Четыре четверти», 2011. – 472 с.

Надійшла до редколегії 27.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.С. Федорович, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА З УРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Д.Е. Лисенко

У статті розглядаються математичні моделі планування многономенклатурного виробництва. Виділяються випадкові чинники, які слід враховувати при формалізації задач планування обсягів виробництва і завантаження обладнання. Проводиться синтез моделей планування обсягів виробництва в детермінованому і в стохастичному варіантах. Пропонується модель закріплення виробів за робочими місцями для реалізації запланованих обсягів випуску.

Ключові слова: математичне моделювання, багато-номенклатурних виробництва, лінійне програмування, невизначені фактори.

OPTIMIZATION MODELS OF PRODUCTION PLANNING ACCORDING TO UNCERTAINTY

D.E. Lysenko

In the article mathematical models of planning of multinomenclature production are considered. There are random factors that should be taken into account when formalizing the tasks of planning production volumes and loading equipment. Synthesis of models of production volume planning in deterministic and stochastic variants is carried out. The model of fastening of products behind workplaces for realization of planned volumes of release is offered.

Keywords: mathematical modeling, multinomenclature production, linear programming, uncertain factors.

УДК 65.014

О.В. Малеева, Н. Ю. Носова, Р.В. Артюх

Національний аерокосмічний університет імені Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПРОЕКТНЫХ ЗНАНИЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРОЕКТА И КАТЕГОРИЙ ЕГО ПЕРСОНАЛА

В данной статье рассмотрены проблемы подбора и адаптации существующих и заранее сплоченных команд к предстоящему проекту. Определены основные типы элементов организационной структуры предприятия. Представлена процедура сопоставления областей знаний и функциональных ролей команды управления проектом. Сгруппированы знания о проекте по отдельным категориям. Разработан комплексный метод представления и оценки проектных знаний, который основан на онтологии знаний о проектах и на онтологии знаний команды проекта. Предложенный метод был апробирован на самолетостроительном предприятии на примере проекта разработки разведывательно-ударного комплекса для действия в горных условиях. В статье приведены основные результаты внедрения данного метода.

Ключевые слова: знания команды проекта, области знаний, функциональные роли команды, содержание проекта.

Введение

В условиях изменчивой внешней среды и нестабильного развития многих предприятий Украины, все больше внимания уделяется вопросу эффективного управления проектом. При этом для успешной реализации проекта большое значение имеет формирование подходящей команды проекта. Потому как ошибки на ранних стадиях развития проекта могут отобразиться на стоимости, качестве и сроках выполнения проекта. Команда проекта является специфической организационной структурой, которая формируется на время жизненного цикла проекта. От того, насколько успешно сформирована команда и насколько эффективно работают ее участники, от профессиональных, организационных и личностных качеств каждого участника команды зависит результат управления проектом. Поэтому обучение и управление профессиональным уровнем знаний являются основными вопросами, которые необходимо рассматривать при формировании и дальнейшем управлении команды проекта.

1. Постановка проблемы

Необходимо заметить, что существующие модели и методы управления командой проекта не обеспечивают в полном объеме решения такой актуальной задачи, как усовершенствование процесса формирования и управления командой проекта путем подбора и адаптации уже сработанной команды под проект с определенными требованиями.

Современные методы изучения персонала предполагают, с одной стороны, изучение индивидуальных характеристик и способностей работников для определения их потенциала, а с другой - выявление количественных и качественных требований к персоналу с учетом перспектив развития организации, появления новых направлений работы. Эту проблему в

своей работе поднимал Thomas O. Davenport [1]. В работах А.Я. Кибанова [2], Д.Э. Лысенко [3], Т.Д. Зинкевич-Евстигнеева, Д.Ф. Фролова, Т.М. Грабенко [4] представлена классификация методов, применяемых для анализа и построения системы управления персоналом организации. Также методиками и методами оценки персонала, их классификацией и определениями занимались Мазур, Шапиро [5].

Целью данной статьи является создание процедуры сопоставления областей знаний и функциональных ролей команды управления в виде комплексного метода представления и оценки проектных знаний для научно-технических проектов разработки и производства сложной техники

2. Решение проблемы

Для проектов создания новой техники исполнителем является производственное предприятие, ориентированное на проектное управление [6]. В общем случае все элементы организационной структуры (персонал проекта) можно условно разделить на следующие типы: «руководители», «специалисты», «работчие», «служащие». Если рассмотреть типовое самолетостроительное предприятие и его организационную структуру, то к «руководителям» можно отнести заместителя директора по самолетостроительному производству, главного конструктора, главного технолога, заместителя директора по эксплуатации, заместителя директора по производству. Как правило, такого рода персонал «привязан» к специфике продукта и с ее изменением таким специалистам требуется адаптация к проекту и дополнительное обучение.

К «специалистам» можно отнести сотрудников конструкторского, научно-исследовательского, технологического отделов, отделов маркетинга, экономики, планового. Эти специалисты также требуют адаптации к новому проекту и дополнительных знаний для реализации проекта.

К «рабочим» отнесем тех специалистов, которые связаны непосредственно с производственной частью, т.е. работают в производственных цехах (мастера и рабочие).

К «служащим» относятся те отделы и специалистов, работа которых в малой степени связана со спецификой продукта. Считается, что специалистам, относящиеся к четвертому типу персонала, при изменении назначения продукта дополнительное обучение не понадобится, они легко адаптируются под

проект. К таким специалистам можно отнести финансовый, кадровый отделы, отдел закупок, материальный склад, отдел труда и заработной платы, ИТ-отдел, отдел экономической безопасности.

На основе анализа знаний, требуемых для реализации проекта создания новой техники [7] разработана схема соответствия областей знаний персонала проекта и функциональных обязанностей перечисленных выше категорий исполнителей, представленная на рис. 1.

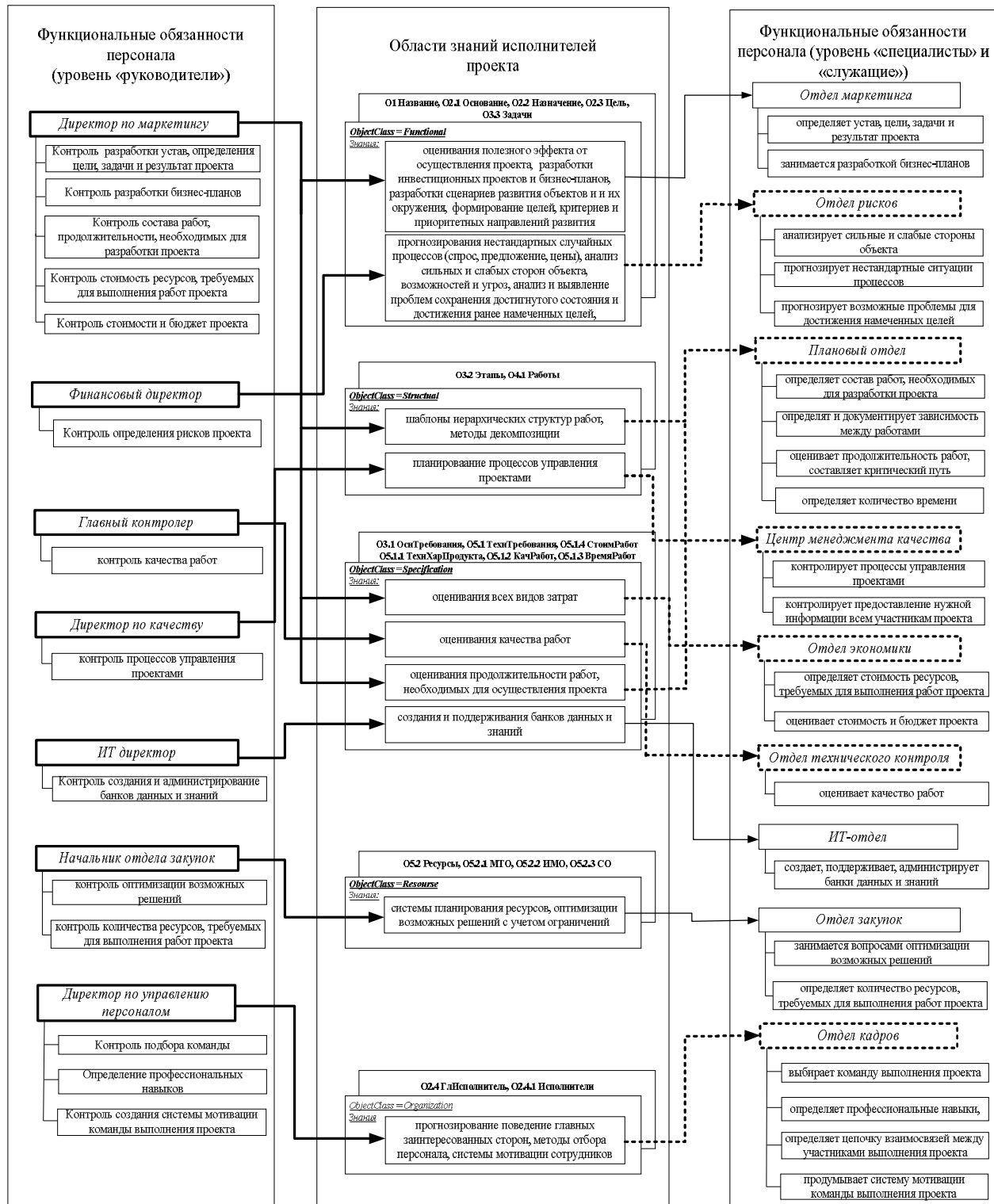


Рис. 1. Схема соответствия областей знаний и функциональных обязанностей персонала проекта

Для каждого из классов объектов, определяющих содержание проекта (Functional, Organization, Specification, Structural, Resource) с учетом его вида (в системе классификации) был выделен необходимый объем знаний, которым должен обладать специалист для полноценной реализации данного проекта. Отметим, что классификация проекта производилась по главной цели реализации, по степени инновационности, по отраслевой принадлежности, по длительности, по специфике конечного продукта, по функциональному направлению, по характеру привлеченных сторон [7].

Определим функциональные обязанности персонала проекта в соответствии с ролевым подходом в методологии управления проектом [6]. Роли команды проекта реализуются на уровне «руководители» и представлены следующими должностями:

- директор по маркетингу (менеджер по маркетингу);
- финансовый директор (финансовый менеджер);
- главный контролер (менеджер по качеству);
- директор по качеству (менеджер по качеству);
- ИТ директор (менеджер по информационному обеспечению);
- начальник отдела закупок (менеджер по закупкам);
- директор по управлению персоналом (менеджер по персоналу).

Исполнители проекта в модели разделены на два уровня. Уровень «специалисты» представлен следующими отделами: отдел маркетинга; ИТ отдел; отдел закупок;

Уровень «служащие» представлен следующими отделами: отдел рисков; плановый отдел; центр менеджмента качества; отдел экономики; отдел технического контроля; отдел кадров.

Далее, на основе системы знаний проекта (которая может быть представлена в виде семантической модели [8]) определяем, какими знаниями должны обладать участники проекта. Сопоставив с функциональными обязанностями участников проекта знания, входящие в класс Functional (функциональные характеристики новой продукции), можно сделать вывод, что этими знаниями должны обладать отдел маркетинга и отдел рисков, а также функцию контроля должен выполнять директор по маркетингу и финансовый директор. Знания, входящие в класс Structural (знания об этапах разработки и планируемых работах) необходимы сотрудникам планового отдела и центру менеджмента качества, а также для функции контроля директорам по маркетингу и качеству. Знания, входящие в класс Specification (знания проектной документации и требований к продукту) необходимы сотрудникам отдела экономики, технического контроля, планового и ИТ-отделов, и для выполнения функции контроля директору по маркетингу, главному контролеру и ИТ-директору. Знания, входящие в класс Resource (требования к ресурсному обеспечению проекта) требуются сотрудникам отдела закупок, для функции контроля - начальнику отдела закупок. Знания, входящие в класс Organization (требования к кадровому и организационному обеспечению проекта) необходимы сотрудникам отдела кадров, а для функции контроля - директору по управлению персоналом.

На основе проведенного анализа и разработанной схемы соответствия определены знания сотрудников исходя из специфики проекта, т.е. необходимый объем знаний для решения поставленных в проекте задач. Затем путем анкетирования каждого участника проходит процесс определения соответствия текущих знаний исполнителя требуемым проектными знаниям. Описанный подход является составной частью комплексного метода представления и оценки проектных знаний (рис. 2).

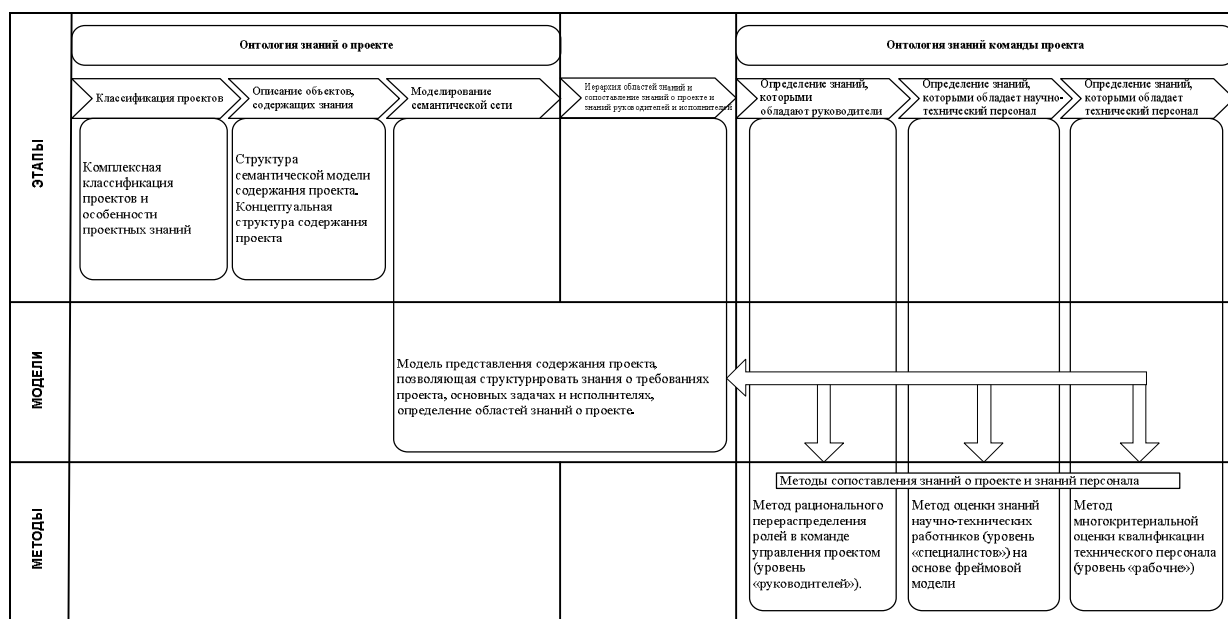


Рис. 2. Комплексный метод представления и оценки системы знаний проекта

Комплексний метод представлення і оцінки проектних знань оснований на онтологіях системи знань проекту і знань команди проекту.

Побудова онтології системи знань проекту включає в себе етап класифікації проекту, описання об'єктів, що містять знання і моделювання семантичної мережі. Була вироблена комплексна класифікація проектів, а також описані особливості проектних знань з урахуванням кожного типу проекту [7]. На цьому етапі також були описані елементи семантичної моделі, визначені вузли, зв'язи і їх атрибути, а також класи об'єктів, в подальшому дозволяють групувати знання в проекті. Результатом є семантична модель вмісту проекту.

Друга частина комплексного методу представлена онтологією знань персоналу проекту. Оскільки знання персоналу, що належить до категорій «руководителі», «спеціалісти» і «робітники», безпосередньо залежать від специфіки продукту (нового техніки), потрібно деякий час на адаптацію при зміні проекту виробництва, оцінка знань цих спеціалістів дуже важлива.

Для визначення і описання знань, якими володіють керівники, передбачається використовувати метод раціонального розподілу ролей в команді [9, 10]. Для визначення і описання знань, якими володіє «спеціаліст», розроблено метод оцінки знань науково-технічного персоналу на основі фреймової моделі [7]. Для визначення і описання знань, якими володіють «робітники», слід використовувати метод багатокритеріальної оцінки кваліфікації технічного персоналу.

Модель представлення вмісту проекту дозволила структурувати знання про вимогах проекту, основних завданнях і виконавцях, а також визначити області знань про проект і конкретний рівень знань цих або інших співробітників. Більш детально ця процедура представлена на рис. 2.

Розроблений комплексний метод був апробований на авіабудівельному підприємстві на прикладі проекту розробки розвідувально-ударного комплексу для дій в горах.

На основі технічного завдання на розробку складної техніки і вимог до проекту, було побудовано структуроване представлення системи знань проекту. Також була побудована семантична модель, що дозволило групувати і формалізувати наявні вимоги і знання про проект.

Далі з допомогою методу раціонального розподілу ролей в команді управління проектом були визначені ролі і роботи в команді управління проектом і розподілена навантаження між усіма учасниками по виконанню такої або іншої роботи. Таким чином, ні одна робота не була пропущена і ні один учасник команди управління

проектом не був ні перевантажений обов'язками, ні простаїв в роботі.

З використанням методу оцінки знань науково-технічних працівників на основі фреймової моделі були оцінені знання співробітників рівня «спеціалісти». Було проведено аналіз, наскільки персонал в цілому і кожен учасник окремо готові до виконання проекту (табл. 1).

Таблиця 1

Результати оцінки знань науково-технічних працівників

Спеціаліст	Оцінка [0-4]
Конструктор по створенню каркаса	0,9
Конструктор шасі	3
Технолог по частині фюзеляжа	4
Технолог по частині крила	2,5
Технолог по частині оперення і шасі	3,3
Технолог навіски двигателів	4
Технолог по розробці ТП шасі	3,4
Маркетолог	3,2
Економіст	1,6
Фінансист	3
Спеціаліст по кадрах	3,3
Спеціаліст по оцінці ризиків	2,7

Практично, оцінка персоналу показала невисокі результати, вистало лише звернути увагу на двох співробітників: конструктора по створенню каркаса комплексу і економіста. Після аналізу результатів було визначено, що заміна конструктора по створенню каркаса нерациональна, тому було прийнято рішення про підвищення його кваліфікації (дообучення).

Провівши такий же аналіз для посади економіста, було прийнято рішення про його заміну на економіста, який має досвід в роботі з подібним проектом. Знання вказаного спеціаліста повністю підходили до нового проекту і були «опережуючими» для попереднього проекту на той момент.

З використанням методу багатокритеріальної оцінки кваліфікації технічного персоналу були описані і оцінені знання співробітників рівня «робітники» (табл. 2).

Таблиця 2

Результати багатокритеріальної оцінки кваліфікації технічного персоналу

Спеціаліст	Значення функції корисності альтернатив
Мастер збірного цеху	0,997
Мастер цеху виробництва крила	1,129
Мастер цеху виробництва хвостового оперення	0,155
Мастер цеху виробництва хвостового відсіку фюзеляжа	1,08
Мастер цеху виробництва носової частини фюзеляжа	0,8675
Мастер цеху виробництва основної частини фюзеляжа	0,4175

Знання, умения и опыт мастера сборочного цеха, мастера цеха производства крыла, мастера цеха производства хвостового отсека фюзеляжа и мастера цеха производства носовой части фюзеляжа полностью подходят под проект и никаких дополнительных действий не требуют. После анализа знаний, опыта и умений мастера цеха производства основной части фюзеляжа было выявлено, что узкими местами являются опыт работы с оборудованием и опыт работы в предметной области. Так как это практические навыки, и на их приобретение требуется большое количество времени, то было принято решение заменить сотрудника.

Знання, умения и опыт мастера цеха производства хвостового оперения полностью не подходят под проект, узкими местами являются опыт в предметной области и работы с оборудованием, а также квалификация сотрудника. Если последнее еще можно было подкорректировать, отправив сотрудника на курсы, то приобретение опыта требует большего количества времени и затраченных ресурсов временных и стоимостных, поэтому было принято решение этого сотрудника также заменить.

Заключение

Предложенный комплексный метод представления и оценки проектных знаний комбинирует в себе онтологическое и фреймовое представление знаний проекта, что позволяет оценивать соответствие знаний исполнителей содержанию и требованиям инновационного проекта, учитывая иерархию персонала проекта. Кроме этого, разделение исполнителей на группы «руководителей», «специалистов», «рабочих» и «служащих» помогает учитывать иерархию персонала в проекте и дает возможность рассмотреть, оценить и проанализировать знания каждой группы исполнителей в отдельности.

Список литературы

1. Кибанов А.Я. Управление персоналом организации: учеб. / А.Я. Кибанов. - 2-е изд. - М.: ИНФРА-М, 2003. - 638 с.
2. Лысенко Д.Э. Математическая модель формирования команды исполнителей проекта / Д.Э. Лысенко // Актуальные проблемы управления бизнесом, предприятиями и проектами: тез. докл. VI Международной научно-практической конференции, 15-21 сентября 2008 г. - Харьков, 2008. - С. 132-133.
3. Зинкевич-Евстигнеева Т.Д. Теория и практика командообразования. Современная технология создания команд / Т.Д. Зинкевич-Евстигнеева, Д.Ф. Фролов, Т.М. Грабенко. - СПб.: Речь, 2006. - 304 с.
4. Мазур И.И. Управление проектами / И.И. Мазур В.Д. Шапиро Н.Г. Ольдерогге. М.: Омега -2004. - 405 с.
5. Носова Н.Ю. Исследование командных и функциональных ролей участников проекта / Н.Ю. Носова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2008. - №2 (29). - С. 119-122.
6. Носова Н.Ю. Формирование классификационных признаков проектов и модели знаний проекта / Н.Ю. Носова, Лысенко Э.В. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2014. - №2 (66). - С. 135-140.
7. Носова Н.Ю. Семантическая модель содержания инновационного технического проекта / Н.Ю. Носова // Системи обробки інформації. - 2011. - №4 (94). - С. 258-262
8. Малеева О.В. Разработка метода рационального распределения работ между участниками проекта / О.В. Малеева, Н.Ю. Носова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2008. - № 4 (31). - С. 106-110
9. Gubka A.S. Method of role assignment between participants in project management team using three-dimensional information matrix of roles / A. S. Gubka, N. Yu. Nosova // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2010. - №1 (42). - С. 145-149.

Надійшла до редколегії 20.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.А. Дружинін, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ПОДАВАННЯ ТА ОЦІНКИ ПРОЕКТНИХ ЗНАНЬ З УРАХУВАННЯМ СПЕЦИФІКИ ПРОЕКТУ І КАТЕГОРІЙ ЙОГО ПЕРСОНАЛУ

О.В. Малеева, Н.Ю. Носова, Р.В. Артюх

У даній статті розглянуті проблеми підбору та адаптації існуючих команд до майбутнього проекту. Визначено основні типи елементів організаційної структури підприємства. Представлена процедура зіставлення областей знань і функціональних ролей команди управління проектом. Згруповані знання про проект за окремими категоріями. Розроблено комплексний метод подання і оцінки проектних знань, який заснований на онтології знань про проекти і на онтології знань команди проекту. Запропонований метод був апробований на літакобудівному підприємстві на прикладі проекту розробки розвідувально-ударного комплексу для дії в гірських умовах. У статті наведені основні результати впровадження даного методу.

Ключові слова: знання команди проекту, області знань, функціональні ролі команди, зміст проекту.

COMPREHENSIVE METHOD OF PROJECT KNOWLEDGE PRESENTATION AND EVALUATION ACCORDING TO THE PROJECT SPECIFIC AND PROJECT STAFF CATEGORIES

O.V. Malyeyeva, N.Yu. Nosova, R.V. Artyuh

In the articles the selection and adaptation problems of existing teams for future project are described. The main types of elements of organizational structure are shown. A procedure for comparing the project domain and functional roles of the project management team is presented. Knowledge about the project in separate categories are grouped. A complex method for the knowledge evaluation of project knowledge is described, which is based on project ontology knowledge and on project team ontology knowledge. The proposed method was used on the aircraft manufacturing enterprises for reconnaissance strike complex project, which is going to be used in the mountains. The article presents the main results of the method implementation.

Keywords: knowledge of project team, project domain, functional team roles, project scope.

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 538.69.331.45

В.А. Глива, В.В. Коваленко, О.М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Київ

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБЛЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Проаналізовані підходи до організаційно-технічних заходів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням. Визначені основні засади розроблення та прогнозування захисних властивостей металополімерних електромагнітних екранів. Встановлено, що керованість захисними властивостями таких екранів доцільно здійснювати за електрофізичними показниками матеріалу. Досліджені зміни провідності та діелектричної проникності полімерного матеріалу з різною ваговою концентрацією дрібнодисперсного провідного матеріалу.

Ключові слова: електромагнітний екран, коефіцієнт екранування, електромагнітна безпека.

Вступ

Постановка проблеми. Як показали дослідження останніх років, захист працюючих від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону та різних амплітуд їх екрануванням це найбільш перспективний напрям підвищення електромагнітної безпеки у виробничих умовах. Особливістю таких робіт є необхідність постійного вдосконалення функціональних можливостей захисту через зміни амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів, які генеруються новими технічними засобами, що використовуються у технологічних процесах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як в Україні, так і в усьому світі цій проблематиці приділяється багато уваги [1 – 3]. Але більшість досліджень мають фрагментарний характер і стосуються якогось одного джерела або групи джерел з подібними випромінювальними властивостями.

У роботі [4] подано підходи до організаційно-технічних заходів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням. Але представлені у ній дані щодо розроблення та дослідження композитних матеріалів з керованими захисними властивостями свідчать про недостатній діапазон керованості через використання металевго наповнювача малої дисперсності. Результати низки досліджень свідчать, що перспективним напрямом робіт даної проблематики є розроблення металополімерних матеріалів на основі наноструктур [5, 6]. Наведені результати не втілено в прикладну розробку, але можуть бути основою для вдосконалення технологій вироблення металополімерних поверхонь великих площ з прийнятними коефіцієнтами екранування та необхідними співвідношеннями коефіцієнтів відбиття та поглинання.

Мета роботи – визначення основних засад розроблення та прогнозування захисних властивостей металополімерних електромагнітних екранів.

Виклад основного матеріалу

Досвід досліджень та впроваджувальних робіт з екранування електромагнітних полів у реальних виробничих умовах свідчить, що на попередньому етапі доцільне розрахункове оцінювання електромагнітної обстановки у захищеній зоні, тобто ефективності електромагнітного екрана [7]. При цьому обов'язковим є визначення, в залежності від конкретних виробничих умов, допустимого внеску відбиття у загальну ефективність екранування.

Математичний апарат наведених задач спирається на фундаментальні співвідношення електродинаміки суцільних середовищ. При цьому у багатьох випадках, особливо для електромагнітних полів ультрависоких, надвисоких та надзвичайно високих частот, відбиття електромагнітних хвиль відіграє суттєву роль у формуванні електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях. Це обумовлене тим, що перевищення гранично допустимих рівнів випромінювань у таких приміщеннях є наслідком не тільки високих рівнів випромінювань внутрішніх та зовнішніх джерел, а й перерозподілом таких випромінювань через відбиття від будівельних конструкцій, масивного металевго обладнання великих площ тощо.

Таким чином, постає задача зниження відбивальних властивостей захисних матеріалів. Складність цієї задачі полягає у тому, що разом зі зниженням коефіцієнта відбиття, знижується загальний коефіцієнт екранування, який у більшості випадків залежить від геометричних характеристик регулярних металевих структур та концентрації металевго субстанції у діелектричному матеріалі, з якого, як правило, виготовляються захисні покриття великих площ. У [7] було показано, що існуючі підходи до керування захисними властивостями екрануючих матеріалів, принаймні в області ультрависоких і вищих частот, є недостатніми.

Найбільш перспективним напрямом робіт зі зниження відбивальних властивостей електромагнітних екранів, на нашу думку, може бути, оптимізація співвідношень магнітних та електричних параметрів. Хвильовий опір непровідного матеріалу Z визначається як:

$$Z = \sqrt{\mu/\varepsilon},$$

де μ – магнітна проникність матеріалу, ε – діелектрична проникність.

Обираючи μ та ε таким чином, що Z буде дорівнювати опору вільного простору ($Z_0 = 377$ Ом), ми забезпечимо проходження границі розділу «вільний простір - екран» без відбиття. При цьому металеві включення у матриці повинні забезпечити максимальне поглинання електромагнітної енергії, що визначає загальний коефіцієнт екранування.

Однак у реальних виробничих умовах такі процеси складніші. Відомо, що для кутів падіння хвиль, відмінних від нормального, коефіцієнт відбиття суттєво змінюється. Розглянемо частоту випромінювання разом з діелектричною проникністю і провідністю матеріалу, тобто зведену частоту Ω :

$$\Omega = f \cdot \varepsilon/\sigma,$$

де f – частота випромінювання, ε – діелектрична проникність матеріалу, σ – провідність матеріалу.

За різних значень Z виявляється, що мінімальний коефіцієнт відбиття спостерігається за $Z=0,5$. При цьому прийнятні коефіцієнти відбиття (0,2 і менше) спостерігаються для $Z=0,5$ і $\Omega > 1$ [8].

Як видно, визначення керованості захисних властивостей доцільно здійснювати за електрофізичними показниками матеріалу, а саме – співвідношення діелектричної проникності та провідності матеріалу екрана. Це обумовлене наявністю розрахункового апарату щодо цих параметрів та їх зв'язку з коефіцієнтами відбиття та поглинання, що наведено нами у роботі [9]. Крім того, існує надійна апаратура щодо контролю змін цих величин.

У випадку великої товщини екрана необхідно враховувати фактор багатократного відбиття на границях розділу середовищ. Втрати на перевідбиття визначаються показником $K_{пв}$. У більшості випадків цим показником нехтують, але для більш точного визначення загального коефіцієнта екранування він визначається зі співвідношення:

$$K_{пв} = 20 \lg \left(1 - e^{-2\ell\sqrt{\pi f \mu \sigma}} e^{-j2\ell\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \right),$$

де ℓ – товщина екрана, м; f – частота, Гц; μ – абсолютна магнітна проникність, Гн/м; σ – провідність матеріалу екрана, См/м.

Була поставлена задача – визначити зміни провідності та діелектричної проникності полімерного матеріалу (поліетилену) з різною ваговою концентрацією дрібнодисперсного провідного матеріалу (залізо з розмірами частинок менших за 1 мкм).

Результати вимірювань провідності матеріалу наведено на рис. 1*.

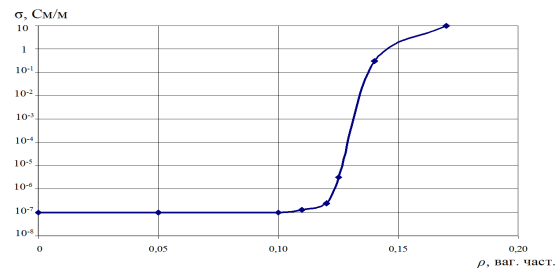


Рис. 1. Залежність електропровідності металополімерного матеріалу від вмісту дрібнодисперсного металу * Вимірювання електрофізичних характеристик металополімерних матеріалів проведено в Інституті металофізики НАН України

Дані свідчать про різке зростання електропровідності за вмісту металу біля 11-12 %. При цьому відбувається зміна відносної діелектричної провідності матеріалу (рис. 2).

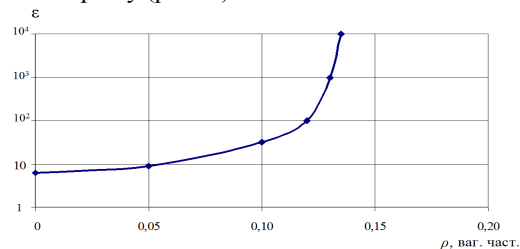


Рис. 2. Зміна відносної діелектричної проникності металополімерного матеріалу в залежності від вмісту металевої субстанції

Аналіз результатів показує, що різке зростання електропровідності та діелектричної проникності настає в області концентрації, яка відповідає межі протікання електричного струму. Було проведено експериментальні дослідження щодо загального коефіцієнту екранування отриманого матеріалу та його відбивальних властивостей. Зміну коефіцієнта екранування зі збільшенням вмісту металу наведено на рис. 3.

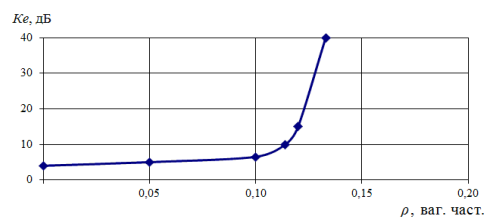


Рис. 3. Залежність коефіцієнта екранування металополімерного матеріалу від вмісту металевої субстанції (товщина матеріалу 5 мм)

Аналогічні випробування було проведено щодо змін коефіцієнта відбиття. Результати вимірювань наведені на рис. 4.

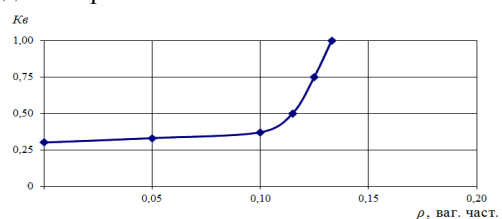


Рис. 4. Залежність коефіцієнта відбиття металополімерного матеріалу від вмісту металевої субстанції (товщина матеріалу 5 мм)

Усі випробування проводилися на частотах 2...5 ГГц. Розглядаючи результати експериментів можна дійти висновку, що мінімальні коефіцієнти відбиття за прийнятних коефіцієнтів поглинання металополімерного матеріалу досягаються за концентрацій дрібнодисперсного заліза 11-12 %. Таким чином, порівнюючи отримані результати з відомими роботами з керування захисними властивостями композитних електромагнітних екранів можна дійти висновку, що певна оптимізація параметрів «відбиття – поглинання» досягається меншим на 3 – 5 % вмістом металу. Досягнутий результат можна пояснити більшою дисперсністю металевої субстанції (порядка сотень нанометрів), що є більш перспективним напрямом робіт з керування захисними властивостями електромагнітних екранів та впровадження заходів з електромагнітної безпеки працюючих.

Висновки

1. Виконані дослідження дозволяють певним чином оптимізувати концентрації провідної компоненти, за яких отримуються значення електропровідності та діелектричної проникності матеріалу, які забезпечують необхідні екрануючі характеристики матеріалу як за відбиттям, так і за поглинанням електромагнітної енергії.
2. Узагальнення експериментальних даних показало, що коефіцієнт відбиття не перевищує 0,5 дБ при гарантованому коефіцієнті поглинання у 20 дБ.
3. Найбільш ефективними матеріалами для використання в якості наповнювача у полімерних матрицях екранувальних матеріалів є сполуки металів нанорозмірів.
4. Головною проблемою щодо отримання екрануючої поверхні зі стабільними захисними властивостями є рівномірність розподілу металевої субстанції у тілі матриці як з технологічних, так і економічних міркувань.
5. Напрямом подальших досліджень є отримання металополімерного матеріалу з градієнтом вагового вмісту металевих частинок за товщиною екрана, що сприятиме підвищенню його захисних властивостей.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В.А. Глыва, В.В. Коваленко, О.М. Тихенко

Проанализированы подходы к организационно-техническим мероприятиям защиты работающих от воздействия электромагнитных полей экранированием. Определены основные принципы разработки и прогнозирования защитных свойств металлополимерных электромагнитных экранов. Установлено, что управляемость защитными свойствами таких экранов целесообразно осуществлять по электрофизическим показателям материала. Проведены исследования изменения проводимости и диэлектрической проницаемости полимерного материала с различной весовой концентрацией мелкодисперсного проводящего материала.

Ключевые слова: электромагнитный экран, коэффициент экранирования, электромагнитная безопасность.

MODERN APPROACHES TO THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF MATERIALS FOR SHIELDING ELECTROMAGNETIC FIELDS

V.A. Glyva, V.V. Kovalenko, O.M. Tykhenko

Approaches to organizational and technical measures to protect workers from exposure to electromagnetic fields shielding were carried out. The basic principles of designing and protective properties of metallopolymeric prediction electromagnetic shields, have been defined. It has been established that the handling properties of such protective screens should be implemented on the electrophysical parameters of the material. Research changes of conductivity and dielectric permittivity of the polymeric material with different concentrations by weight of finely divided conductive material have been conducted.

Keywords: electromagnetic shield, the shielding factor, electromagnetic safety.

Список літератури

1. Глыва В.А. Розроблення і дослідження композитних електромагнітних екранів з керованими захисними властивостями / В.А. Глыва, І. М. Подобед, О. Л. Матвеева // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2011. – Вип. 21. – С. 176-181.
2. Magnetorheological elastomers with efficient electromagnetic shielding / M. Sedlacik, M. Mrlik, V. Babayan, V. Pavlinek // Composite Structures. – 2016. – Vol. 135. – P. 199-204.
3. Коваленко В.В. Дослідження ефективності сучасних електромагнітних екранів / В. Коваленко, О. Тихенко // Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: збірник наук. праць XV між нар. НПК, м. Київ, 19-20 травня 2016 р. – К: 2016. – С. 126-129.
4. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна – К., 2014. – 151 с.
5. Polymer nanocomposites: synthesis and physical properties / G.Yu. Yurkov, A.S. Fionov, O.V. Popkov, I.D. Kosobudskii, N.A. Taratanov and O.V. Potemkina. // Advances in Composite Materials or Medicine and Nanotechnology. Rijeka, Croatia: IN-TECH Education and Publishing. 2011. – P. 343-364.
6. Зотов И.С. Исследование электродинамических характеристик композитных материалов с регулярными структурами: автореф. дис. канд. ф.-м. наук: 01.04.07. Физика конденсированного состояния / Зотов Илья Станиславович. – Челябинск, 2011. – 18 с.
7. Управление защитными свойствами электромагнитных экранов на основе металополимерных материалов / [Клапченко В.И., Краснянский Г.Е., Глыва В.А., Азнаурян И.А.]. – Гігієна населених місць, 2009. – Вип. 53 – С. 200-207.
8. Коваленко В.В. Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко, Л.О. Левченко // Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. – 2016. – Вип. 5(100). – С. 98 –105.
9. Коваленко В.В. Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко // Теорія і практика будівництва КНУБА. – 2015. – Вип. 16. – С. 11-14.

Надійшла до редколегії 25.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

Зв'язок

УДК 621.391

Т.Г. Гурський, О.В. Кривенко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ В РАДІОЗАСОБАХ З ППРЧ ПРИ ПЕРЕДАЧІ МОВИ В УМОВАХ ВПЛИВУ ЗАВАД У ВІДПОВІДЬ

Запропоновано методику формування сигналу в радіозасобах з ППРЧ, що дозволяє підвищити розбірливість при передачі мови каналами радіозв'язку в умовах навмисних завад у відповідь. Сутність методики полягає у такому розташуванні символів мовних кадрів на інтервалі частотних елементів сигналу з ППРЧ, при якому завада у відповідь вражає найменш важливі для відтворення мови символи.

Ключові слова: засоби радіозв'язку, радіолінія, завадозахищеність, псевдовипадкова перестройка робочої частоти (ППРЧ), завада у відповідь, розбірливість мови.

Вступ

У сучасних військових системах радіозв'язку для підвищення завадозахищеності широко використовується режим псевдовипадкової перестройки робочої частоти (ППРЧ). У цьому режимі передавач і приймач одночасно за невідомим постановнику завад псевдовипадковим законом змінюють робочу частоту. При цьому тривалість роботи радіозасобів на одній частоті називається тривалістю частотного елемента сигналу [1].

Аналіз останніх публікацій. Аналізу та вдосконаленню систем радіозв'язку (СРЗ) з ППРЧ присвячено багато досліджень, які систематизовано у роботах [1–3]. Зокрема, ці видання містять результати досліджень завадостійкості радіоліній з ППРЧ при впливі різних видів навмисних завад. При використанні режиму ППРЧ для СРЗ однією із самих несприятливих є завада у відповідь [4]. При використанні режиму ППРЧ успішність функціонування радіоліній залежить, значною мірою, від технічних можливостей засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника, а також від швидкості перестройки частоти. Відомо, що необґрунтоване завищення швидкості перестройки призводить до зменшення дальності зв'язку [1, 5].

Існуючі засоби радіозв'язку (ЗРЗ) з ППРЧ працюють з декількома фіксованими значеннями швидкості стрибків, що перемикаються операторами вручну (наприклад, в УКХ радіостанціях виробництва Harris – 100, 300 та 1000 стр/с) [5]. Таким чином, можна стверджувати, що рівень адаптації параметрів ЗРЗ з ППРЧ до завадової обстановки в каналі є недостатнім і не дозволяє максимально ефективно використовувати можливості по збільшенню дальності зв'язку при передачі мови або даних або по збільшенню пропускну здатності (в режимі

передачі даних). У той же час, якщо відстань від постановника завад до приймача невелика, а час визначення частоти СРЗ та формування завади прямує до нуля (принаймні, він постійно зменшується з розвитком електроніки та елементної бази), навіть високі швидкості перестройки можуть не забезпечити задовільну якість передачі інформації.

Відомо, що для параметричних або гібридних кодеків, які широко використовуються для передачі мови у сучасних ЗРЗ [6], різні символи (біти) мовних кадрів мають різний ступінь впливу на розбірливість мови на прийомі [7]. Критерії оцінки розбірливості наведено в [6]. Зокрема, у стандарті GSM [8] сегменти мови тривалістю 20 мс кодується 260 бітами, які поділяються на два класи: 182 біти які підлягають каналному кодуванню та 78, які не захищаються від помилок. Крім цього, біти першого класу поділяються на 2 підкласи, перший з яких (50 біт) підлягає більш потужному кодуванню. Очевидно, що при впливі завади у відповідь ймовірність помилкового приймання значно зростатиме наприкінці частотного елемента сигналу.

Метою статті є розробка методики формування сигналу військових засобів радіозв'язку в режимі ППРЧ для підвищення розбірливості відтворення мови в умовах впливу навмисних завад у відповідь. Основними параметрами, значення яких можуть змінюватись протягом сеансу зв'язку, є швидкість перестройки частоти та черговість слідування інформаційних символів на інтервалах частотних елементів сигналу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сутність методики полягає у такому розташуванні символів на виході мовного кодера з урахуванням їх важливості на якість відтворення мови,

співвідношення часу дії завади у відповідь, тривалості мовного кадру та частотного елемента сигналу з ППРЧ, що зменшує вплив втраченої частини символів на розбірливість мови на прийомі.

Вихідні дані: режим роботи ЗРЗ – ППРЧ; максимальна швидкість перестройки частоти – $v_{\text{пер. макс.}}$; мінімальна швидкість перестройки частоти – $v_{\text{пер. мин.}}$; тип АЦП мови – параметричний; тип навмисної завади – завада у відповідь (коефіцієнт перекриття корисного сигналу – ρ).

Обмеження: постановник завад використовує тільки заваду у відповідь; час реакції постановника завади $\Delta T_{\text{СПР}}$ – до 100 мкс; в каналі за відсутності навмисних завад забезпечується ймовірність помилкового приймання сигналів $P_0 < 10^{-3}$; завадостійке кодування та каналне перемежування сигналу в роботі не розглядаються, передбачається, що отримані результати дають вигоду додатково до них.

Допущення: пристрій оцінювання стану каналу дозволяє ідентифікувати наявність завади у відповідь в каналі зв'язку та визначити її параметри (спектральну щільність потужності $S(f)$ та коефіцієнт перекриття ρ); в процесі ведення зв'язку радіозасоби мають канал зворотного зв'язку, яким передається необхідна інформація для управління вибором значень параметрів сигналу ППРЧ; на етапі проектування ЗРЗ проведено ранжування символів мовного кадру на виході кодера за питомою вагою їх втрати на розбірливість мови при відтворенні на прийомі (ранжування може проводитись як на основі раніше отриманих статистичних даних та досліджень, так і на основі спеціально проведеного моделювання).

Необхідно: забезпечити максимально можливе значення розбірливості при відтворенні мови на прийомі.

Методика формування сигналу радіозасобів з ППРЧ при передачі мови в умовах завад у відповідь, алгоритм реалізації якої представлений на рис. 1, складається з таких етапів.

1. Введення вихідних даних (блок 1). На етапі проектування ЗРЗ здійснюється ранжування символів мовних кадрів за ступенем їх важливості на якість відтворення мови. Враховується, що втрата (прийом з помилкою) молодших розрядів кодових комбінацій, які переносять значення відповідних параметрів звуків, призведе до менших спотворень при відтворенні мови, ніж втрата старших розрядів. Крім цього, на етапі проектування визначається мінімальне та максимальне значення швидкості перестройки та крок її зміни. На етапі оперативного управління параметрами ЗРЗ до вихідних даних належать налаштування каналів для роботи у режимі ППРЧ (мінімальна та максимальна частота смуги ППРЧ, початкова швидкість перестройки частоти).

2. Встановлення зв'язку (блоки 2, 3). Один з кореспондентів радіомережі виходить на передачу та ініціює сеанс зв'язку. Сеанс може розпочинатися з будь-яким із можливих значень швидкості перестройки частоти, в залежності від обраного оператором каналу.

3. Оцінка завадової обстановки в каналі зв'язку (блок 4). В процесі встановлення зв'язку на радіолінії оцінюється сигнальна й завадова обстановка в каналі. Тому одним з основних завдань при проектуванні систем і засобів радіозв'язку є вибір придатного алгоритму оцінювання стану каналу зв'язку, детальний аналіз яких проведено в статті [9].

У випадку дії в каналі завади у відповідь необхідно визначити часовий інтервал протягом частотного елемента, який встигає „наздогнати” заваду. Радіостанціями на прийомі здійснюється ідентифікація завади у відповідь за допомогою прямих методів оцінювання стану каналу (за рахунок різкого збільшення рівня прийнятого сигналу протягом тривалості частотного елемента сигналу). Очевидно, що значення коефіцієнта перекриття ρ будуть відрізнятися для різних частотних елементів, в залежності від того, наскільки швидко станція радіотехнічної розвідки виявлятиме факт роботи радіолінії на новій частоті. Останнє, в свою чергу, залежить від відстані на частотній осі між новою робочою частотою радіолінії та частотою, з якої починає сканування діапазону (ділянки діапазону) приймач станції радіотехнічної розвідки [1, 10]. Тому рішення про величину коефіцієнта перекриття доцільно приймати за його максимальним значенням, отриманим протягом часу спостереження (на найгірший випадок).

4. Вибір необхідної швидкості перестройки частоти (блоки 5-10).

4.1. Якщо $\rho > 0$, то для усунення впливу завади у відповідь необхідно збільшити швидкість стрибків на мінімально необхідну величину (щоб отримати $\rho = 0$).

4.2. Якщо пристрій оцінки каналу виявляє заваду у відповідь, але вона приходить зі значним запізненням (умовно вважатимемо, що $\rho < 0$), то швидкість перестройки частоти зменшується до допустимого значення ($\rho = 0$).

5. Зміна порядку слідування символів на інтервалі обробки (блок 11). Блок управління формуванням сигналу ППРЧ на основі інформації про питому вагу кожного символу на виході кодера мови, отриманої на етапі проектування засобу радіозв'язку, з урахуванням поточного значення частотного елемента сигналу, здійснює перерозподіл символів протягом тривалості частотного елемента таким чином, щоб найбільш важливі для відтворення мови символи знаходились на початку частотного елемента, найменш важливі – в кінці. При цьому, враховуючи, що допустиме значення затримки при

передачі мови складає 250 мс [11], доцільно застосувати процедуру перерозподілу черговості слідування символів у межах тривалості декількох мовних кадрів з урахуванням алгоритмічної затримки кодека. Назвемо цей параметр інтервалом обробки.

Правила (алгоритм) роботи блоку управління формуванням сигналу ППРЧ повинні бути однозначними і призводити до симетричних перетворень як при формуванні сигналу на передачі, так і при його обробці на прийомі.

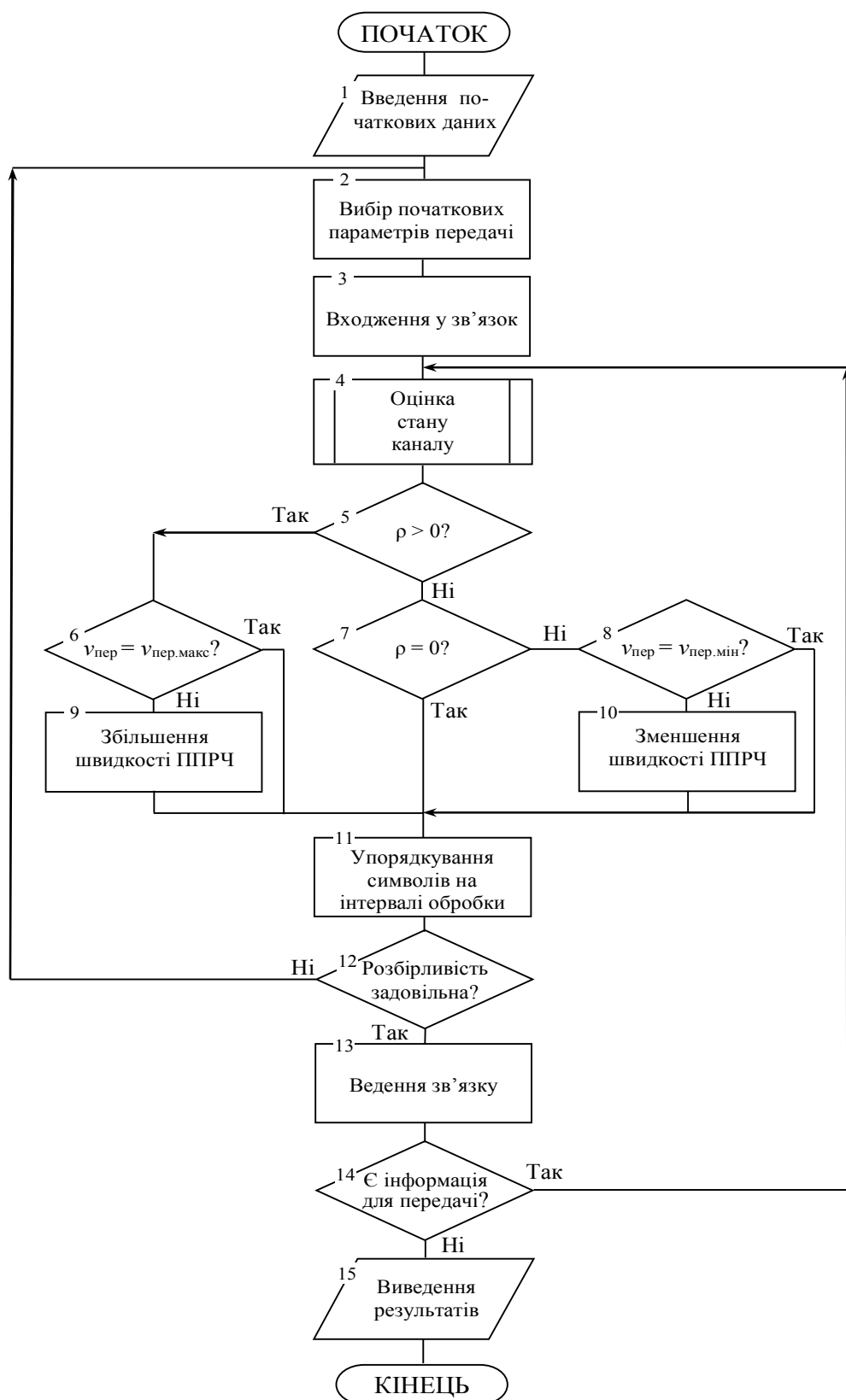


Рис. 1. Блок-схема алгоритму реалізації методики

Крім цього, для реалізації п'ятого етапу методики, необхідно передбачити можливість передачі від приймача до передавача значення коефіцієнта перекриття – або при натисканні на тангенту (оскільки при веденні розмови кореспонденти, як правило, по черзі обмінюються голосовими повідомленнями), або (для підвищення оперативності) одразу при прийнятті рішення про наявність на вході приймача навмисної завади у відповідь. В другому випадку необхідно виділити короткочасні інтервали для реалізації зворотного зв'язку між приймальним та передавальним кінцями радіолінії, протягом яких буде забезпечуватися запирання передавача для можливості прийому запитів на зміну параметрів передавача при натиснутій тангенті. Очевидно, як наслідок, результуюча швидкість передачі в каналі дещо збільшиться.

Після успішної передачі значення p блоки управління формуванням сигналу ППРЧ передавача та приймача радіолінії починають синхронно змінювати порядок слідування бітів мовних кадрів в каналі зв'язку.

Додатковий вииграш у якості відтворення мови може бути отримано за рахунок використання завадостійкого кодування та каналного перемешування. При реалізації перемешування слід враховувати, що сусідні символи інформаційного кадру вже розосереджені на інтервалі обробки, крім цього, несуча частота постійно змінюється, що також дозволяє боротися з явищем групування помилок. Завадостійке кодування доцільно застосовувати з урахуванням питомої ваги помилки при прийомі символу на якість відтворення мови (як і у стандарті GSM [8]). Також, якщо використовувати на передачі детектор мовної активності [6], за наявності пауз у мові на інтервалі обробки, в першу чергу, саме символи, що відповідають паузам, потрібно розподіляти в уражені завадами ділянки частотних елементів сигналу.

6. Ведення зв'язку (блоки 12-14). В процесі ведення сеансу зв'язку аж до його закінчення значення p контролюється за допомогою пристрою оці-

нювання каналу зв'язку (блок 4). Якщо один з об'єктів (радіостанції або постановники завад) перебувають у русі, або станція завад почала працювати більш ефективно (значення p зростає), наприклад, після того, як замість декількох цілей (радіомереж) зосередилась на одній, або менш ефективно (у зворотній ситуації), необхідно змінювати відповідним чином швидкість стрибків частоти та порядок слідування інформаційних символів протягом частотних елементів сигналу з ППРЧ (блоки 5-11).

Якщо навіть при максимальній швидкості стрибків частоти та після упорядкування символів на інтервалі обробки розбірливість мови незадовільна (блок 12), необхідно змінювати тип кодека мови (на менш низькошвидкісний) або переходити до низькошвидкісної передачі даних, наприклад, передачі коротких текстових повідомлень (блок 2).

Приклад застосування. На рис. 2 показано приклад, коли початкова швидкість перестройки частоти дорівнює половині максимально можливої (рис. 2, а), і завада у відповідь перекриває більшу частину частотного елемента, що унеможливує ведення голосового зв'язку. Тому за запитом приймальної сторони (передається на ділянці частотного елемента, яку не встигає наздогнати завада у відповідь) здійснюється перехід до максимального значення швидкості перестройки. На рис. 2 позначено: f_i – частотні елементи сигналу ППРЧ; заштриховані ділянки – час, протягом якого завада у відповідь впливає на інформаційні символи; $C = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_n\}$ – множина символів, що підлягають передачі в канал зв'язку, яка включає символи з виходу мовного кодера, службові символи та перевіірочні (завадостійкого кодування); n – кількість символів на інтервалі обробки. На основі процедури ранжування символів мовного кадру, проведеної на етапі проектування, проводиться упорядкування символів на інтервалі обробки – множина C перетворюється у множину C' ($C' = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_i, \dots, c'_n\}$), для якої зі зростанням n зменшується питома вага втрати символу для якості відтворення мови.

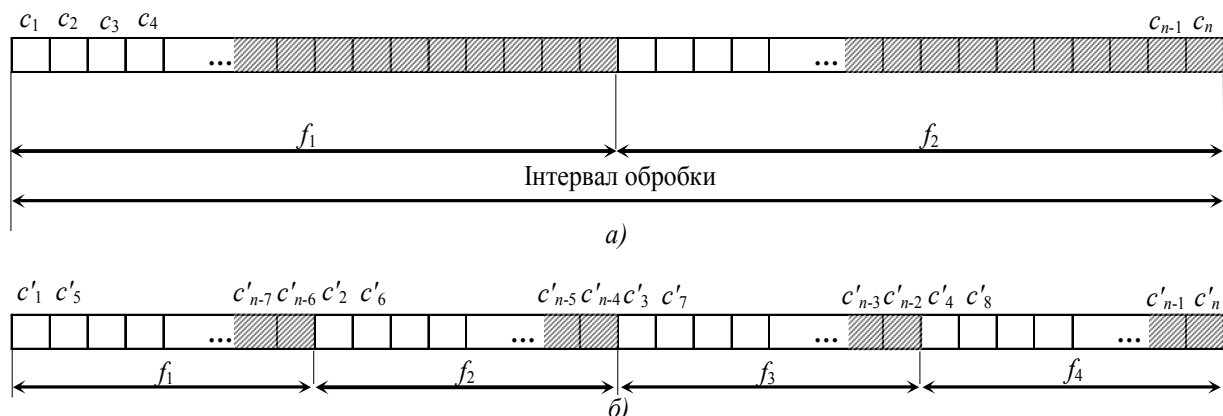


Рис. 2. Приклад зміни швидкості перестройки частоти та перерозподілу порядку слідування символів на інтервалі обробки

Блок управління формуванням сигналу ППРЧ розташовує на ділянках частотних елементів, потенційно вражених завадами, символи множини C' з найбільшими (найбільш близькими до n) значеннями індексів (рис. 2б).

Оцінка ефективності. Розглянемо застосування запропонованої методики на прикладі кодека MELP зі швидкістю 2400 біт/с (MELP-2400).

Обраний вокодер забезпечує добру якість звучання синтезованої мови за величини бітової помилки не більше 1% і мінімально необхідну для сприйняття – при значенні відповідного параметра, не більше 4-5 %.

Кодек MELP заснований на традиційній параметричній моделі кодування з лінійним передбаченням (LPC), але, крім того, містить п'ять додаткових особливостей: змішане збудження; використання аперіодичних імпульсів; адаптивне поліпшення спектрального оцінювання; „розмивання” імпульсів збудження; моделювання амплітуд коефіцієнтів Фур'є.

Детальний опис роботи кодека MELP наведено в [12]. Перелік параметрів, що передаються від кодера до декодера, представлений в табл. 1.

Таким чином, на виході кодера MELP-2400 формуються інформаційні кадри тривалістю 22,5 мс, що містять 54 біти, які кодують 8 груп параметрів мови, причому втрата (помилкове приймання) бітів, що належать до різних груп має різний ступінь впливу на якість відтворення мови. Наприклад, амплітуди перетворення Фур'є сигналу збудження відповідають за природність мови та передачу інтонації голосу людини [13]. Очевидно, що їх втрата практично не вплине на розбірливість мови. Крім цього, можна без суттєвих для розбірливості втрат використовувати одне з двох значень коефіцієнта підсилення за кадр. Таким чином, з урахуванням статистики використання вокалізованих та невокалізованих звуків для української мови [14], можна стверджувати, що в середньому понад 7-8 строго визначених з 54 символів кадру (близько 14%) може бути

втрачено без істотного впливу на розбірливість переданої мови.

Таблиця 1

Символи мовного кадру для MELP-2400

Параметри	Озвучений	Неозвучений
Лінійні спектральні частоти	25	25
Амплітуди перетворення Фур'є	8	-
Коефіцієнти підсилення, 2 за кадр	8	8
Період основного тону, загальна озвученість кадру	7	7
Озвученість по смугам	4	-
Прапор неперіодичності	1	-
Захист від помилок	-	13
Синхробіт	1	1
Всього бітів за кадр 22,5 мс	54	54

Результати моделювання роботи радіолінії у режимі ППРЧ в умовах впливу завади у відповідь наведено на рис. 2. Видно, що з використанням запропонованої методики прийнятна якість передачі мови (приблизно 2 бали за шкалою MOS [6]) в радіолінії з ППРЧ забезпечується при значеннях коефіцієнта перекриття до 24-28 % (втрата 12-14% бітів при достатньо високій спектральній щільності потужності завади на вході приймача), у той же час, для стандартного кодека MELP якість мови стає незадовільною уже при значеннях коефіцієнта перекриття близько 10% (втрата приблизно 5 % бітів).

У випадку, коли коефіцієнт перекриття завадою у відповідь частотного елемента сигналу перевищує допустиме значення (близько 0,3), доцільно переходити до передачі мови з використанням кодека MELP зі швидкістю передачі 1200 біт/с. Запропонована методика і реалізує по суті поступовий перехід від MELP-2400 до MELP-1200.

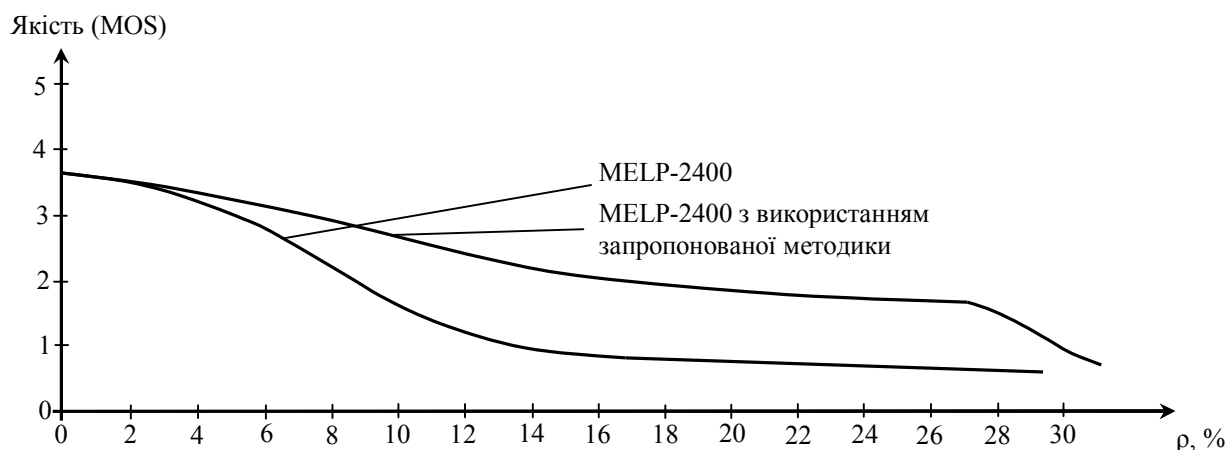


Рис. 2. Якість відтворення мови при впливі завади у відповідь

При неможливості передачі мови зі швидкістю 1200 біт/с через високий коефіцієнт перекриття, наступним кроком може бути перехід до використання кодека MELP-600.

Висновки

Таким чином, у статті запропоновано методику формування сигналу у військових радіозасобах з ППРЧ, що дозволяє при використанні параметричних методів кодування мови підвищити якість її відтворення на прийомі в умовах впливу навмисних завад у відповідь. Це досягається за рахунок такого розташування символів мовних кадрів на тривалості частотних елементів сигналу, при якому на ділянках, що потенційно можуть бути уражені завадами, розташовуються символи, втрата яких призводить до меншого рівня спотворення синтезованої на прийомі мови у порівнянні з помилковим прийманням інших символів.

Напрямок подальших досліджень є розробка методики формування сигналу з ППРЧ при впливі навмисних шумових завад та у режимі пакетної передачі даних.

Список літератури

1. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев – М.: Радиософт, 2008. – 512 с.
2. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход / В.И. Борисов, В.М. Зинчук. – М.: Радиософт, 2008. – 260 с.
3. Макаренко С.И. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография / С.И. Макаренко, М.С. Иванов, С.А. Попов. – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.
4. Кувишинов О.В. Вибір параметрів системи рухомого радіозв'язку з ППРЧ при впливі ретрансльованої завади / О.В. Кувишинов, В.І. Глуцький, С.П. Лівенцев // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2003. – Вип. 6. – С. 68–73.
5. Напряжки вдосконалення засобів радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / [Гурський Т.Г., Жук О.Г., Кривенко О.В., Шишацький А.В.] // Збірник наукових праць ВІТІ, 2016. – Вип. 1. – С. 25–34.
6. Гурський Т.Г. Аналіз методів кодування мови для використання в радіомережах з пакетною комутацією / Т.Г. Гурський // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2013. – № 1. – С. 13–23.
7. Гурський Т.Г. Підвищення завадозахищеності радіоліній з ППРЧ в умовах завад у відповідь / Т.Г. Гурський // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2014. – № 3 (40). – С. 58–63.
8. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM / В.И. Попов. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 296 с.
9. Толюпа С.В. Аналіз методів оцінювання параметрів базатромонових каналів зв'язку / С.В. Толюпа, Т.Г. Гурський, О.І. Восколович // Вісник ДУІКТ. – 2011. – Т. 9 (3). – С. 194–204.
10. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Палий. – 2-е изд. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
11. Investigating communication architecture for tactical radio networks design / [B. Suman, S.C. Sharma, M. Pant, S. Kumar] // International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences. – 2012. – Vol. 2. – Issue 2. – P. 106–118.
12. U.S. Department of Defense, Analog to digital conversion of voice by 2,400 bit/second mixed excitation linear prediction, 1998.
13. Выборнов С.В. Практическая реализация низкоростных вокодеров для каналов с высоким процентом ошибок / С.В. Выборнов, Н.А. Сидорова // Труды РНТОРЭС им. А.С. Попова, серия Цифровая обработка сигналов и ее применение / 10-я Международная выставка и конференция. – Выпуск X-1. – Москва: ООО „Инсвязиздат”, 2008. – С. 225–228.
14. Іщенко О.С. Голосні звуки української мови залежно від темпу мовлення: монографія / О.С. Іщенко. – К.: Інститут укр. мови НАН України, 2012. – 220 с.

Надійшла до редколегії 15.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА В РАДИОСРЕДСТВАХ С ППРЧ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ РЕЧИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХИ В СЛЕД

Т.Г. Гурский, А.В. Кривенко

Предложена методика формирования сигнала в радиосредствах с ППРЧ, позволяющая повысить разборчивость передачи речи по каналам радиосвязи в условиях преднамеренных ответных помех. Сущность методики заключается в таком расположении символов речевых кадров на интервале частотных элементов сигнала с ППРЧ, при котором ответная помеха поражает наименее важные для воспроизведения речи символы.

Ключевые слова: средства радиосвязи, радиолиния, помехозащищенность, псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ), помеха в след, разборчивость речи.

METHOD THE FORMING SIGNAL OF RADIO COMMUNICATION WITH FHSS MODE VOICE UNDER INFLUENCE OF NOISE RESPONSE

T.G. Gurski, A.V. Krivenko

The methods of signal's forming in means of radio communication in frequency hopping (FH) mode are offered. The methods allow promoting legibility of transmission of speech on the radio communication channels with return intentional hindrances. Essence of methods consists in such location of symbols of speech shots on the intervals of frequency elements of FH signal, at that a return hindrance strikes symbols, which are the least important for speech reproducing.

Keywords: radio communications, radio link, interference, frequency-hopping spread spectrum (FHSS), an obstacle in the trail, the intelligibility of speech.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ УПАКОВКИ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ФЕМТОСОТ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Рассматривается задача планирования пространственного размещения фемтосот на основе их рационального размещения в здании, на площади с использованием метода оптимизации упаковки объектов. Построен алгоритм поиска и удаления вложенных потенциальных контейнеров – зоны обслуживания базовых станций в пределах которой осуществляется процедура одиночного присоединения фемтосот. Предложенный алгоритм одиночного присоединения фемтосоты на основе логического выбора позволяет сократить время поиска точки доступа и повысить скорость размещения фемтосот.

Ключевые слова: планирование, фемтосота, точка доступа, упаковка, контейнер

Введение

При установке точек доступа фемтосот возникают различные ситуации, связанные с потребностью улучшения качества обслуживания потребителей. Существуют различные методы пространственного размещения точек доступа (ТД) фемтосот для случаев облегчения доступа абонентов на границах зон обслуживания базовой станции (БС). Часто возникает необходимость установки единственной точки доступа в труднодоступном месте, где электромагнитная волна приходит к абонентской станции сильно ослабленной: в переходе, за преградой, в доме и др. Вместе с тем достаточно типовой являются ситуации, когда возникает потребность расположения группы точек доступа, например вблизи и внутри деловых центров, объектов массового стечения народа, в многоэтажных зданиях и др. Существует необходимость линейной установки, на плоскости или в трехмерном пространстве указанных ТД фемтосот. Таким образом, возникает задача размещения в зоне обслуживания БС точек доступа фемтосот, как одиночных объектов, так и объектов, располагающихся в линию на плоскости или в структуре зоны действия БС (рис. 1).

Метод планирования с использованием упаковки

Очевидно проектирование размещения одиночной ТД не вызывает трудностей. Однако при проектировании установки 2-х и больше ТД – требуется то или иное обоснование.

В качестве такого обоснования могут быть: потребность максимально плотного покрытия фемтосотами, минимизации количества фемтосот, перераспределения трафика в различные периоды деятельности.

Такая задача успешно решается при небольшом количестве фемтосот – 2-5 путем прямого перебора вариантов размещения.

Однако с увеличением их количества задача размещения становится NP – полной и прямое её решение – проблематично [1].

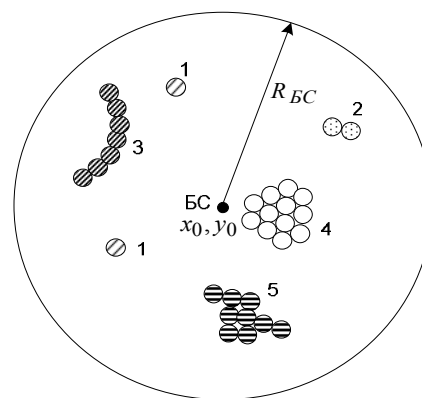


Рис. 1. Пример размещения фемтосот в зоне обслуживания БС с координатами $\{x_0, y_0\}$ и радиусом R_{BS} : 1 – одиночное расположение; 2 – группа из двух фемтосот; 3 – линейное расположение фемтосот; 4 – компактная группа; 5 – сложная структура

Координаты каждой i -й точки доступа фемтосоты $\{x_i, y_i\}$ или в 3-х мерном пространстве $\{x_i, y_i, z_i\}$. При радиусе зоны обслуживания фемтосоты R_{fi} , координаты ее на плоскости:

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = R_{fi}^2, \quad (1)$$

или в 3-х мерном пространстве

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2 = R_{fi}^2. \quad (2)$$

Зона обслуживания каждой фемтосоты зависит от окружающей обстановки, от наличия переизлучателей, преград, затенений.

При планировании зон обслуживания, их структуру представляют в виде кругов или шестигранных сот. В нашем случае (1), (2) зона представляется кругом или шаром.

Учитывая большой разброс расчетных уровней поля электромагнитной волны внутри зоны – форма

аппроксимирующей фигуры может быть любой: аксиально симметричной, равнобедренный многоугольник, квадрат, куб, шар и др.

При планировании фемтосот внутри здания более адекватной является геометрическая фигура в виде куба – контур или объем помещения, в котором размещается группа фемтосот.

Контур или объем, в котором размещается группа фемтосот могут иметь различную достаточно сложную конфигурацию, что затрудняет решение задачи покрытия.

Если представить данный объем или плоскость в виде контейнера, то возникает задача упаковки объектами (фемтосотами) аксиально симметричными фигурами данного контейнера.

Имеется большое число приближенных методов упаковки контейнеров объектами различной конфигурации:

- генетические алгоритмы оптимизации упаковки прямоугольных объектов [2];
- последовательно – одиночного размещения кругов различных радиусов [3];
- методы упаковки цилиндров на основе ϕ -функций Стояна [4];
- геометрической комбинаторики [5];
- алгебрологический метод [6].

Учитывая феноменологический характер предложенных методов, сопоставления их по эффективности представляется затруднительным.

Можно организовать их попарное сравнение по критериям вычислительной сложности для одних и тех же условий, по критериям полноты покрытия и др. Однако значительный уровень неопределенности в отношении распределения поля ЭМВ вряд ли позволит получить достоверные результаты. Поэтому выбор того или иного метода определяется контекстом решаемой задачи. Мы выбираем метод одиночного присоединения на основе логического выбора [6].

В этом случае точка объекта i , наиболее удаленная от начала координат контейнера, будет иметь координаты:

$$(y_{ij}^1 + s_i^1; y_{ij}^2 + s_i^2; \dots; y_{ij}^F + s_i^F). \quad (3)$$

Необходимо разместить все объекты в заданном числе контейнеров при выполнении всех условий корректного размещения [6]:

1) зоны размещаемых ТД не перекрывают друг друга:

$$(y_{ij}^f \geq y_{kj}^f + s_k^f) \vee (y_{kj}^f \geq y_{ij}^f + s_i^f), \quad (4)$$

при $\forall j \in [1; M], \forall f \in [1; F], \forall i \forall k \in [1; m], i \neq k$;

2) зоны обслуживания ТД не выходят за границы зон обслуживания БС:

$$\forall j \exists [1; M], \forall f \exists [1; F], \forall i \in [1; m], \quad (5)$$

$$(y_{ij}^f \geq 0) \wedge (y_{ij}^f + s_i^f \leq s_j^f).$$

Процедура размещения ТД внутри контейнеров (зон обслуживания) обычно начинается с привязки контейнера к системе координат и указания разных точек (узлов), по отношению к которым производится присоединение ТД.

Положение k -го узла в F -мерном контейнере описывается вектором

$$Y_k = \{y_k^1, y_k^2, \dots, y_k^F\}. \quad (6)$$

При проектировании фемтосот на плоскости образуется j контейнеров внутри которых далее происходит упаковка.

При размещении фемтосот в здании происходит разделение на i -уровней, соответствующих этажности, на каждом из которых формируется свой контейнер $y_i^f, f \in F$.

Положение i -го контейнера относительно начала координат представим как $Q(y_i^f)$.

При размещении ТД в контейнере формируются новые уровни.

При присоединении ТД (объекта) с размерами зоны обслуживания $\{s^1, s^2, \dots, s^F\}$ к БС (узлу) с координатами $\{y^1, y^2, \dots, y^F\}$ вдоль каждой оси $\forall f \in [1; F]$ фемтосоты (контейнера) образуется новые уровни $W_k^f: Q(Y_k^f) = y^f + s^f$, причем $\exists Y_j^f: Q(Y_j^f) > Q(Y_k^f), Q(Y_{j-1}^f) < Q(Y_k^f)$, (рис. 2).

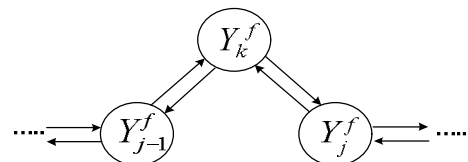


Рис. 2. Процедура добавления нового уровня при двухсвязной организации уровней контейнера (зоны обслуживания БС)

Возможность присоединения ТД с габаритными размерами $\{s^1, s^2, \dots, s^F\}$ к БС с координатами $\{y^1, y^2, \dots, y^F\}$ будет определяться положение размещаемой ТД относительно всех ранее размещенных ТД, пересекающих хотя бы один уровень из набора $[Y_{i1}^f, Y_{i2}^f] \forall f \in [1; F]$, где $Y_{i1}^f: Q(Y_{i1}^f) = y^f$ и $Y_{i2}^f: Q(Y_{i2}^f) \geq y^f + s^f, Q(Y_{i2,1}^f) < y^f + s^f$.

Так, при присоединении зоны обслуживания ТД (прямоугольного объекта) с габаритными размерами $s_1 \times s_2$ к расположенной в точке $\{0; 0\}$ зоны обслуживания БС в виде пустого двумерного контейнера с габаритными размерами $S_1 \times S_2$, в углах размещенного объекта формируются новые узлы,

содержащие виртуальные объекты, описываемые векторами

$$P_2 = \{S_1 - s_1; S_2\}, P_3 = \{S_1 - s_1; S_2 - s_2\} \text{ и}$$

$$P_4 = \{S_1; S_2 - s_2\}.$$

На основе метода одиночного присоединения объектов и анализа оставшегося свободного пространства i -го контейнера построим алгоритм поиска и удаления вложенных потенциальных контейнеров. На рис. 3 представлен алгоритм поиска и удаления вложенных потенциальных контейнеров (ПК).

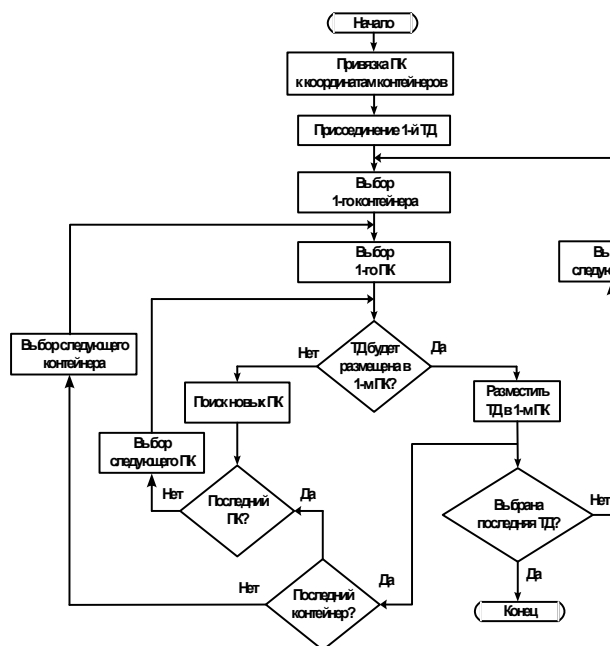


Рис. 3. Алгоритм поиска и удаления ТД на основе метода одиночного присоединения

Выводы

1. При планировании пространственного размещения микро и фемтосот возникает необходимость рационального их размещения в здании, на площади. Простым решением проблемы размещения является прямой перебор вариантов. Однако, с

увеличением количества фемтосот задача становится NP-трудной.

2. Среди множества решений таких задач наиболее адекватным является метод одиночного присоединения на основе логического выбора, что позволяет наращивать возможности сети и является относительно простым.

3. Предложенный алгоритм одиночного присоединения на основе логического выбора позволяет сократить время поиска точки доступа.

4. Предложенный метод планирования пространственного размещения фемтосот на основе теории упаковки объектов позволит повысить скорость размещения точек доступа фемтосот.

Список литературы

1. Popovskij, V. Control and adaptation in telecommunication system: Mathematical foundations / V. Popovskij, A. Barkalov, L. Titarenko. – Tom 94. – Springer Science & Business Media. – 2011. – P. 173.
2. Заруба, Д.В., Использование методов эволюционной оптимизации для решения задач трехмерной упаковки / Д.Ю. Запорожец, Ю.А. Кравченко // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2012. – № 2 (9).
3. Карташов, А.В. Одна реализация метода последовательно-одиночного размещения для решения задачи оптимального размещения кругов различных радиусов в полосе / А.В. Карташов, Н.В. Лученцова // Компьютерна система та інформаційні технології. – 2006. – С. 90-94.
4. Коваленко, А. А. Упаковка круговых цилиндров в цилиндрический контейнер с учетом специальных ограничений поведения системы / А.А. Коваленко, А. В. Панкратов, Т.Е. Романова, П. И. Стецюк // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2013. – № 1 (111). – С. 126-134.
5. Чеканин В.А., А.В. Чеканин. Модели конструирования ортогональной упаковки объектов / В.А.Чеканин, А.В. Чеканин // Информационные технологии и вычислительные системы. – № 2. – 2014. – С. 37-45.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Агеев, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ УПАКОВКИ ОБ'ЄКТІВ В ЗАДАЧАХ ПЛАНУВАННЯ ФЕМТОСТІЛЬНИКІВ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

М.В. Москалец

Розглядається задача планування просторового розміщення фемтосот на основі їх раціонального розміщення в будівлі, на площі з використанням методу оптимізації упаковки об'єктів. Побудований алгоритм пошуку і видалення вкладених потенційних контейнерів - зони обслуговування базових станцій в межах якої здійснюється процедура поодинокого приєднання фемтосот. Запропонований алгоритм поодинокого приєднання фемтостільників на основі логічного вибору дозволяє скоротити час пошуку точок доступу і підвищити швидкість розміщення фемтосот.

Ключові слова: планування, фемтостільник, точка доступу, упаковка, контейнер.

USING THE METHOD OF OPTIMIZATION OF OBJECT PACKAGING IN PROBLEMS OF PLANNING FEMTOSELLS IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

N.V. Moskalets

The problem of planning the spatial deployment of femtocells is considered on the basis of their rational placement in a building, on the area using the method of optimizing object packing. There has been constructed an algorithm for searching and deleting nested containers, i.e. the service areas of base stations, in which the procedure of single attachment of femtocells is performed. The proposed algorithm for a single femtocell connection based on a logical choice allows to shorten the search time of an access point and increase the speed of femtocell deployment.

Keywords – planning, femtocell, access point, packing, container.

УДК 621.391; 621.398(075.8)

О.С. Панкратова

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ SMART-АНТЕН ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ WiMAX

У статті запропоновано оптимізувати вживані в технології WiMax Smart-антени шляхом застосування критерію наведення променя детектора низького типу модуляції (наприклад BPSK).

Ключові слова: система WiMAX, Smart-антена, функція розподілу.

Вступ

Системи WiMAX, як системи наступного покоління високошвидкісних бездротових комунікацій, зараз широко використовується завдяки їх великій інформаційній ємності, великого розміру покриття цих систем, і характерні для них розроблені системи менеджменту якості (QoS).

Ці системи можуть бути застосовані до всіх видів сучасної технології: модуляції, адаптивної модуляції OFDM та кодування типів, адаптована для вирішення конкретної проблеми побудови антенних систем, простір-час кодування і навіть режимі MIMO (кілька входів і виходів). Всі ці інструменти призначені для збільшення оперативних параметрів системи.

Можна стверджувати, що за допомогою технології WiMAX можна передавати дані на відстань до 50 км зі швидкістю до 75 Мбіт/с.

Три з чотирьох специфікацій фізичного рівня стандартів IEEE 802.16d і IEEE 802.16e (Wireless MAN – SCa, OFDM і OFDMA) передбачають опціональні режими роботи з використанням антенної техніки MIMO або адаптивних антенних систем (Adaptive Antennas Systems – AAS).

Перший режим, припускає комбіноване застосування схем просторового кодування/мультиплексування і MIMO (іноді званий "Simple MIMO"). Для другого, разом з використанням згаданих схем, характерне застосування AAS і технології цифрового формування променя. У літературі цей режим згадується як "AAS-MIMO".

Особливістю радіоінтерфейсу Mobile WiMAX є інтелектуальне управління діаграмою спрямованості (Smart Beam Forming), яке реалізується на базі адаптивної антенної системи (AAS). Особливістю цієї технології є зміна діаграми спрямованості антени залежно від розташування абонентів. Якщо застосовується звичайна секторна антена, діаграма спрямованості має заздалегідь задану незмінну форму. В той же час AAS має здатність динамічно змінювати діаграму спрямованості антени, зосереджуючи усю випромінювану потужність або напрям найбільш ефективного прийому відповідно до розміщення

абонентів. Реалізація Smart Beam Forming дозволяє міняти діаграму спрямованості антени кожен кадр, тобто кожні 5 мс, завдяки чому можна використовувати цю технологію навіть для абонентів, які швидко рухаються.

Основна частина

Smart-антени з'явилися на стику цифрового діаграмоутворення і секторних антен і спочатку використовувалися у військовому радіозв'язку. На відміну від звичайних антен, Smart -антена є складною системою елементів антенних фідерів і додаткових функціональних пристроїв, що зумовлюють її "інтелектуальні" властивості.

Принцип роботи Smart-антен ґрунтується на допущенні про те, що джерело корисного сигналу і перешкоди рідко поєднані по напрямку. Це дозволяє, забезпечивши максимум посилення антени в потрібному напрямі і сформувавши мінімум її діаграми спрямованості (ДН) на джерело перешкоди, багаторазово підвищити робоче відношення сигнал-шум на вході приймача.

Основою Smart-антени є спеціальна конструкція антеної решітки (АР), яка є сукупністю дискретних елементів, когерентно по відношенню до інших елементів тих, що приймають або випромінюють електромагнітні сигнали.

Як елементи АР найчастіше використовують прості пристрої: вібратори, щілини, спіралі, рупори і тому подібне. Як правило, ці пристрої об'єднані в регулярні структури правильною геометричною формою.

Елементи АР підключені до приймача через багатоканальну систему приємозбуджувачів, що дозволяє отримувати в розкритті АР різні розподіли поля, формуючи таким чином різні ДН.

Результуюча ДН формується внаслідок "інтерференції" хвиль, що випромінюються елементами АР. Принципова особливість АР полягає в тому, що її ДН виявляється легко керованою шляхом зміни комплексної амплітуди і поляризації хвиль, що випромінюються елементами АР.

Наприклад, для формування ДН у вигляді вузького променя фазові зрушення при живленні

елементів АР повинні відповідати розподілу фаз, що створюється в її розкритті плоскою хвилею, що приходиться з того ж напрямку.

Зміна орієнтації променя також здійснюється шляхом регулювання фазових співвідношень в живленні згаданих елементів.

На практиці найчастіше використовують т.з. фазовий метод управління ДН антенних решіток, метод частотного сканування або їх поєднання. Як правило сигнал, прийнятий кожним з просторово рознесених елементів АР, множить на деякий ваговий коефіцієнт, після чого ці сигнали об'єднуються. Вагові коефіцієнти обчислюються відповідно до вибраного алгоритму адаптації. Такий процес оптимізації випромінювання в зарубіжній літературі отримав найменування "цифрове формування променя".

Адаптивні антенні системи "Повністю інтелектуальні" і можуть динамічно реагувати на зміни, що відбуваються в комунікаційному середовищі і самостійно до них адаптуватися. Функціонуванням адаптивної антенної системи управляє складний обчислювальний комплекс.

Також як і в системах з комутуванням променем, в адаптивних антенних системах формується багатопроменева ДН.

Проте напрями формованих при цьому променів не є фіксованими і можуть змінюватися. Орієнтацією променів управляє цифрова схема, яка направляє їх на бажаних абонентів і далі здійснює супровід при переміщенні останніх. Одночасно ця ж схема мінімізує, інтерференційний вплив з боку "сторонніх" РЕС шляхом формування "нулів" ДН антени у напрямі приходу перешкод.

Адаптивна антена - це модульний пристрій, що виконує наступні функції:

- прийом усіх сигналів, що поступають, включаючи перешкоди і копії корисного сигналу, а також їх оцінювання по відповідних алгоритмах;
- розпізнавання (визначення) корисного сигналу і його виділення серед безлічі небажаних сигналів;
- "підстроювання" променя ДН у напрямі приходу корисного сигналу при переміщенні користувача і його постійне відстежування;
- формування нулів ДН у напрямі приходу перешкод і постійне оновлення (корекцію) вагових коефіцієнтів обробки.

Як згадувалося вище, ДН ФАР або адаптивної антенної системи можна змінювати, управляючи фазами напруги живлення її елементів. Щоб пояснити, як працює адаптивна антена, розглянемо структурну схему.

"Серцем" адаптивної антенної системи є цифровий процесор (по суті це адаптивний фільтр), що відповідає за прийом і обробку сигналів.

Основна мета обробки полягає в максимізації відношення сигнал/шум за рахунок автоматичного регулювання вагових коефіцієнтів (w_i), з якими підсумовуються сигнали, прийняті окремими елементами АР.

Процес адаптації математично еквівалентний відніманню з початкової ДН антенних ґрат т.з. компенсаційної діаграми, що формується з урахуванням оптимальних (на даний момент вагових) коефіцієнтів. Внаслідок цього віднімання результуюча ДН ФАР має "провали" в напрямі на перешкоду.

Міра пригнічення перешкод і складність процесора визначаються використанням методом адаптації.

Сигнали, прийняті елементами антенних ґрат, проходять через тракт перетворення частоти і оцифровуються в лінійці АЦП. На виході АЦП формується набір оцифрованих сигнальних відліків (x_1, x_2, \dots, x_p) далі поелементно перемножуються з набором вагових коефіцієнтів (w_1, w_2, \dots, w_j) і потім підсумовуються. Отриманий таким чином сигнал порівнюється з деяким опорним сигналом, внаслідок чого формується сигнал помилки, що підлягає мінімізації. У адаптивних антенних системах із замкнутою петлею управління, цей опорний сигнал є отриману на попередньому такті обробки оцінку корисного сигналу (у припущенні про те, що ДН антени орієнтована на його джерело).

Вагові коефіцієнти в процесі адаптації змінюються відповідно до того або іншого критерію мінімізації помилки.

Наприклад, при використанні алгоритму LMS (мінімізації середнього квадрата помилки - Least Mean Square) оновлені вагові коефіцієнти розраховуються по формулі:

$$w(k+1) = w(k) + \mu \cdot e^*(k) x(k), \quad (1)$$

де $w(k)$, $e(k)$, $x(k)$ - вектори вагової обробки, сигналу помилки і сигналу на вході відповідно, $*$ - знак комплексного сполучення.

Для генерування сигналу помилки опорний сигнал $y(p)$ віднімається з сигналу на виході фільтру. Далі сигнал помилки використовується для підстроювання коефіцієнтів цифрового фільтру, що мінімізує сигнал помилки на наступному такті обробки.

Суть завдання адаптивної фільтрації, таким чином, полягає в мінімізації розузгодження між вхідним сигналом $x(p)$ і опорним сигналом $y(p)$.

Початкові значення коефіцієнтів фільтру, як правило, визначаються при передачі деякого еталонного сигналу, що є відомим зразком даних. При цьому роль алгоритму адаптації полягає в коригуванні коефіцієнтів фільтру для встановлен-

ня відповідності між оцінкою прийнятих даних і їх еталоном.

У рамках даної статті пропонується оптимізувати критерій вибору променя таким чином.

У Smart - антенах з адаптивним управлінням орієнтацією променів управляє цифрова схема, яка направляє їх на бажаних абонентів і далі здійснює супровід при переміщенні останніх.

Обслуговування абонентів, оснащених зовнішньою спрямованою антеною на найшвидкіснішій модуляції 64QAM, підтримувальною максимальну символну швидкість і відповідну швидкість передачі даних, забезпечується на дальності до 25 км, 16QAM - на дальності до 40-45 км.

Здатність підтримки тієї або іншої модуляції є важливою особливістю технології WiMax і залежить від багатьох параметрів зв'язку, і, в першу чергу, від енергетичних параметрів системи.

У загальному випадку можна сказати, що система вибирає тип модуляції виходячи з енергетичних характеристик прийнятого сигналу.

Оптимізація критерію полягає в заміщенні складної схеми управління адаптивним променем або вимірника співвідношення сигнал/шум простим детектором BPSK або QPSK - модуляції. Система WiMax автоматично буде переходити до простішого типу модуляції при погіршенні співвідношення сигнал/шум і означає, що цю операцію можна повторно для Smart - антен не проводити.

Цей критерій чудово підходить як для антен з комутованим променем, так і для адаптивних систем.

Розглядаючи питання визначення характеристик функціонування Smart-антен на основі непустасонівських моделей масового обслуговування, слід зазначити, що облік виду вхідного інформаційного потоку (телефонія, передача даних, IP-TV) або розподілу часу перетворення інформації виробляється шляхом апроксимації відповідного розподілу $A(t)$ або $B(t)$ однієї з шматкових функцій розподілу. Відмітною особливістю використовуваних моделей є наявність неординарних потоків подій.

Нехай є Smart - антена з обмеженим числом променів різного напрямку N , заявки на яку поступають по h штук, причому проміжки між моментами приходу сусідніх розподілені згідно із законом $A(t)$.

Одночасно обслуговуються i / заявок, час обслуговування розподілено згідно із законом $B(t)$. Якщо число заявок на Smart - антену менше / (відсутні абоненти мережі з типом модуляції BPSK), то обслуговуючий пристрій простоює.

Розглянемо однолінійну (тобто одночасно обслуговується не більш за одну заявку) Smart -

антену з обмеженим числом місць очікування і неординарними потоками подій, в якій функція $A(t)$ має вигляд, відповідний розподілу Ерланга або гіперекспоненціальному розподілу, а час обслуговування розподілено по одній з шматкових залежностей.

Ввівши додаткові стани системи по методу фаз, можна виділити точки регенерації, якими для даного випадку являтимуться моменти часу, що безпосередньо йдуть за виходом обслугованих заявок з Smart-антен.

Розглянемо випадок, коли

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

представляється у такому вигляді:

$$\|P_{ij}\| = \begin{array}{|c|c|c|} \hline a & b & v \\ \hline \delta & & e \\ \hline \varepsilon & & \end{array} \quad \begin{array}{l} \left. \begin{array}{c} \text{ } \end{array} \right\} l \text{ рядків} \\ \left. \begin{array}{c} \text{ } \end{array} \right\} N+1-l \text{ рядків} \end{array} \quad (3)$$

причому підматриці a, b, v , відповідають режиму простою обслуговуючого пристрою (оскільки число заявок на Smart - антену менше); а матриці ε, δ, e - режиму роботи обслуговуючого пристрою.

Введемо величини

$$K_j = P \{ \xi = j \}, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

де ξ - число заявок, що поступили в систему за час між моментами виходу з Smart - антен двох сусідніх обслугованих заявок.

Тоді елементи підматриць матриці (3) можна записати таким чином:

$$\begin{aligned} p_{ij} &= 0, \quad i \geq j, \quad i \leq j; \\ p_{ij} &= k_r, \quad r = \frac{j-i}{h} = 0, 1, 2, \dots, \quad i \leq j \leq N; \\ p_{ij} &= 0, \quad r = \frac{j-i}{h} \neq 0, 1, 2, \dots, \quad i \leq j; \\ p_{ij} &= 1 - \sum_{s=0}^r k_s = k_{r+1}, \quad j = N, \quad r = \frac{N-i-1}{h}, \quad i \leq j; \\ p_{ij} &= 0, \quad i-1 \geq j; \\ p_{ij} &= k_r, \quad r = \frac{j-i+1}{h} = 0, 1, 2, \dots, \quad i-1 \leq j \leq N; \\ p_{ij} &= 0, \quad r = \frac{j-i+1}{h} \neq 0, 1, 2, \dots, \quad i \geq j; \end{aligned} \quad (5)$$

$$p_{ij} = 1 - \sum_{s=0}^r k_s = k_{r+1},$$

$$j = N, \quad r = \frac{N+1-i-1}{h}, \quad i \geq 1.$$

Величини k_j ($j=0, 1, 2, \dots$), що входять в ці формули, визначаються відповідно до виразу:

$$k_r = \int_0^{\infty} \frac{(\alpha t)^r}{r} e^{-\alpha t} dF(t) =$$

$$= \frac{(-1)^r}{r} \alpha^r \left[\frac{d^r \phi(s)}{ds^r} \right]_{s=\alpha}. \quad (6)$$

Прослідкуємо вплив величин h та l на вигляд матриці перехідної вірогідності.

При $h = 1$ і $l = 3$ ця матриця має такий вигляд:

$$p_{ij} =$$

$$= \begin{pmatrix} k_0 & k_1 & k_2 & \dots & k_{N-1} & k_N \\ 0 & k_0 & k_1 & \dots & k_{N-2} & k_{N-1} \\ 0 & 0 & k_0 & \dots & k_{N-3} & k_{N-2} \\ k_0 & k_1 & k_2 & \dots & k_{N-1} & k_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_2 & k_3 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

а при $h = 2$ та $l = 1$

$$p_{ij} =$$

$$= \begin{pmatrix} k_0 & 0 & k_1 & 0 & \dots & k_{N/2} \\ k_0 & 0 & k_1 & 0 & \dots & k_{N/2} \\ 0 & k_0 & 0 & k_1 & \dots & k_{\frac{N-1}{2}} \\ 0 & 0 & k_0 & 0 & \dots & k_{\frac{N}{2}-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & k_1 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Зіставлення матриць (7) та (8) між собою дозволяє зробити такі висновки:

1. Величина l визначає число рядків складових підматриць (а, б, в) розкладанні (1.3).

2. Величина h визначає число рядом нульових елементів матриці, що стоять, причому це число рівне $h-1$.

3. Рівняння системи

$$p_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} p_i, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n$$

окрім відповідного $j = N$, можна записати в наступному вигляді:

$$p_j = \sum_{s=x^1}^k k_s p_{j+1-hs} +$$

$$+ \sum_{s=x^2}^k k_2 p_{j-hs} r(1-j+kh-1), \quad (9)$$

де

$$k = \left\lfloor \frac{j}{h} \right\rfloor, \quad j = 0, 1, \dots, N-1;$$

$$x_1 = \left\lfloor \frac{j-N+h-1+1}{h} \right\rfloor r(j-N+1);;$$

$$x_2 = \left\lfloor \frac{j-1+h}{h} \right\rfloor r(j-1+1), \quad (10)$$

причому скрізь $j < N$.

Відмітимо, що для випадку $l \geq h$ другий член суми (9) завжди відмінний від нуля. Дійсно, при цьому має місце

$$1 - \left(j - \left\lfloor \frac{j}{h} \right\rfloor h \right) \geq 0, \quad r(1-j+kh-1) = 1. \quad (11)$$

Приведемо вирази для переходу до вірогідності виду p , ($i = 0, 1, \dots, r$), усередненим по усьому часу функціонування Smart-антен в стаціонарному режимі. Інтensивність точок регенерації

$$\alpha = \frac{\lambda}{p_0 + \lambda / \mu}. \quad (12)$$

Система рівнянь для ймовірностей має такий вигляд:

$$\alpha p_0 - \lambda \bar{p}_0 = 0;$$

$$\alpha p_i - \alpha p_{i-1} - \lambda \bar{p}_i = 0, \quad 0 \leq i \leq h;$$

$$\alpha p_i - \alpha p_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \lambda \bar{p}_{i-h} = 0, \quad (13)$$

$$h \leq i \leq r, \quad r = N+1;$$

$$\lambda \sum_{j=r-h}^{r-1} \bar{p}_i - \alpha p_{r-1} = 0.$$

З рішень цієї системи, враховуючи умову нормування, при конкретних значеннях h і N неважко отримати шукані співвідношення.

Інтensивність точок регенерації

$$\alpha = \left[\frac{1}{\mu} + \sum_{i=0}^{l-1} \frac{1-i}{\lambda} p_i \right]^{-1}. \quad (14)$$

Відповідну систему рівнянь слід записати як

$$-\lambda \bar{p}_0 - \alpha p_0 = 0;$$

$$\lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \alpha p_i = 0, \quad 0 \leq i \leq l;$$

$$\lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \alpha p_i - \alpha p_{i-1} = 0, \quad 1 \leq i \leq r-l; \quad (15)$$

$$\lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i - \alpha p_{i-1} = 0, \quad r-l \leq i \leq r;$$

$$\lambda \bar{p}_{r-1} - \alpha p_{r-1} = 0.$$

З рішення цієї системи разом із умовою нормування отримуємо:

$$\begin{aligned}\bar{p}_i &= \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=0}^i p_j, \quad 0 \leq i \leq l; \\ \bar{p}_i &= \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=i-l+1}^i p_j, \quad l \leq i \leq r-l; \\ \bar{p}_i &= \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=i-l+1}^{r-l} p_j, \quad r-l \leq i \leq r; \\ \bar{p}_r &= 1 - \frac{\alpha l}{\lambda}.\end{aligned}\quad (16)$$

Для визначення функції розподілу часу очікування використовуємо формулу повної вірогідності.

При цьому виявляється, що вид функції розподілу залежатиме від порядкового номера заявки, що знаходиться в системі, причому можна помітити періодичність величиною h , з якою в систему поступають заявки, що мають в стаціонарному режимі одну і ту ж функцію розподілу часу очікування.

Завдання зводиться до знаходження виду функцій $F_{mk}(x)$, де $k = 1, 2, \dots, h$.

Висновки

У даній статті запропоновано оптимізувати вживані в технології WiMax Smart-антени шляхом застосування критерія наведення променя детектора низького типу модуляції (наприклад, BPSK).

Оскільки в стандарті 802.16 передбачена автоматична зміна типу модуляції при збільшенні відстані до абонента або посиленні перешкод, то немає необхідності повторно проводити вимір співвідношення сигнал/шум.

Це дозволить скоротити апаратну частину устаткування базової станції, а значить і її вартість, а також спростить рішення задачі "бесшовності" мережі, оскільки зменшиться час обробки слабких сигналів від видалених абонентів.

На основі принципів і методів математичного моделювання розглянутий алгоритм дослідження таких систем Smart-антен.

Представлений варіант побудови мережі зв'язку на основі технології WiMax із застосуванням оптимізованих Smart-антен.

Найважливішою перевагою Smart-антен є можливість адаптації до завадової обстановки і багатопроміновості, що підвищує якість передачі даних, забезпечує зниження енергоспоживання абонентським терміналом і малу вірогідність перехоплення і виявлення.

Список літератури

1. Кучерявый А.Е., Цуприков А.Л. Сети связи следующего поколения// ФГУП ЦНИИС.–2006.–С.58-87.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Сети мобильной связи LTE технологии и архитектура.–Москва: Еско-Трендз, 2010.–С.120-126.
3. Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. Самоорганизующиеся сети–СПб.:Любавич, 2011.–С.84-96.
4. Вишневский В.Энциклопедия WiMax. Путь к 4G./В. Вишневский, А. Портной, И. Шахнович.–Москва: Техносфера, 2009.–С.260-273.
5. Леценко О.О. Застосування методів оптимізації в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами /О.О.Леценко, Т.В.Майсак//Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку.–2013.–№4(28).– С.37-40.
6. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазомодулированными сигналами.–Москва: Радио и связь, 1991.–С.64-77.

Надійшла до редколегії 26.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ SMART-АНТЕН ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ WIMAX

О.С. Панкратова

В статье предложен оптимизировать применяемые в технологии WiMax Smart-антенны путем применения критерия наведения луча детектора низкого типа модуляции (например BPSK).

Ключевые слова: система WiMAX, Smart-антенна, функция распределения.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS SMART-AHTEH FOR WIMAX TECHNOLOGIES

O.S. Pankratova

This paper proposes an optimization technology used in WiMax Smart-antenna by applying criteria aiming beam detector type low modulation (eg. BPSK).

Keywords: WiMAX, Smart-antenna distribution function.

Л.М. Сакович, В.П. Романенко, І.М. Гиренко

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З КРАТНИМИ ДЕФЕКТАМИ

В статті на основі використання результатів сучасних досліджень в галузі технічної діагностики і метрології запропоновано математичну модель кількісної оцінки середнього часу відновлення засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами, яка враховує етапи дефектації й пошуку дефектів екіпажами апаратних зв'язку або апаратних технічного забезпечення.

Ключові слова: засоби спеціального зв'язку, дефектація, пошук кратних дефектів, відновлення працездатності.

Вступ

Постановка проблеми. Засоби спеціального зв'язку (далі – ЗСЗ) внаслідок аварійних пошкоджень, порушення правил експлуатації, довгострокового зберігання в несприятливих кліматичних умовах, а також під час бойових дій отримують кратні дефекти. У цих випадках відновлення ЗСЗ екіпажами апаратних зв'язку або апаратних технічного забезпечення в польових умовах суттєво відрізняються від поточного ремонту: першочергово на місці пошкодження в результаті попередньої дефектації встановлюється ступінь пошкодження і місце ремонту, потім в ремонтному органі під час повної дефектації фахівці усувають явні дефекти. Подалі пошук скритих дефектів виконують з використанням ефективних процедур, що дозволяє скоротити час відновлення. Тому проблема моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами є досить актуальною для забезпечення необхідної укомплектованості системи урядового зв'язку як в мирний, так і військовий час за рахунок підвищення ефективності ремонтних органів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних публікацій показує відсутність математичної моделі, яка охоплює усі етапи відновлення ЗСЗ з кратними дефектами одночасно. В [1, 2] запропоновано ремонт агрегатним методом зі зниженням показників якості ЗСЗ для скорочення часу відновлення. Етапи дефектації розглянуто в [3, 4], а пошук кратних дефектів окремо в [5–7]. В роботі [8] розглянуто вплив метрологічного забезпечення на якість діагностування. Але комплексний підхід до відновлення ЗСЗ з кратними дефектами як єдиного процесу відсутній.

Мета статті – отримання математичної моделі процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами для раціонального розподілу працевтрат між етапами дефектації і діагностуванням, що дозволяє скороти-

ти середній час відновлення працездатності в польових умовах.

Виклад основного матеріалу

Першочергово під час розбирання та зовнішнього огляду пошкодженого об'єкту виконують усунення явних дефектів, згідно [4, 9] їх доля складає до 90 % від загальної кількості пошкоджених елементів ЗСЗ. В найгіршому випадку при слабкому ступеню пошкодження ЗСЗ вона дорівнює 0,09L, після чого необхідно під час повної дефектації та діагностування усунути останні 0,001L дефектів. Під час повної дефектації можливо використання комбінованих засобів вимірювань – ампервольтметрів, які є в складі кожної апаратної спеціального зв'язку. Це необхідно для оцінки працездатності окремих елементів ЗСЗ.

Відомо два підходи до моделювання часу повної дефектації: збільшення часу пошуку явних дефектів та усунення спричинених ними несправностей по закону геометричної прогресії або експоненціальному закону [3, 4].

В першому випадку після початку дефектації визначається час виявлення першого дефекту (t_1) та дефекту $n < 10(t_n)$, тоді коефіцієнт геометричної прогресії $g = n\sqrt[n]{t_n} / t_1$ та розрахунковий час виявлення та усунення Q_0 дефектів дорівнює

$$T_1 = \frac{t_1(g^{Q_0} - 1)}{g - 1} + t_y Q_0, \quad (1)$$

де t_y – час усунення однієї несправності.

У другому випадку після початку дефектації визначається час, затрачений на пошук та усунення дефектів $i(t_i)$ та $j(t_j)$, а також загальний час з початку дефектації на їх пошук та усунення (T_i, T_j), при цьому $i < j$. Потім вираховуються числові значення коефіцієнтів

$$a = \frac{\ln(t_i/t_j)}{T_j - T_i};$$

$$b = \exp(\ln t_i + aT_i)$$

та прогнозується час дефектації для заданого максимального значення часу пошуку чергового дефекту t_m :

$$T_1'' = \frac{1}{a} \ln(bt_m).$$

На другому етапі відновлення об'єкту з кратними дефектами в процесі діагностування здійснюється пошук та усуненням скритих дефектів Q_c .

Об'єкт поділяється на G груп в припущенні, що $Q_c \leq G$. Тоді при діагностуванні одним фахівцем ($\mu = 1$) та використанні усіченої процедури пошуку (далі – УПП) [5] середній час реалізації другого етапу відновлення становить

$$T_2' = \frac{G(t(2 + \log_2 l) + t_y)}{p^{2+\log_2 l}}, \quad (2)$$

де t – середній час виконання перевірки;

$l = L / Q_c$ – число елементів у групі;

p – ймовірність вірної оцінки результату виконання перевірки;

L – загальне число елементів у об'єкті.

Математичне сподівання відхилення діагнозу при одній помилці в оцінці результату виконання перевірки [8]

$$\rho = 0,5(1 + \log_2 l - 1)(1 - p)p^{\log_2 l - 1}.$$

При відновленні об'єкту великої розмірності з рознесеними у просторі елементами доцільно використовувати спільний груповий пошук дефектів ($\mu > 1$) [6, 7]. У цьому випадку об'єкт краще поділяти на $G_0 = \frac{\mu Q_c}{(1 - Q_c / L) \ln(\mu + 1)}$ груп елементів.

Сумарне число перевірок для пошуку всіх Q_c дефектів становить

$$K_\Sigma = \frac{(G - Q_c)(G + (\mu + 1)Q_c)}{2\mu G Q_c} + (Q_c - 1) \left[1 + \frac{G(L - Q_c)}{\mu L Q_c} \right] + Q_c \log_{\mu+1} \frac{L}{G}, \quad (3)$$

а середній час реалізації другого етапу відновлення

$$T_2'' = \frac{tK_\Sigma + t_y Q_c / \mu}{p^{\mu(1 + \log_{\mu+1} L/G)}}. \quad (4)$$

Математичну модель розподілу часу процесу відновлення ЗСЗ слабкого ступеня пошкодження приведено в табл. 1, де значення K_Σ визначають згідно виразу (3).

Таблиця 1

Розподіл часу відновлення засобів спеціального зв'язку слабкого ступеня пошкодження залежно від кількості фахівців

Етап відновлення	Кількість фахівців	
	$\mu = 1$	$\mu > 1$
Усунення явних дефектів, m_0 , хв	$0,09Lt_y$	$0,09Lt_y / \mu$
Повна дефектація, m_1 , хв	$\frac{t_1(g^{Q_0} - 1)}{g - 1} + t_y Q_0$	$\frac{t_1(g^{Q_0} - 1)}{\mu(g - 1)} + \frac{t_y Q_0(g - 1)}{\mu(g - 1)}$
Діагностування, m_2 , хв	$\frac{G(t(2 + \log_2 l) + t_y)}{p^{2+\log_2 l}}$	$\frac{tK_\Sigma + t_y Q_0 / \mu}{p^{\mu(1 + \log_{\mu+1} l)}}$
Загальний час відновлення, m_b , год.	$\frac{T_0 + T_1 + T_2}{60}$	

Приведені математичні співвідношення не враховують організаційні витрати часу.

Загальний час ремонту об'єкту після усунення явних дефектів

$$T_b = T_1 / \mu + T_2$$

та залежить від якості дефектації. При цьому представляє практичний інтерес знаходження числа дефектів Q_c , при якому T_b мінімальний: при збіль-

шенні Q_c значення T_1 збільшується, а T_2 – зменшується. Традиційний метод знаходження екстремуму функції

$$\frac{dT_b(Q_0)}{dQ_0} = 0$$

приводить до отримання трансцендентного рівняння, розв'язати яке в явному вигляді не представляє можливості:

$$\left[\frac{2(\ln(SL - Q_0) + 1)}{\ln 2} - n \right] \frac{1}{\mu} + ag^{Q_0} \ln g =$$

$$\ln p \left[t_y Q_0 - \frac{nQ_0 - m + \frac{2(SL - Q_0) \ln(SL - Q_0)}{\ln 2}}{r} \right]$$

$$= \frac{(SL - Q_0) \ln 2}{(SL - Q_0) \ln 2} + \frac{\ln p [a(g^{Q_0} - 1)]}{(SL - Q_0) \ln 2},$$

де $a = t_1 / (g - 1)$; $r = p^K$; $K = 2 + \log_2 L$; $m = SLn$;

$$n = 2(t + \log_2 L) + t_y.$$

Тому для конкретного набору вихідних даних будується залежність $T_B(Q_0)$ та обґрунтовується раціональна тривалість дефектації, яка мінімізує загальний час відновлення об'єкта для ступеня пошкодження S , визначеної в процесі попередньої дефектації.

Наприклад, при одиночному пошуку дефектів при

$$\mu = 1; L = 100; S = 0,3; g = 1,1;$$

$$t_1 = 2 \text{ хв}; t_y = 3 \text{ хв}; t = 2 \text{ хв}; p = 0,995$$

отримуємо залежності

$$T'_1(Q_0), T'_2(Q_0) \text{ та } T_B(Q_0),$$

приведені на рис. 1.

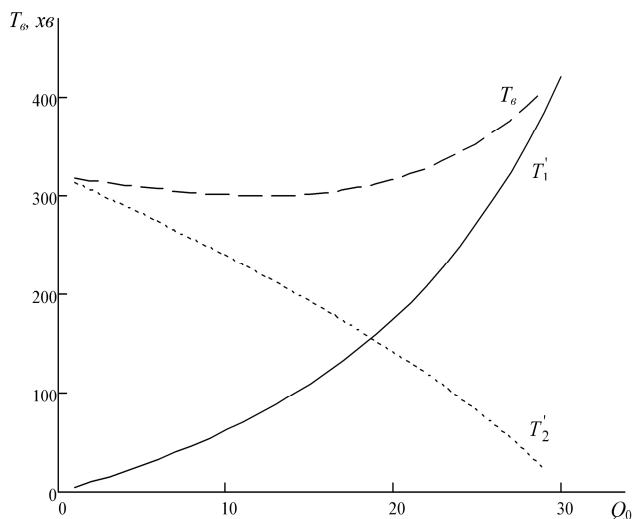


Рис. 1. Залежність часу дефектації, діагностування та відновлення об'єкта при одиночному пошуку дефектів

При цьому загальний час відновлення буде мінімальним, якщо значення Q_0 знаходиться у таких межах: $Q_0 = 11 \div 15$.

При тих же вихідних даних спільний груповий пошук дефектів ($\mu = 2$) приводить до результату $Q_0 = 14 \div 15$ та скорочує час відновлення в 1,8 раз (рис. 2).

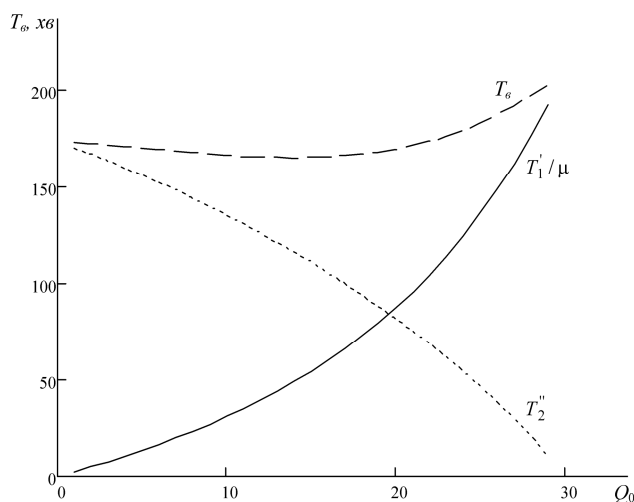


Рис. 2. Залежність часу дефектації, діагностування та відновлення об'єкта при груповому спільному пошуку дефектів

В обох випадках після знаходження та усунення $Q_0 = 14$ дефектів доцільно припинити дефектацію та переходити до пошуку дефектів, які залишились, в процесі діагностування.

Таким чином, цільова функція процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами приймає такий вигляд;

$$T_B(L, S, \mu, t_1, t, t_y, g, p) =$$

$$= \min_{Q_0 \leq SL} (T_1(Q_0) + T_2(Q_0)).$$

Загальна структура запропонованої математичної моделі процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами наведена на рис. 3.

Блок-схема алгоритму знаходження раціональної кількості дефектів, що необхідно усунути під час дефектації, приведена на рис. 4.

Розглянемо використання отриманих результатів в порівнянні з прикладом роботи [4] для відновлення працездатності апаратури каналотворення П-330-6 зі слабким ступенем пошкодження бригадою із 4-х фахівців.

При наявності долі явних дефектів 90% [9] від загальної кількості на їх усунення необхідний час $0,9SLt_y / 60 \mu$ годин.

Апаратура має $L = 2995$ елементів в 23 блоках та 95 елементів в базовій конструкції.

Запропоновано використовувати зонний пошук кратних дефектів, при цьому середній час відновлення складає $T_B = 9,36$ годин з яких час дефектації дорівнює $T_1 = 3$ години.



Рис. 3. Структура математичної моделі процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами

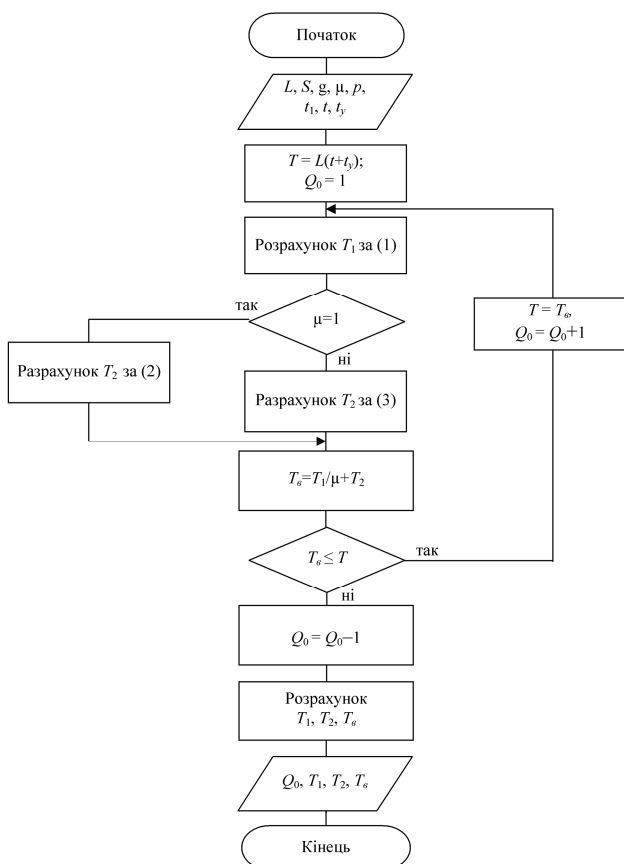


Рис. 4. Блок-схема алгоритму знаходження раціональної кількості дефектів, що необхідно усунути під час дефектації

Використання запропонованого в роботі алгоритму рис. 3 для сумісного пошуку кратних дефектів при тих же вихідних даних $t_1 = 5$ хв., $t = 1$ хв., $t_y = 2$ хв. приведе до результату, коли середній час відновлення мінімальний при визначенні в процесі дефектації $Q_0 = 10$ дефектів за $T_1 = 2,8$ години і складає $T_b = 4,5$ години (рис. 5), що в 2,08 рази менше, чим у прототипі [4].

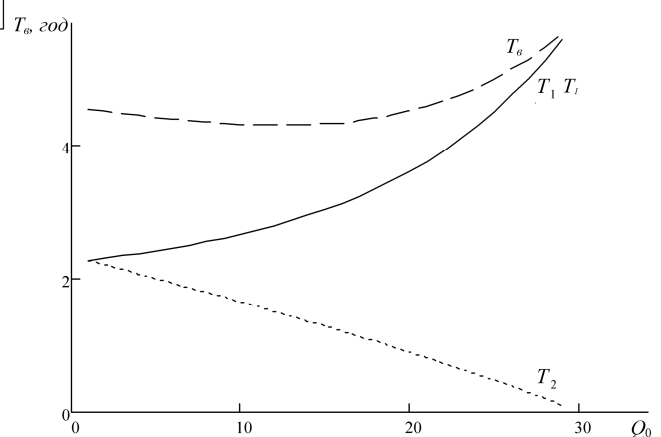


Рис. 5. Розподіл часу при відновленні апаратури ПІ-330-6 зі слабким ступенем пошкодження

Тобто, обґрунтований вибір діагностичних процедур і вірне завдання гранично допустимого часу дефектації суттєво скорочує час відновлення

ЗСЗ і підвищує ефективність роботи ремонтних органів за рахунок збільшення їх пропускної спроможності.

Ефект від використання моделі полягає в мінімізації середнього часу відновлення ЗСЗ з пошкодженнями слабкого ступеня за рахунок раціонального розподілу працевитрат між етапами дефектації та діагностування.

Наукова новизна запропонованої моделі полягає в тому, що вперше враховано вплив якості метрологічного забезпечення на час пошуку кратних дефектів і уточнені функціональні залежності часу дефектації і діагностування ЗСЗ з кратними дефектами.

Достовірність отриманого результату забезпечується:

коректним використанням вихідних даних;
обґрунтованим вибором припущень та обмежень;
врахуванням особливостей етапів відновлення ЗСЗ з кратними дефектами.

Достовірність підтверджується збігом отриманих результатів з відомими [4, 7, 8] і тим, що вони мають зрозуміле фізичне трактування.

Висновки

1. У результаті аналізу сучасних публікацій в галузі технічної діагностики встановлено напрямок досліджень і сформульована цільова функція процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами.

2. Запропоновано блок-схему алгоритму реалізації математичної моделі і її структура, що дозволяє мінімізувати середній час відновлення ЗСЗ з кратними дефектами за рахунок перерозподілу зусиль на етапах дефектації і діагностування.

3. Отриману математичну модель в подальшому доцільно використовувати при плануванні роботи ремонтних органів в умовах ведення бойових дій.

Список літератури

1. Міщенко О.Г. Забезпечення ремонту військової техніки зв'язку агрегатним методом / О.Г. Міщенко // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – Вип. № 2. – К.: ВІПІ НТУУ "КПІ". – 2002. – С. 68–70.
2. Керівництво з технічного забезпечення зв'язку та АУВ Збройних Сил України (КТЗЗ та АУВ ЗС України) / О.М. Іващенко, Ю.І. Катков, В.А. Рижаків та інші. – К.: Воснене видавництво, 2003. – 322 с.
3. Сакович Л.Н., Павлов В.П. Дефектація техніки связи с аварийными повреждениями // Зв'язок. – 2004. – № 7. – С. 52–56.
4. Павлов В.П. Методики дефектации военной техники связи при неплановых ремонтах : дис. канд. техн. наук : 20.02.14. – К., 2006. – 182 с.
5. Сакович Л.Н., Вансович Ю.П. Количественная оценка достоверности диагностирования при устранении аварийных повреждений техники связи // Зв'язок. – 2010. – № 2. – С. 47–49.
6. Сакович Л.Н., Рыжак В.А. Совместный групповой поиск кратных дефектов при ремонте техники связи // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 59–62.
7. Романенко В.П. Методика кількісної оцінки показників якості діагностичного забезпечення ремонту військової техніки зв'язку екіпажем апаратної технічного забезпечення / В.П. Романенко // Матеріали наук.-прак. сем. "Інформаційні технології у військовій сфері". – К.: ІТ НУО України, 2011. – Вип. 5. – С. 12–21.
8. Рижов Є.В. Методика обґрунтування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М.Ю. Яковлев, Ю.В. Прибілев, Є.В. Рижов // Труды університету : зб. наук. праць НУОУ. – 2016. – № 2 (123). – С. 65–73.
9. Барда А.П. Методики разработки диагностического обеспечения военной техники связи : дис. канд. техн. наук : 20.02.14. – К., 2000. – 189 с.

Надійшла до редколегії 27.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Козловський, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕМОНТА СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ С КРАТНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

Л.Н. Сакович, В.П. Романенко, И.М. Гиренко

В статье на основе использования результатов современных исследований в области технической диагностики и метрологии предложена математическая модель количественной оценки среднего времени восстановления средств специальной связи с кратными дефектами, которая учитывает этапы дефектации и поиска дефектов экипажами аппаратных связи или аппаратных технического обеспечения.

Ключевые слова: средства специальной связи, дефектация, поиск кратных дефектов, восстановление работоспособности.

MODELING THE PROCESS OF SPECIAL COMMUNICATIONS MEANS WITH MULTIPLE DEFECTS MAINTENANCE

L.M. Sakovych, V.P. Romanenko, I.M. Hyrenko

Based on the results of modern research in the field of technical diagnostics and Metrology, the article suggests mathematical model of quantitative estimation of the average recovery time of special communications means with multiple defects. This model takes into account the stages of fault detection and search defects by communications hardware or hardware technical support crews.

Keywords: special communications means, fault detection, search of multiple defects, means of communications recovery.

УДК 621.396.967

В.Г. Смоляр¹, К.О. Васильєв¹, І.І. Слюсарь¹, С.О. Тишко²¹ Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.² Державне підприємство «НДІ технологій та приладобудування», Харків

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТУВАННЯ В УМОВАХ ВПЛИВУ АДИТИВНИХ ЗАВАД

В даній статті на основі імітаційної моделі, що була запропонована раніше, проведено статистичне моделювання процесу спектрального детектування сигналів в умовах впливу білого гаусівського шуму. Процес моделювання складався з двох етапів. На першому етапі було проаналізовано імовірність помилки детектування в залежності від бітової комбінації пакету. В результаті було виявлено пари комбінацій пакетів, для яких імовірність помилки практично однакова. На заключному етапі досліджень було проведено оцінку імовірності помилки детектування при різних значеннях відношення сигнал/шум.

Ключові слова: спектральне детектування, завадостійкість, імовірність помилки пакету, цифрова обробка сигналів, дискретне перетворення Фур'є, білий гаусівський шум.

Вступ

В роботах, що були опубліковані раніше [1 – 4] авторами запропонований метод спектрального детектування сигналів, викладені результати моделювання процесу детектування сигналів з використанням зазначеного методу в умовах впливу як білого гаусівського шуму (БГШ), так і немодульованої вузькосмугової завади.

Результати моделювання підтвердили працездатність запропонованого методу.

В роботах [2, 3] авторами було зроблено припущення про більш високу завадостійкість запропонованого методу в порівнянні з традиційними способами детектування. Одним з напрямків подальших досліджень було визначено необхідність проведення статистичного моделювання для оцінки завадостійкості запропонованого методу.

Дана стаття є продовженням описаних у [1-4] досліджень и присвячена результатам статистичного моделювання методу спектрального детектування сигналів в умовах впливу БГШ.

Метою статті є оцінка завадостійкості методу спектрального детектування сигналів в умовах впливу БГШ шляхом імітаційного моделювання.

Основна частина

Вычислительное моделирование проводилось с использованием алгоритма, подробно описанного в работе [2]. Відмінною особливістю в порівнянні з імітаційною моделлю, що була використана в [2], є реалізований механізм статистичного моделювання, який полягає у багаторазовій передачі фіксованого пакету даних.

Статистичне моделювання проводилося з використанням математичного пакету Mathcad [5].

Як і в роботі [2] першим кроком процесу моделювання було формування вектору W , який містить в собі біти фіксованого пакету даних. Пакет містить в собі чотири біти, загальна довжина пакету становить 256 відліків (по 64 на кожний біт).

Імітація проходження сигналів через середовище розповсюдження проводилася шляхом додавання вектору адитивного шуму. Для формування вектору шуму використовувалися стандартні функції Mathcad.

Довжина вектору шуму обиралася рівною добутку кількості відліків у пакеті на число реалізацій передачі-прийому сигналів. Сформовані вектори шуму (для 1000 та 10000 реалізацій) були записані у файл на жорсткому диску і при проведенні експериментів зчитувалися з даного файлу. Завдяки цьому при проведенні досліджень в межах одного експерименту використовувався один і той же вектор шуму (а не заново сформований стандартною функцією Mathcad).

Тестовий пакет передавався задане число разів. Детектування сигналу відбувалося згідно алгоритму описаного у [2]. При цьому підраховувалася кількість пакетів, що були детектовані з помилкою і визначалася імовірність помилкового детектування пакету в цілому.

Першим етапом досліджень була оцінка імовірності помилкового прийому всіх можливих комбінацій інформаційних пакетів.

Це дослідження проводилося за наступних умов:

- відношення сигнал/шум (с/ш) рівне 1;
- кількість реалізацій $R = 1000$.

Таке відносно високе відношення сигнал/шум для даного етапу дослідження було обране за результатами попередніх досліджень з метою забезпе-

чення гарантовано-достатньої наявності помилок в різних пакетах.

Результати моделювання наведені в табл. 1. Графічне представлення результатів даного експерименту приведено на рис. 1. З аналізу результатів експерименту (табл. 1 та рис. 1) видно що: для різних комбінацій бітів пакету імовірність помилки відрізняється на порядки; присутні пари комбінацій пакетів для яких імовірність помилки практично однакова.

Присутність таких ефектів обумовлена властивостями дискретного перетворення Фур'є, про окремі моменти якого було згадано в [1, 6, 7]. Детальний аналіз вказаних ефектів буде проведено в подальших дослідженнях.

Наступним етапом було проведення дослідження залежності імовірності помилки детектування пакетів при різних значеннях с/ш. В якості тестового пакету була обрана комбінація за номером 3, оскільки при передачі пари 3 та 12 в попередньому експерименті (табл. 1) було отримано найгірший результат. Експеримент, для більшої достовірності, проводився для десяти тисяч реалізацій.

В табл. 2 представлені значення імовірності помилки детектування пакету при відношенні с/ш від 0,833 до 10. На рис. 2 показаний графік цієї залежності. З аналізу графіку (рис. 2) видно, що імовірність помилки детектування для найгіршого пакету нижча, ніж імовірність помилки прийому сигналів відомих систем зв'язку [7].

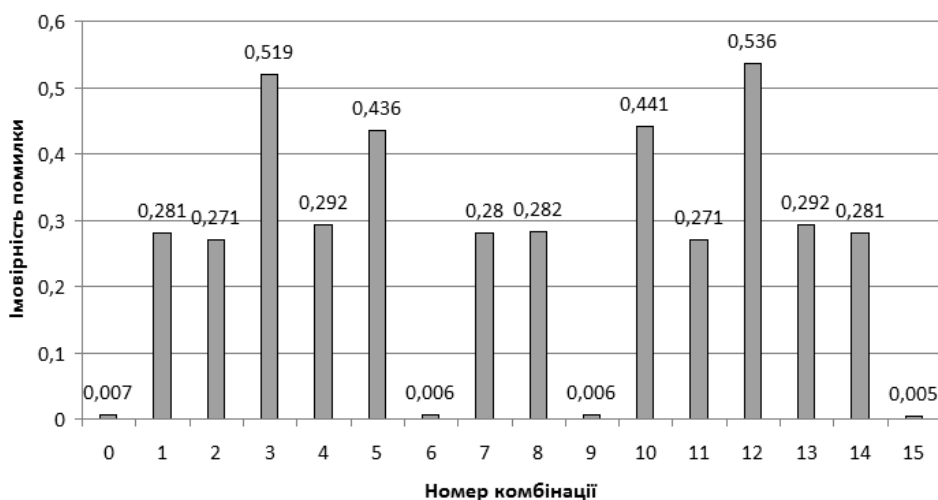


Рис. 1. Залежність імовірності помилки від номеру пакету (комбінації бітів)

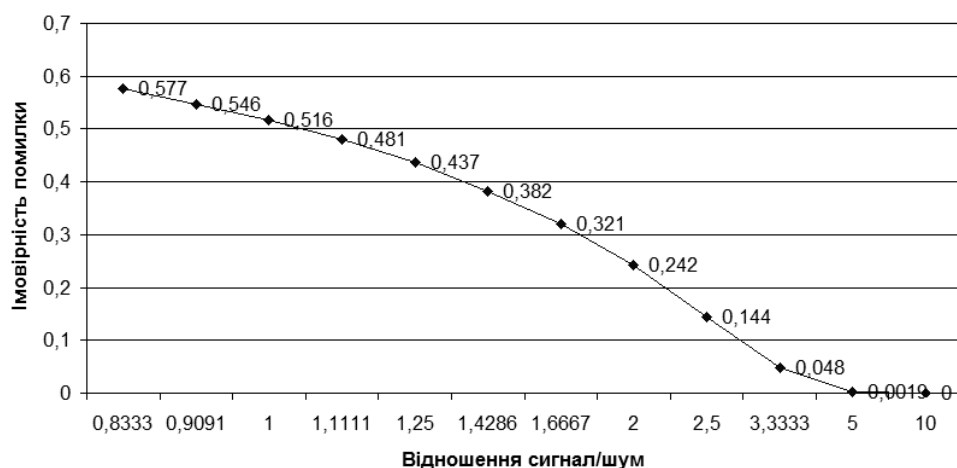


Рис. 2. Залежність імовірності помилки при різних значеннях с/ш

Таблиця 1

Імовірність помилки детектування для різних комбінацій бітів пакету (с/ш = 1, $R = 10^3$)

№ комбі- нації	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Бітовий пакет	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
Імовірність помилки	0,007	0,281	0,271	0,519	0,292	0,436	0,006	0,28	0,282	0,006	0,441	0,271	0,536	0,292	0,281	0,005

Таблиця 2

Імовірність помилки детектування пакету (0011) при різних значеннях відношення с/ш ($R = 10^4$)

Сигнал/шум	0,833	0,909	1	1,111	1,25	1,429	1,667	2	2,5	3,333	5	10
Імовірність помилки	0,577	0,546	0,516	0,481	0,437	0,382	0,321	0,242	0,144	0,048	0,0019	0

Висновки

Таким чином, в роботі проведено статистичне моделювання щодо оцінки завадостійкості прийому сигналів методом спектрального детектування в умовах впливу адитивних завад.

Визначено характер залежності імовірності пакетної помилки від номеру пакету (комбінації бітів пакету).

Проведено дослідження залежності імовірності помилки детектування пакету в залежності від відношення сигнал/шум.

В подальшому, планується провести більш детальний аналіз імовірності помилки від бітової комбінації, порівняння даного методу з класичними, оцінку бітової імовірності помилки.

Список літератури

1. Смоляр В.Г. Спектральна фільтрація с кореляційної демодуляцією сигналу / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, І.І. Слюсарь // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління, 2011. – Вип. 1(21). – С. 268-271.
2. Смоляр В.Г. Экспериментальное подтверждение работоспособности метода спектрального детектирования сигнала / В.Г. Смоляр, С.А. Тишко, И.И. Слюсарь, К.А. Васильев // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2013. – Вип. 6 (83). – С. 166-168.

3. Смоляр В.Г. Вычислительный эксперимент приема сигнала методом спектрального детектирования в условиях воздействия узкополосной помехи / В.Г. Смоляр, К.А. Васильев, С.А. Тишко, И.И. Слюсарь // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2015. – Вип. 14 (21). – С. 94-97.

4. Смоляр В.Г. Спектральне детектування імпульсів в умовах впливу білого шуму з використанням процедури «ковзного вікна» та прийняттям рішення за мажоритарним принципом / Вік.Г. Смоляр, О.М. Симоненко, А.В. Тройко, Д.О. Горобець, Вол.Г. Смоляр // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, – 2016. – Вип. 9 (146). – С. 69-72.

5. Официальный сайт MathCad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathcad.com>.

6. Слюсар В. И. Частотное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов / В. И. Слюсар, В. Г. Смоляр // Радиоэлектроника (Изв. высш. учеб. завед.). – 2003. – Т. 46. – № 7. – С. 30 – 39.

7. Финк Л.М. Сигналы. Помехи. Ошибки... Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи / Л.М. Финк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Слюсар, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АДДИТИВНЫХ ПОМЕХ

В.Г. Смоляр, К.А. Васильев, С.А. Тышко, И.И. Слюсарь

В данной статье на основе имитационной модели, предложенной ранее, проведено статистическое моделирование процесса спектрального детектирования сигналов в условиях воздействия белого гауссовского шума. Процесс моделирования состоял из двух этапов. На первом этапе была проанализирована вероятность ошибки детектирования в зависимости от битовой комбинации пакета. В результате было выявлено пары комбинаций пакетов, для которых вероятность ошибки практически одинакова. На заключительном этапе исследований была проведена оценка вероятности ошибки детектирования при различных значениях отношения сигнал/шум.

Ключевые слова: спектральное детектирование, помехоустойчивость, вероятность ошибки пакета, цифровая обработка сигналов, дискретное преобразование Фурье, белый гауссовский шум.

RESULTS OF STATISTICAL SIMULATION AND ESTIMATION OF NOISE IMMUNITY OF RECEPTION OF SIGNALS BY THE METHOD OF SPECTRAL DETECTION IN CONDITIONS OF AFFECTING OF ADDITIVE DISTURBANCE

V.G. Smolyar, K.A. Vasilyev, S.A. Tyshko, I.I. Slyusar

In this article on the basis of the simulation model offered earlier, a statistical simulation of the process of spectral detection of signals in conditions of affecting of a white gaussian noise is carried out. Simulation process consisted of two stages. At the first stage, the error probability of detection depending on a bit combination of a packet has been analyzed. As a result, pairs of packet combinations were identified, for which the error probability is almost the same. At the final stage of researches, the estimation of error probability of detection at different values of the signal-to-noise ratio has been spent.

Keywords: spectral detection, noise immunity, error probability of a packet, digital signal processing, discrete Fourier transform, white gaussian noise.

А.В. Шишацький¹, Р.О. Беляков², П.В. Хоменко², К.М. Гриценко²

¹ Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ

² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОАНТЕННИХ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З АФАР

В роботі запропоновано методику вибору раціональних значень параметрів багатоантенних систем військового радіозв'язку з активними фазованими антенними решітками. Методика дозволяє забезпечити вибір типу управління діаграмою направленості багатоантенних систем військового призначення за рахунок сумісного адаптивного управління параметрів багатоантенних систем військового радіозв'язку та активних фазованих антенних решіток на різні відстані.

Ключові слова: сигнально-завадова обстановка, амплітудно-фазовий розподіл, система МІМО, активна фазована антенна решітка, безпілотний літальний апарат.

Вступ

Можливість забезпечення стійкого зв'язку є однією з найважливіших характеристик, що визначають експлуатаційні можливості комплексу управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) і забезпечує доведення відомостей, отриманих БПЛА, у режимі “реального часу” до оперативного персоналу пункту управління (ПУ). Для забезпечення зв'язку на значні відстані і підвищення завадозахищеності за рахунок просторової селекції в комплексах управління БПЛА широко використовуються вузькоспрямовані антенні системи (АС) як на ПУ, так і на БПЛА. Функціональна схема системи управління просторовим положенням вузькоспрямованої АС, що забезпечує оптимізацію процесу входження у зв'язок в комплексах управління БПЛА включає в себе: антенну систему, радіотехнічні параметри якої вибираються, виходячи з вимог забезпечення необхідної дальності зв'язку по радіолінії; сервопривід АС, що забезпечує просторову орієнтацію діаграми спрямованості (ДС) АС в напрямку очікуваної появи випромінювання об'єкта зв'язку; систему автоматичного супроводу за напрямом (АСН), що забезпечує стійке автоматичне супроводження об'єкта зв'язку в зоні впевненого захоплення пеленгаційної характеристики системи АСН; радіоприймальні пристрої, що забезпечують формування умовного сигналу про прийом інформації з заданою якістю. процесор управління антенною системою, що забезпечує аналіз поточного стану системи управління АС, формування сигналів управління сервоприводом для забезпечення просторової орієнтації АС відповідно до польотного завдання і алгоритмом просторового сканування. Основне завдання, що виконується системою управління просторовим положенням вузькоспрямованої АС – забезпечити стійке входження в зв'язок з об'єктом, згідно польотного завдання.

Цю задачу розподілено на ряд часткових взаємопов'язаних завдань:

1. Забезпечення просторової орієнтації ДС АС в напрямку очікуваної появи випромінювання об'єкта зв'язку та її просторової стабілізації для випадку розташування АС на борту літального апарату.

2. Розширення зони стійкого захоплення випромінювання об'єкта зв'язку за рахунок застосування дискретного алгоритму просторового сканування з детермінованою просторово-часовою структурою.

3. Перехід в режим стійкого автосупроводу об'єкта зв'язку системою АСН при виявленні об'єкта зв'язку.

4. Забезпечення можливості повторного входження у зв'язок у разі її зриву.

Для дискретного алгоритму просторового сканування з детермінованою просторово-часовою структурою можна виділити наступні особливості:

1. Сканування ДС АС здійснюється дискретно в часі і в просторі.

2. Просторові переміщення ДН АС при скануванні здійснюються таким чином, щоб не залишалося просторових зон, які не перекриваються зоною впевненого захоплення системою АСН за весь цикл сканування.

Таким чином, слабкі сторони процесів управління ДС:

наявність прив'язки до навігаційних систем (через можливість радіоелектронного подавлення);

жорсткі вимоги до часових інтервалів регулювання процесами встановлення і ведення зв'язку.

Варіація амплітудно-фазового розподілу автоматичної фазованої антенної решітки (АФАР), відображає процес просторового “переміщення” діаграми повинна враховувати ширину головного пелюстка ДС.

Ширина ДС повинна встановлюватися в залежності від необхідної задачі (пошук абонента, органі-

зації каналу передачі сигнальної інформації, організації потоку передачі даних. Тобто, необхідний ширині та формі променя відповідатиме амплітудно-фазовий розподіл елементів АФАР, який буде реалізовано у одному із режимів АФАР. Але при цьому дуже важливим є збереження достатнього рівня підсилення.

В даній статті розглянуто приклади формування амплітудно-фазових розподілів для зміни форми і характеристик ДС відносно випадку рівномірного амплітудно-фазового розподілу, з метою збільшення енергетичної ефективності систем військового зв'язку.

Однією з технологій, що дозволяють значно збільшити пропускну здатність радіоканалів є технологія „багато входів – багато виходів” (MIMO – Multiple-Input Multiple-Output), яка дозволяє більш ефективно використовувати потужність передавача і боротися із замираннями сигналів [1–8].

Підвищення ефективності досягається за рахунок використання методів просторово-часової обробки (STC – Space Time Coding), що забезпечують передачу і приймання паралельних потоків інформації.

Теоретично пропускна здатність системи MIMO з STC може бути збільшена пропорційно кількості антен на передавальному боці (за умови, що кількість приймальних антен не менша ніж кількість передавальних антен) у порівнянні з традиційними системами радіозв'язку з однією передавальною антеною (SISO – Single-Input Single-Output). Для просторового мультиплексування паралельних потоків в основному використовуються метод просторового мультиплексування через сингулярне розкладання (PMCP) каналної матриці та алгоритм V-BLAST (Vertical Bell Laboratories Layered Space Time Architecture) [6–13].

У ході проведеного у роботі [15] аналізу, визначено те, що одним з шляхів подальшого розвитку засобів військового радіозв'язку полягає у проектуванні спрямованих антенних систем. Сучасні активні фазовані антенні решітки (АФАР) набувають високих темпів впровадження, а їх проектування і удосконалення в провідних країнах світу визнано перспективним.

Також у роботі [15] проведено аналіз існуючого стану систем та засобів радіозв'язку, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, та обґрунтовано доцільність використання АФАР у якості вузькоспрямованих антенних систем мобільної компоненти.

Тому, для підвищення спектральної та енергетичної ефективності систем військового радіозв'язку пропонується сумісне використання технології MIMO спільно з активними фазованими антенними решітками.

Тому метою статті є розкриття процесу раціонального вибору параметрів АФАР, яка забезпечує підвищення енергетичної та частотної ефективності засобів військового радіозв'язку, за рахунок спільного раціонального вибору параметрів багатоантенних систем з використанням технології MIMO та активних фазованих антенних решіток.

Результати досліджень

У [16] проведено формалізацію роботи системи MIMO та розглянуто розроблену методику адаптивного управління параметрами MIMO-АФАР, без розкриття нюансів вибору типу розподілу, що впливає в цілому на процес діаграмоутворення. Запропонована методика складається з таких етапів.

Введення вихідних даних.

Вводяться параметри системи MIMO та АФАР, каналу зв'язку $\Phi = \{\varphi_i\}$, $\varphi_i = 1 \dots 8$, де $\varphi_1 \dots \varphi_8$ – кількість передавальних та приймальних антен, вид модуляції, розмірність ансамблю сигналів, тривалість кадру на виході демодулятора, тривалість кадру на виході декодера, швидкість коригувального коду, величина кодової відстані.

Визначення умовної відстані до кореспондента, або ретранслятора зв'язку для вибору типу розподілу (амплітудно-фазовий/фазовий).

Оцінка стану каналу зв'язку. На даному етапі за допомогою одного з відомих методів [11–14] оцінюється стан багатопроменевого каналу зв'язку та визначається його канална матриця.

Адаптивний вибір кількості каналів системи MIMO. Проводиться розрахунок сингулярних чисел. Якщо мінімальне сингулярне число більше граничного, то такий режим буде задовольняти вимогам до ймовірності бітової помилки – вихід із циклу. В іншому випадку зменшуємо число каналів на один.

Для кожної комбінації каналів, що залишилися, будемо мати по одному мінімальному сингулярному числу. Залишимо ті комбінації, у яких мінімальне сингулярне число більше порога. Якщо такі комбінації є, виберемо ту з них, у якій мінімальне сингулярне число є максимальним. Якщо залишився один канал передачі – вихід із циклу. Запропонований алгоритм дозволяє не тільки визначити максимально припустиме число паралельних каналів для передачі даних, але й вибрати найбільш завадостійкі з них.

Розподіл потужності сигналу між власними каналами.

За допомогою водоналивного методу [14], здійснюється розподіл потужності між власними каналами. Дана процедура повторюється з інтервалом $\tau_{\text{тр}}$ тривалість групи символів, на які розділяється потік сигналів.

Адаптивне управління параметрами АФАР.

В системах радіозв'язку актуальною є проблема виділення сигналів з адитивної суміші із завадами,

при відсутності апіорної інформації про завадову обстановку. У цьому випадку просторова обробка сигналів у АФАР полягає в визначенні вагового вектора, що забезпечує автоматичне формування глибоких провалів у діаграмі спрямованості в напрямку на джерела завади; оцінці кількості діючих джерел сигналів або завад, а також їх параметрів – амплітудно-фазових значень на кожному із модулів АФАР.

При подавленні завади в АФАР основну складність представляє необхідність обернення вибіркової кореляційної матриці вхідного процесу в приймальних антенах. Для знаходження вагового вектора в АФАР використовуються градієнтні методи, методи поводження оцінки кореляційної матриці вхідного процесу і методи рекурентного оцінювання зворотної кореляційної матриці [15, 17].

Розглянемо більш докладно характеристики антенних решіток, які використовуються в системі МІМО. Як відомо [15, 17], АФАР складаються з великої кількості випромінюючих елементів, розташованих відповідним чином один відносно одного. Коли сигнали, що надходять до всіх елементів, узгоджуються за амплітудою і фазою, утворюється промінь, перпендикулярний площини антенної решітки.

Переміщення променів в просторі досягається відповідно фазовому, або амплітудно-фазовому розподілу сигналів в елементах антенної решітки.

Вибір раціональних сигнально-кодових конструкцій.

На даному етапі зі скінченної кількості коригувальних кодів та видів модуляції, що визначаються вихідними даними, в залежності від поточного відношення сигнал/завада, для кожного підканалу визначається СКК, яка дозволяє отримати максимальне значення швидкості передачі при забезпеченні заданої ймовірності бітової помилки.

Основні етапи вибору оптимальних сигнально-кодових конструкцій наступні:

На підставі параметрів радіозасобів та каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення допустимої величини ймовірності бітової помилки радіозасобів

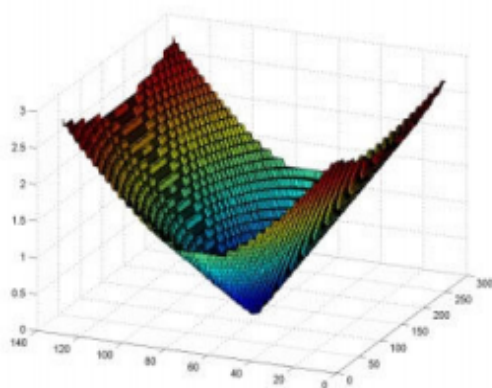
вибираємо розмірність ансамблю сигналів N (конструкції з одномірними, двомірними і багатомірними сигналами), а також структура ансамблю сигналів.

Отримано аналітичні залежності для розрахунку ймовірності бітової помилки при використанні M -позиційних сигналів з *фазовою* маніпуляцією (ФМ-М) та *амплітудно-фазовою* маніпуляцією (АФМ-М) для випадку передачі інформації по одному каналу системи МІМО в умовах впливу флуктуаційного шуму та навмисних завад.

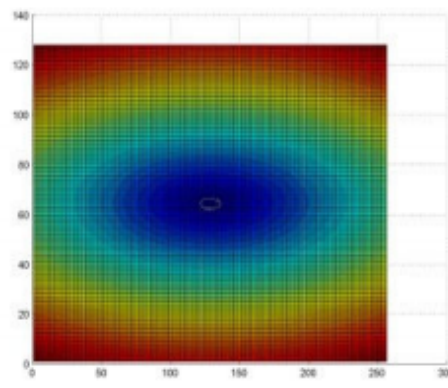
У каналі з селективними завмираннями та білим шумом при когерентному прийманні відомі точні формули ймовірності бітової помилки для модуляції ФМ-М ($M > 2$) [6-9]. У каналі з селективними завмираннями та білим шумом при когерентному прийманні відомі точні формули ймовірності бітової помилки для модуляції ФМ-М ($M > 2$) [6-9, 17].

Розроблена методика [16] дозволяє розширити ДС АФАР за умови мінімізації втрат по коефіцієнту підсилення антени, потенціалу на виході радіостанції а також забезпечення необхідного рівня бокових пелюстків і необхідної лінійності і крутизни пеленгаційної характеристики [19]. Цілком очевидно, що формування відповідного амплітудного розподілу, і тим паче повне відключення активних елементів (для зменшення апертури) призведе до втрат не тільки коефіцієнта підсилення а й потенціалу. Тому актуальність пошуку оптимального *фазового* а) або *амплітудно-фазового розподілу* б) (рис. 1) для забезпечення зв'язку на різну відстань до кореспондента не викликає сумніву. Застосування того чи іншого методу залежить як від коефіцієнту розширення, так і від інших параметрів ДС до яких висуваються специфічні вимоги. Одним із найбільш простих способів розширення ДС при рівномірному амплітудному розподілі є фазовий розподіл, що описується рівнянням конуса трьохвимірний вид якого і вид на полотні АФАР представлено на рис. 1а й 2б відповідно.

Параметри рівняння, необхідні для заданого виду розподілу, задаються автоматично і залежать від геометрії АФАР.



а



б

Рис. 1. Фазовий розподіл типу “конус”

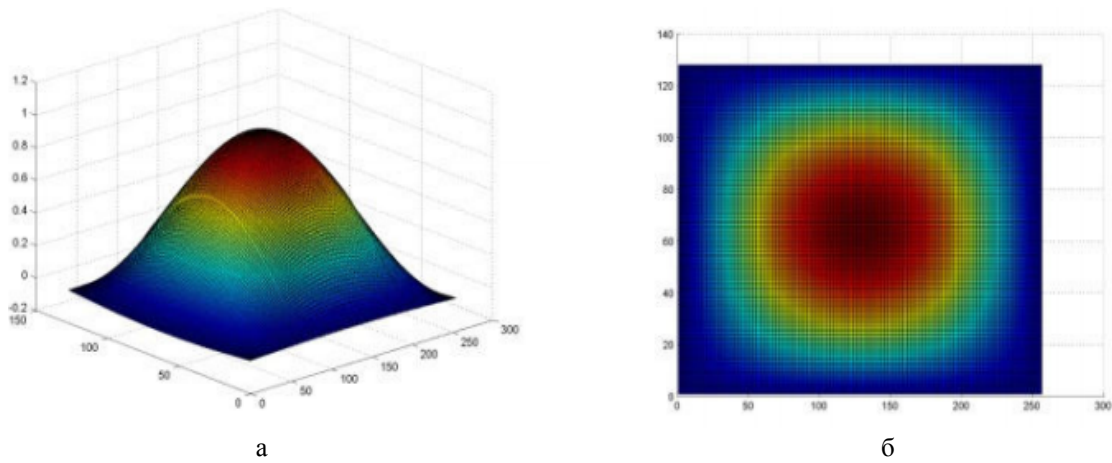


Рис. 2. Амплітудно-фазовий розподіл типу “косинус”

Дослідження фазового розподілу [19, 20] при різних значеннях параметрів конуса показало, що розширення сумарного променя ДС без його подвоєння - незначне і не перевищує одиниць відсотків (рис. 3, а). Із рисунку видно, що використання виключно фазового способу розподілу для керування параметрами променя АФАР за рівномірних значень амплітуди приводить до посіченості головного пелюстка і зростання рівня бокових пелюстків. Для того, щоб це компенсувати, додатково вводиться нелінійність амплітудного розподілу. Змішаний ам-

плітудно-фазовий метод управління параметрами ДС призводить до додаткових втрат підсилення, але дозволяє збільшити крутизну й лінійні пеленгаційні характеристики, ніж просто фазовий метод.

Параметри амплітудного и фазового розподілів задаються автоматично. Використання такого виду розподілу (рис. 3) дозволяє розширити ДС до восьми разів відносно випадку рівномірного амплітудно-фазового розподілу при збереженні достатньої крутизни та лінійності пеленгаційної характеристики (рис. 3, б).

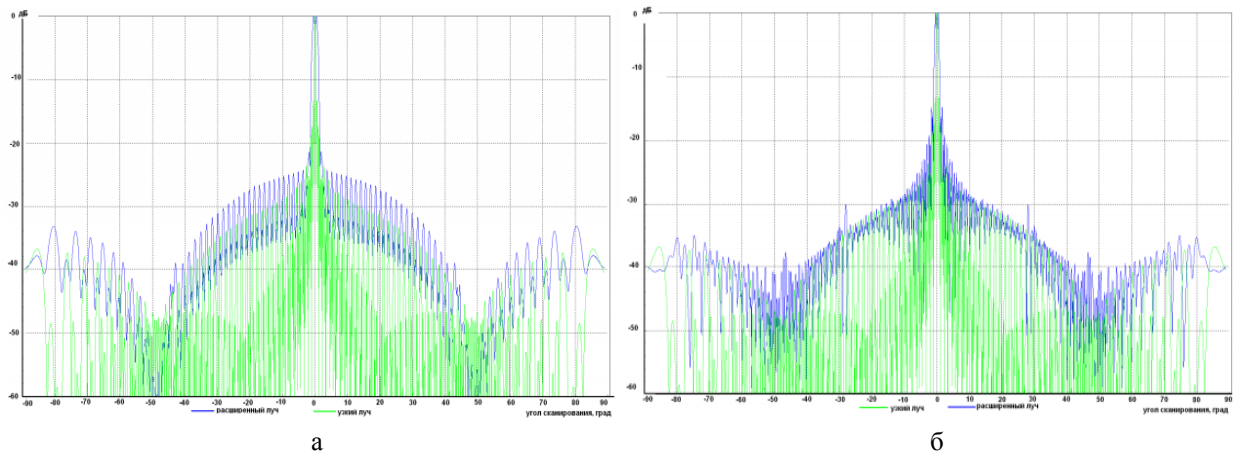


Рис. 3. Функція розподілу: а – при різних значеннях параметрів “конуса”; б – при амплітудно-фазовому розподілі типу “косинус”

Із графіку видно, що починаючи з деякого значення, ДС є сильно посіченою, не дивлячись на компенсуючий вплив нелінійного амплітудного розподілу. Це призводить до зростання бокових пелюстків, значній нелінійності пеленгаційної характеристики й зменшенню коефіцієнта підсилення антени. Використання нелінійного амплітудно-фазового розподілу, де як амплітуда, так і фаза мають вигляд “косинуса” дозволяє управляти розширенням променя в широкому діапазоні значень (розширення до десятків разів). Але подібне розширення діаграми призводить до сильної посіченості, нелінійності пеленгаційної характеристики й значного зменшення коефіцієнта підсилення антени.

Висновки

1. У роботі розкрито варіанти вибору типу розподілу запропонованої [16] методики селективного управління параметрами багатоантенних систем військового радіозв'язку з АФАР. Сутність методики полягає у виборі раціональних значень параметрів багатоантенних систем військового радіозв'язку з АФАР в залежності від сигнально-завадової обстановки та відстані до кореспондента.

2. Методика дозволяє забезпечити вибір типу управління діаграмою направленості МІМО систем військового призначення за рахунок сумісного вибору раціональних значень параметрів багатоан-

тених систем військового радіозв'язку та активних фазованих антенних решіток на різні відстані. Результати такого селективного вибору розподілу дозволять найбільш повно використовувати енергетичні ресурси радіостанцій системи МІМО по управлінню ДС.

3. Використання розробленої методики дозволить підвищити завадозахищеність системи радіозв'язку на 12-14% у порівнянні з відомими, а з у поєднанні з розробленою методикою безеталонної оцінки [14] на 15-23%.

Напрямок подальших досліджень є розробка методики вирівнювання часових інтервалів управління параметрами системи МІМО-АФАР з метою забезпечення вимог до часових інтервалів регулювання процесами встановлення і ведення зв'язку.

Список літератури

1. Вишневикий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко., Ю.А. Распаев. – М.: ЭкоТрендз, 2005. – 384 с.
3. Волков Л.Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: учебное пособие / Л. Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: ЭкоТрендз, 2005. – 392 с.
4. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011 – 904 с.
5. Слюсар В. Системы МІМО: принципы построения и обработка сигналов / В. Слюсар // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2005. – № 8. – С. 52–58.
6. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи / К. Веселовский; под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
7. Larsson E.G. On maximum-likelihood detection and decoding for space-time coding systems / Larsson E.G., Stoica P., Li J. // IEEE Trans. Signal Processing. – 2002. – V. 50. – No. 4. – P. 937–944.
8. Tarokh V. Space-time block coding for wireless communication: Performance results / V. Tarokh, H. Jafarkhani, A.R. Calderbank // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – March 2005. – V. 17. – P. 451–460.
9. Capacity limits of MIMO channels / A.J. Goldsmith, S.A. Jafar, N. Jindal, S. Vishwanath // IEEE J. Select. Areas Commun. – 2003. – Vol. 21, № 6. – P. 684–702.
10. Andrews J.G. Interference cancellation for cellular systems: A contemporary overview / Andrews J.G. // IEEE Wireless Communications Magazine. – 2005. – vol. 12, № 2. – P. 19–29.
11. Шишацкий А. В. Удосконалена методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції / А. В. Шишацкий, О. Г. Жук, В. В. Лютов, Р. М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4. – С. 117–121.
12. Hamid Jafarkhani. Space-Time Coding: theory and practice // Cambridge University Press, 2005 – 302 p.
13. Беляков Р. О. Аналіз якісних показників систем автоматичного керування діаграмою направленості активних фазованих антенних решіток [Текст] / Р. О. Беляков // Військово-технічний збірник. – № 12. – Львів: АСВ, 2015. – С. 6–12.
14. Шишацкий А.В. Методика адаптивного управління параметрами МІМО-АФАР / А.В. Шишацкий, О.Г. Жук, Р.О. Беляков // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 4. – С. 77–82.
15. Шишацкий А. В. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А.В. Шишацкий, В.В. Лютов, М.В. Борознюк, І.Ю. Рубцов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 3. – С. 181–186.
16. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / М. В. Ратынский. – М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.
17. Воскресенский Д.И.; Гостюхин В.Л.; Максимов В.М.; Пономарев Л.И. // Антенны и устройства СВЧ. Издательство МАИ, 1999.
18. Батов П.Л., Дрожжина Н.В., Калашиник И.Е., Туманская А.Е. // Исследования влияния элементов конструкции АФАР на диаграмму направленности. Антенны, 2013. вып.1. – С. 188.

Надійшла до редколегії 22.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МНОГОАНТЕННЫХ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ С АФАР

А.В. Шишацкий, Р.О. Беляков, П.В. Хоменко, К.Н. Гриценко

В работе предложена методика выбора рациональных значений параметров многоантенных систем военной радиосвязи с активными фазированными антенными решетками. Методика позволяет обеспечить выбор типа управления диаграммой направленности многоантенных систем военного назначения за счет совместного адаптивного управления параметрами многоантенных систем военной радиосвязи и активных фазированных антенных решеток на различные расстояния.

Ключевые слова: сигнально-помеховая обстановка, амплитудно-фазовое распределение, система МІМО, активные фазированные антенные решетки, беспилотный летательный аппарат.

METHOD OF SELECTING RATIONAL VALUES OF PARAMETERS OF MULTI- ANTENNA RADIOCOMMUNICATIONS WITH APAA

A.V. Shyshatskyi, R.O. Belyakov, P.V. Khomenko, K.N. Gritsenok

The method of choosing rational values of parameters of multi-antenna systems of military radio communication with active phased array antennas is proposed. The method allows to provide a choice of the type of control of the pattern of the battle-ship systems for military use due to the joint adaptive control of the parameters of the military radio communication systems and active phased antenna arrays for different distances.

Keywords: signal-interference situation, amplitude-phase distribution, MIMO system, active phased antenna arrays, unmanned aerial vehicle.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Mohammed Amin Salih	136	Коваленко В.В.	176	Радченко В.О.	154
Артюх Р.В.	171	Козелкова К.С.	17	Разумов-Фризюк С.А.	36
Барабаш О.В.	68	Корж Ю.М.	150	Романенко В.П.	193
Басюк В.С.	26	Кривенко О.В.	179	Рубан І.В.	141
Беляков Р.О.	201	Кривобока Г.І.	55	Саснко В.І.	147
Бородавка В.В.	89	Курчанов В.М.	150	Сакович Л.М.	193
Бронніков А.І.	30	Кучук Г.А.	117	Свид І.В.	23
Варич В.В.	131	Лебедєв В.О.	154	Семченко Д.О.	112
Васильєв К.О.	198	Лещинська І.О.	85	Сизранцев М.Г.	125
Відешин М.І.	61	Лисенко Д.Е.	167	Сичова О.В.	43
Гиренко І.М.	193	Лисенко І.В.	89	Сільвестров А.М.	55
Глебова М.І.	46	Любарський Б.Г.	46	Сінотін А.М.	30
Глива В.А.	176	Ляшевський В.Г.	94	Слюсарь І.І.	198
Глуховець Ю.В.	131	Мавріна М.О.	150	Смоляр В.Г.	198
Гончаров Д.В.	51	Макогон О.А.	121	Сокол Г.В.	131
Гриценко К.М.	201	Малєєва О.В.	171	Строкань О.В.	57
Грінченко І.Г.	43	Малкіна В.М.	57	Теслюк С.І.	43
Гурський Т.Г.	179	Мінухін С.В.	125	Тиртишніков О.І.	150
Гусятин В.М.	71	Міхаль О.Ф.	102	Тихенко О.М.	176
Гусятин М.В.	71	Мовсєєєв Я.С.	39	Тишко С.О.	198
Данилов Ю.А.	19	Могілатенко А.С.	19	Ткачов В.М.	154
Даншина С.Ю.	161	Молчанов К.С.	125	Токарев В.В.	154
Дегтярьова Л.М.	94	Морозов В.Л.	112	Филипенко О.І.	61
Дичко О.О.	121	Москаленко А.О.	131	Фролов А.В.	39
Дубницький В.Ю.	76	Москалець Н.В.	185	Функендорф А.О.	36
Дяченко В.О.	102	Невлюдов І.Ш.	36, 39	Хоменко П.В.	201
Євсєєв В.В.	36	Новік С.А.	121	Худов В.Г.	141
Єпіфанов А.С.	108	Новоселов С.П.	43	Худов Р.Г.	141
Замула О.А.	112	Носова Н.Ю.	171	Цимбал О.М.	30
Захарченко Р.В.	55	Обідін Д.М.	4	Цуранов М.В.	98
Іхтіяров А.Ю.	33	Обод А.І.	23	Чала О.О.	61
Калашник М.А.	4	Остроумов І.В.	8	Шефер О.В.	13
Кірсенко В.В.	68	Павленко М.А.	19	Широкопетлева М.С.	81
Клименко А.М.	51	Панкратова О.С.	188	Шишацький А.В.	201
Кобилін А.М.	76	Петренко О.М.	46	Шостак А.В.	158
Кобилін О.А.	76	Пєвнєв В.Я.	98	Шуляк М.Л.	64
Коваленко А.А.	117	Письменецький В.О.	39		
Коваленко А.І.	81	Подорожняк А.О.	51		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 2 (42)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Львіна*

Свідцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 25,75. Тираж 200 прим. Зам. 419-17

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua