

ВІДГУК

офіційного опонента професора кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктора технічних наук, професора Толюпи Сергія Васильовича на дисертацію Якимчук Наталії Миколаївни «Методи боротьби з перевантаженнями телекомунікаційних мереж нових поколінь шляхом формування потоків різнорідного мережного трафіку», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації

В даний час спостерігається великий інтерес до методів аналізу і оптимізації телекомунікаційних, комп'ютерних і об'єднаних мереж, «інтелектуалізації», «конвергенції», створення так званих «мереж нових поколінь», до впровадження мережних систем управління, які «пристосовуються», «самоналагоджуються», «навчаються» і т.п. Не можна покаржитися на мале число прикладів таких систем, розробок різних протоколів, технологій, проектів і пов'язаних з ними міркувань, тверезих або фантастичних. Гірше йде справа з іншим: з систематизацією в цій області знань, з освітленням питання, яке місце математичний апарат теорії мереж займає в задачах побудови мереж, нарешті, з розробкою обґрунтованої термінології.

Таким чином, має місце калейдоскопічна зміна технологій, технічних рішень і самих принципів побудови мереж. Вона супроводжується закритістю характеристик мережного обладнання і, як результат – українською низькою ефективністю використання мережних ресурсів. Одночасно теоретична наука не встигає за технологічними розробками і спробами швидкого впровадження нових рішень де-факто.

Приведені міркування можуть служити основою для вибору і обґрунтування перспективних напрямів досліджень науково-теоретичного і науково-прикладного характеру у області побудови і експлуатації інформаційно-обчислювальних мереж. Це, по-перше, розробка математичних моделей мережного трафіку, мережних і термінальних вузлів як елементів системи управління мережею, боротьби з перевантаженнями, несанкціонованими вторгненнями в роботу мережі. По-друге, це дослідження загальних питань управління мережами як розподіленими системами із змінними параметрами і структурою, затримками корисної і службової (зокрема, управляючої) інформації. По-третє, це питання декомпозиції загальної задачі управління мережею на часткові задачі управління якістю, надійністю, безпекою функціонування мережі і доставки інформації. Сюди ж можна віднести і задачі розподіленого управління сегментами мережі. Це, у свою чергу, спричиняє за собою необхідність отримання асимптотичних оцінок – наскільки далекі від оптимуму результати незалежного управління

окремими сегментами в порівнянні з теоретичною ефективністю управління мережею в цілому.

Необхідна якість обслуговування в телекомунікаційних мережах не може бути забезпечена тільки методами оптимального розподілу мережного трафіку. Крім цього, потрібні ефективні методи і алгоритми управління класами, чергами і потоками в мережних та комутаційних вузлах. Для розробки методів управління і побудови стійких систем управління мережею необхідно враховувати динамічні характеристики комутаційних вузлів. Тому задача дослідження динамічних характеристик комутаційних вузлів є, безумовно, актуальною.

Специфікою забезпечення якості обслуговування у мережах з різномірним трафіком є те, що параметри та навіть статистичні розподіли параметрів мережного трафіку апріорно невідомі та змінюються в широких межах. По суті, маємо задачу управління мережею, що є складною системою, за умов непараметричної апріорної невизначеності.

Тема дисертації Наталії Якимчук, що присвячена розробці методів контролю та управління якістю сервісу мереж з різномірним трафіком є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень.

Результати дисертації наведено у вигляді математичних моделей, алгоритмів, структурних схем. Показано місце різних методів оцінювання стану мережі, параметрів мережного трафіку та управління якістю обслуговування. Для підтвердження теоретичних результатів наведені приклади розрахунків типових показників імовірності доступу до мережі, контролю перевантаження та раціональних періодів опитування мережних вузлів та елементів. Дано аргументовані порівняльні оцінки запропонованих автором нових рішень відносно результатів інших авторів, одержаних раніше.

Достовірність наукових положень.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, на наш погляд, обумовлена такими міркуваннями:

- математичний апарат, що використаний у дисертаційних дослідженнях, застосований на достатньому для інженерних задач рівні точності та коректності;
- нові наукові результати узагальнюючого характеру, які отримані в дисертації, при відповідних спрощеннях та припущеннях можуть бути зведені до добре відомих, багатократно перевірених теоретично та експериментально часткових результатів, одержаних раніше іншими авторами;
- математичні моделі та одержані наукові результати співпадають з інтуїтивними уявленнями про реальні фізичні процеси, які протікають в системах, що досліджувалися.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримані наступні нові наукові і практичні результати:

1. Удосконалено модель управління параметрами інформаційних потоків у телекомунікаційних мережах. На відміну від існуючих, запропоновану модель побудовано на підґрунті теорії марківських процесів, що дозволяє аналізувати потоки самоподібного трафіку з не гаусівськими ймовірнісними розподілами, зокрема, розподілами з важкими хвостами (long-tale distributions).

2. Вперше розроблено алгоритм визначення перевантажень за інформаційним критерієм. В якості критерію пропонуємо використати апроксимовану ентропію параметрів часових рядів. Була розрахована залежність ентропії розподілів від імовірності успішної передачі даних одного із мережних вузлів. Показано вплив ентропії розподілу на потрібний ресурс для обміну даними.

3. Удосконалено метод адаптивного формування потоків мережного трафіку з непрямим зворотним зв'язком. Метод відрізняється від раніше запропонованих тим, що має принципово розширений вектор керуючих дій, внаслідок чого виключається потреба у додатковому каналі зворотного зв'язку.

4. Вперше розроблено метод оптимізації параметрів та структури формувача мережного трафіку з контролем довжин інтервалів перевищення рівнів параметрів потоку та введенням додаткового модуля прогнозування необхідного розміру буфера відповідно до змін інтенсивності надходження вхідних пакетів.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Запропоновані в роботі моделі квазідетермінованого потоку легко алгоритмізуються та з задовільною точністю можуть використовуватися при розрахунках та моделюванні самоподібного мережевого трафіку. Вони засновуються на уповні логічних правилах імовірнісного оцінювання (зокрема, на правилі "трьох сігма"), що дозволяє отримувати практичні оцінки поточних характеристик квазідетермінованих потоків.

2. Розроблений алгоритм пошуку перевантажень з використанням апроксимованої ентропії часових рядів параметрів трафіку є універсальним і наочним, дозволяє ефективно здійснювати дослідження мереж, що працюють при високому навантаженні (при близьких до одиниці коефіцієнтах використання мережі, тобто на грані насичення). Використання методики при рівні граничного показника коефіцієнту використання дозволяє зафіксувати ризик перевантаження мінімум на 0,2 умовних одиниці часу (тобто на 20%) раніше, ніж при періодичному вимірюванні середнього розміру буфера мережевого вузла.

3. Запропонований метод адаптивного формування потоку трафіку дозволить підвищити ефективність управління перевантаженнями мережних вузлів, шляхом перетворення вхідного трафіку до виду квазідетермінованого.

Показано зменшення швидкості наростання довжини черги заявок при зростанні коефіцієнта використання на третину у порівнянні з моделями M/M/1 та M/D/1. Запропоновані методи й алгоритми адаптації управління частотою генераторів маркерів просто реалізувати програмно чи апаратно.

4. Розроблений метод оптимізації параметрів та структури формувача мережного трафіку, на відміну від існуючих, дає додаткові можливості згладжування викидів самоподібного трафіку з мінімальними втратами користувальницької інформації. Використання предиктора Сміта зі степеневим згладжуванням природно узгоджується зі статистиками самоподібного трафіку, який має розподіли з "важкими хвостами". Спостерігається зменшення СКВ флуктуацій та інтервалу спадання частоти генератора маркерів до 25% у порівнянні із експоненціальним згладжуванням.

Теоретичні результати і висновки доведені до конкретних алгоритмів і обчислювальних програм. Результати теоретичних досліджень характеристик мережі доведені до конкретних аналітичних виразів. По цих виразах побудовані відповідні графіки, які зручно використовувати при аналізі характеристик телекомунікаційних мереж різного масштабу і призначення.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертації викладені у 19 публікаціях, серед яких: 5 публікацій у виданнях, що представлені в наукометричній базі SCOPUS, 8 статей у періодичних виданнях включених до «Переліку наукових фахових видань України», 4 одноосібних публікації. Результати роботи доповідались та обговорювались на семи міжнародних конференціях.

Мова і стиль дисертації та автореферату цілком задовільні і відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Зміст автореферату відповідає змістові дисертації та об'єктивно відображає основні результати роботи. Використання чужих наукових результатів без посилань на авторів у дисертації не виявлено.

Обсяг і структура дисертації відповідають вимогам та рекомендаціям ДАК. Загальний об'єм дисертаційної роботи складає 160 сторінок з них: основна частина 116 сторінок, 42 рисунки, 2 таблиці. Список використаних джерел містить 134 найменування.

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність обраної теми, запропоновано методику наукового дослідження, сформульовано мету і задачі роботи, зазначено практичну цінність, наукову новизну, показано зв'язок роботи з науковими темами, планами, програмами, наведено відомості про апробацію результатів і їх впровадження.

У **першому розділі** виконано аналітичний огляд проблематики і постановка задачі досліджень в області загальної проблеми моніторингу та аналізу телекомунікаційних мереж.

Визначено, що технологія аналізу, моніторингу і діагностики представляє собою набір діагностичних засобів і методику їх використання,

які дозволяють дати об'єктивну оцінку якості роботи апаратних засобів та прикладних програм в мережі і обґрунтувати рекомендації по поліпшенню їх роботи. Сформульовано мету та частинні задачі діагностики та управління якістю сервісу як основні дослідницькі завдання дисертаційної роботи. Оскільки цілі управління перевантаженнями - економія витрат при збереженні QoS абонента є взаємосуперечливі, то сформовано ряд обмежень, що накладаються на рішення щодо управління перевантаженнями.

Експериментально і теоретично підтверджено наявність самоподібних властивостей складного різнорідного трафіку (мова + відео + дані + мобільні абоненти). Зроблено висновки щодо обмеження можливостей використання для опису самоподібних процесів результатів класичної теорії масового обслуговування.

Для визначення стану справ в області оцінювання параметрів ефективності безпроводових телекомунікаційних мереж проаналізовано основні принципи їх побудови, мережні топології та структури. Розглянута класифікація принципів побудови безпроводових мереж та складених мереж (проводових телекомунікаційних транспортних мереж з включенням безпроводових сегментів, що грають роль мереж доступу).

Другий розділ присвячений методам моніторингу та аналізу мережного обладнання, яке використовується для розв'язання задач управління характеристиками мережі. Для пуасонівського трафіку можна у замкненій формі отримати розв'язки рівнянь для оцінок імовірності, довжини черг тощо. Для самоподібного трафіку рівняння для оцінок не мають прямих розв'язків. Тому у роботі запропоновано аналізувати динаміку перевантажень за інформаційним критерієм. Розраховані порівняльні ентропійні характеристики модельних розподілів. При розрахунку ентропійних мір використовуються різні параметри, найбільш придатні для кожного конкретного модельного розподілу.

Побудовано узагальнену модель управління параметрами інформаційних потоків у телекомунікаційних мережах. Показано, що ефективно спроектована телекомунікаційна мережа має ієрархічну структуру, кожен рівень якої реалізує конкретну мету функціонування і виконує окремі задачі. У роботі розглянута математична модель алгоритму альтернативної маршрутизації, яка більш повно використовує ресурси мережі передачі даних в порівнянні з фіксованою маршрутизацією, виведено та досліджено рівняння балансу потоків для вузлів мережі.

Третій розділ присвячений розробці методів управління та боротьби з перевантаженнями. Проаналізовано статистичні характеристики різнорідного мережного трафіку і здійснено порівняльний аналіз ефективності протоколів управління залежно від коефіцієнта використання мережі. Специфічні характеристики мережного трафіку пояснюються високим ступенем групування пакетів на клієнтських ділянках, в маршрутизаторах і вузлах комутації інфокомунікаційних мереж. На основі порівняльного аналізу затримок при централізованому управлінні та управлінні на рівні автономних сегментів пропонується основну частину функцій з управління слід покласти

саме на рівень автономних сегментів. У кожному із сегментів команди керуючого протоколу прикладного рівня можуть упаковуватися в кадри каналного рівня, минаючи проміжні рівні.

Запропоновано метод адаптивного формування потоків мережного трафіку і способи налаштування структур управління систем з непрямим зворотним зв'язком, які керують параметрами і структурою багатошвидкісного ієрархічного формувача трафіку. Розширено набір параметрів формувача, які оптимізуються. По результатах контролю параметрів вхідного потоку обчислюються припустимі значення числа умовно зелених та числа умовно жовтих пакетів, що короткочасно перевищують гарантовану пропускну спроможність вузла. Пакетам надається відповідний пріоритет обслуговування. При проходженні формувачів типу "маркерне відро" розглянута модель СМО та статистика трафіку перетворюється. Зокрема, на виході формувача типу "маркерне відро" трафік набуває квазідетермінованого (Qd) характеру з періодом слідування пакетів T_{arr} . Він описується моделями $Qd|G|1|k$ або $Qd|M|1|k$.

У четвертому розділі здійснена розробка модифікованого методу та пристрою формування мережевого трафіку, проведений аналіз ефективності розроблених методів та пристроїв формування трафіку телекомунікаційних мереж нових поколінь. Математична модель комутаційного мережного вузла розглянута як однолінійна система масового обслуговування. Приведено порівняльні характеристики часу очікування та середньої кількості повідомлень у чергах; здійснено порівняння параметрів черг $M/M/1$, $M/D/1$ та $Qd/D/1$ і дослідження впливу якості формування трафіку на імовірності блокування та відкидання пакетів для різних моделей очікування. Для оцінки продуктивності безпроводової телекомунікаційної мережі за умов передавання різнорідного трафіку типу *Triple Play/Quadruple Play* розраховано варіації нормалізованого тайм-ауту у залежності від величини вибраного часу тайм-ауту для різних значень коефіцієнтів кругової затримки. Варіації нормалізованого тайм-ауту досить плавні через усереднення часу обігу на інтервалі спостереження. Зі збільшенням варіації часу обігу результуючий тайм-аут швидко зростає. Тому постійний контроль параметрів і стану мережі для запобігання погіршенню затримки доставки, джиттеру та вандеру лишається актуальною проблемою.

Запропоновані методи й алгоритми адаптації управління частотою генераторів маркерів. Для отримання порівняльних оцінок досліджувалися класичний предиктор Сміта з експоненціальним згладжуванням, формувач трафіку без прогнозування та формувач з прогнозом на два кроки. Доведено зростання швидкості поновлень інформації про параметри завантаження та скорочення часу реакції маркерного відра. Міркування перевірені шляхом розрахунків та комп'ютерного моделювання.

Загальна характеристика роботи

Перед тим, як давати загальну оцінку дисертаційній роботі, зупинимося на деяких недоліках.

1. Твердження автора, що значна частина проблем функціонування мережі криється не у вичерпанні ліміту пропускнуої спроможності, а в проблемах взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів, є слушним та нагальним. Хотілося б мати більш докладні міркування з цього приводу, зокрема, стосовно безпроводових телекомунікаційних мереж.

2. Великий інтерес викликає застосування концепції показників ефективності для вирішення задач поточного управління мережами зі змінними параметрами та структурою. Однак застосування методів прогнозу параметрів та стану мережі на основі множинної поліноміальної регресії за умов суттєвої нестационарності мережної структури має певні обмеження. Можливо, за даних умов було б доцільно застосувати моделі та методи покрокової регресії.

3. Як відомо, управління запитами до вузлів безпроводової мережі на основі методу впорядкованого опитування може бути асимптотично стійким лише за наступних умов. По-перше, має виконуватися умова стаціонарності та ергодичності процесів упорядкованого опитування. По-друге, затримки сигнальної та управляючої інформації мають бути хоча б одного порядку величини. В іншому випадку є ризик входження системи у режим незатухаючих псевдогармонічних коливань або навпаки, система взагалі може втратити керованість.

4. При обробці та передаванні різнорідного трафіку виникає ефект самоподібності (фрактальності) про що йдеться мова у роботі. Відомо, що самоподібний трафік характеризується статистичними розподілами з так званими "важкими хвостами" гамма- чи бета-розподілами, логарифмічно-нормальним, нарешті, розподілом Парето тощо. У дослідженнях автора в якості статистичної моделі потоку різнорідного трафіку обрано саме розподіл Парето. Чому в роботі не досліджено інші можливі розподіли, у дисертації не пояснюється.

5. У дисертації та авторефераті зустрічаються (у незначній кількості) описки, помилки, тавтології та плеоназми.

Треба відмітити, що наведені зауваження та недоліки не є принциповими і не впливають на кінцеві результати дисертаційної роботи. Більшість з них обумовлена складністю задачі, що розглядається, необхідністю розробки нових підходів та проведення великого обсягу міждисциплінарних досліджень для розгляду широкого кола питань, не всі з яких досить тісно пов'язані одне з одним.

Дисертація представляє собою одноособово написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить нові наукові результати, має внутрішню єдність та логіку, свідчить про особистий внесок автора у науку. Автор роботи глибоко вник в суть задачі, що вирішується, виявив добру обізнаність з предметом дослідження, коректно та за потрібним призначенням застосував

математичний апарат. Одержані наукові результати, особливо результати розробки моделей цифрових систем зі зворотним зв'язком та наведені приклади практичних розрахунків, лишають дуже хороше враження від дисертаційної роботи.

Висновки

За результатами розглядання дисертаційної роботи можна зробити такі висновки.

1. Дисертаційна робота в цілому є самостійно виконаним завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона містить нове рішення задачі управління ефективністю телекомунікаційних мереж шляхом поетапного контролю елементів мережного обладнання, поточного оцінювання та урахування статистичних характеристик випадкових відхилень параметрів обладнання, оптимального резервування критичних вузлів тощо.

2. Дисертація відповідає спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. Основні наукові положення дисертації досить повно та об'єктивно викладені в авторефераті та публікаціях.

За своїм змістом та науковим рівнем дисертаційна робота задовольняє вимогам до кандидатських дисертацій а також п.п. 9 та 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор – Якимчук Наталія Миколаївна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Вважаю, що отримані результати можуть використовуватися в проектуванні та удосконаленні локальних та регіональних телекомунікаційних мереж, у тому числі мереж з гетерогенною структурою, а також при підготовці фахівців для відповідних галузей.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації

Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

д. т. н., професор

Сергій ТОЛЮПА

