

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора

Сайко Володимира Григоровича

на дисертаційну роботу

Касіма Наміра Хашіма Касіма на тему:

“Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

Актуальність теми. Характеристики трафіку, протоколи його обслуговування в мережах зв'язку, методи вибору структури завжди були найважливішими об'єктами дослідження для будь-яких мереж зв'язку. В останні роки досягнуто значного прогресу в області досліджень мереж Інтернету речей, опубліковано відносно велику кількість робіт на цю тему. Одним з основних напрямків їх розвитку в даний час є реалізація концепції побудови Інтернету речей (IoT). Розвиток IoT включає в себе розробку як технологій отримання інформації, так і методів організації каналів зв'язку і мереж для передачі даних між елементами цих мереж. Особливості мереж IoT багато в чому визначаються особливостями прикладних завдань і сферою їх застосування. Ці особливості полягають як в способах отримання інформації та формування повідомлень для їх передачі, так і в способі побудови самих мереж IoT. Останні можуть бути побудовані як мережі збору інформації (моніторингу) і як мережі розподілу інформації. Ці особливості відображаються у властивостях трафіку IoT, які необхідно враховувати при організації його обслуговування. Однією з характерних особливостей мереж IoT є висока щільність пристроїв (мережевих вузлів), яка може бути у багато разів вище щільності абонентів в сучасних мобільних мережах. Ця особливість неодноразово описувалася в роботах по побудові мереж IoT, проте слід зазначити, що розподіл щільності абонентів мобільних мереж зв'язку по планеті, континентах і навіть країнах вкрай нерівномірно. Практично в будь-якій країні світу є регіони з високою і низькою щільністю абонентів мобільних мереж зв'язку. Розумно припустити, що і щільність мереж IoT може мати різну щільність в різних регіонах і територіях, а також в різних умовах експлуатації. Перераховані вище особливості трафіку, а також структурні характеристики мереж IoT вимагають розробки моделей і методів,

що дозволяють максимально реалізувати функціонал IoT в різних умовах, а також забезпечити його співіснування з існуючими і майбутніми гетерогенними мережами зв'язку. Тема роботи актуальна, так як спрямована на вирішення саме цих завдань.

Метою дисертаційної роботи є забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G шляхом розробки та вдосконалення методів та моделей маршрутизації та управління організацією доставки повідомлень в мережах Інтернету речей.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

Предметом дослідження є моделі та методи адаптивного управління якістю обслуговування в мережі Інтернету речей.

Наукова новизна та практична цінність отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Наукова новизна результатів. У дисертаційній роботі вирішується актуальна науково-прикладна проблема забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту LTE/5G шляхом розробки та вдосконалення методів та моделей маршрутизації та управління організацією доставки повідомлень в мережах Інтернету речей.

В ході вирішення поставленої наукової проблеми та розв'язання сформульованих задач дослідження були отримані такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблена концепція мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей, яка враховує особливості пристроїв IoT щодо автономного зв'язку між великою кількістю розумних пристроїв, які одночасно надсилають невеликі пакети даних та використовуючи широкий спектр програм, що вимагає інфраструктури, різної з точки зору розміру пакетів, щільності трафіку та якості обслуговування. Наукова новизна концепції полягає в тому, що вона визначає структуру та властивості елементів мережі 5G, а також враховує вхідні, вихідні параметри, зовнішні фактори та керуючий вплив.

2. Вперше надано методику адаптації параметрів мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей, яка передбачає розрахунок скінченної множини альтернативних

варіантів структури мережі, що дозволяє особі, яка приймає рішення, приймати альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G.

3. Вперше запропоновано концептуальну модель Інтернету речей з адаптивним управлінням якістю, яка відрізняється від існуючих тим, що вона ґрунтується на теорії масового обслуговування та дозволяє врахувати характеристики по кожному з дев'яти класів запитів по пріоритетах, що дозволяє визначити усереднені для всіх класів запитів показники якості функціонування мережі 5G.

4. Вдосконалена модель взаємодії БПЛА з вузлами БСС, яка відрізняється від відомих тим, що може бути описана як система масового обслуговування, характеристики якої залежать від розподілу вузлів по території, часу взаємодії з вузлами мережі, радіуса обслуговування і швидкості руху БПЛА.

5. Розроблена методика роботи координатору польоту ЛСМ щодо зміни маршрутизатора, яка відрізняється від відомих тим, що за рахунок знання інтенсивності енергетичних втрат БПЛА на політ і радіоз'в'язок можливо заздалегідь розрахувати необхідну кількість маршрутизаторів на весь маршрут польоту. Наукова новизна методики полягає в тому, маршрут в цілому являє собою багатофазну систему масового обслуговування, утворену послідовністю моделей ретрансляційних вузлів.

6. Вдосконалена модель для рою безпілотних літальних апаратів, що відрізняється від відомих тим, що рой БПЛА представлений у вигляді мережі черги, а основною характеристикою моделі є середня тривалість передачі інформації між елементами рою.

7. Удосконалено метод побудови білінгової системи, який полягає в введенні поняття «одиниця обміну інформації», де одиницею може бути як блок інформації визначеного розміру (одна транзакція), так і кількість таких блоків, що дозволяє використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком. Новизною алгоритму є, по перше, врахування особливостей пристроїв Інтернету речей як користувачів, по-друге, уточнена взаємодія самої білінгової системи щодо IoT та комутатором мобільної мережі, за

допомогою якого спроможне обслуговувати пристрої IoT, які підключені до мобільної мережі 5G.

8. Вперше розроблена методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G шляхом розробки науково-методологічного апарату для управління організацією функціонування Інтернету речей в мережі 5G.

Вищенаведені наукові результати дають можливість вирішити проблему забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

Практична цінність отриманих результатів. Теоретичне значення полягає в тому, що в роботі розширюється спектр моделей і методів опису впливу IoT-пристроїв на якість обслуговування і властивості трафіку мережі стандарту 5G, а також методів організації доставки повідомлень в мережах Інтернет речей.

При цьому отримані результати дозволяють:

- особі, яка приймає рішення, приймати найкращі альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G;
- визначати стаціонарний розподіл ймовірностей станів системи, яка складається з пристроїв IoT та комутатору мережі стандарту 5G;
- розраховувати параметри якості обслуговування запитів в мережі Інтернету речей;
- заздалегідь розрахувати необхідну кількість маршрутизаторів для кластеру безпілотних літальних апаратів на вісь маршрут польоту
- визначити усереднені для всіх класів запитів показники ефективності функціонування мережі 5G;
- використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком:
- проаналізувати та визначити серед показників якості обслуговування мережі стандарту 5G найбільш інформативний параметр;
- адаптивно змінювати пріоритети обслуговування пакетів даних Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

Методи досліджень, які використані в дисертаційній роботі. Для вирішення завдань, поставлених в дисертації, використовувалися методи теорії ймовірностей, математичної статистики, квантової регресії, теорії графів, теорії

масового обслуговування та нейро-нечітких множин, імітаційного моделювання та інтелектуального керування.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Автор добре розуміє специфіку науково-прикладної проблеми, що розглядається у дисертації та точно формулює її постанову.

Здобувачем зроблений змістовний опис та проведений ретельний аналіз сучасного стану й основних тенденцій зміни навантаження на оператора сервісів що дозволило їй сформулювати актуальну науково-технічну проблему і часткові завдання дослідження та коректно визначити умови їх вирішення при проведенні дослідження.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату, який є адекватним моделі функціонування мультисервісної мережі при наданні послуг користувачам, що розглядається.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всіх п'яти розділах та загальних висновках зроблено науково обґрунтовано і логічно по результатам аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також по результатам математичного моделювання на ЕОМ.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний у роботі напрямок досліджень тісно пов'язаний з виконанням низки науково-дослідних робіт у реалізації яких брав участь автор.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 013 від 4.04.2022 р.), ТОВ "Світ-ІТ", (акт впровадження № 1211-19 від 11.10.2022 р.), у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження

від 22.12.2022 р. № 17), ТОВ «ТЕХНОПАРК А+», (акт впровадження від 28 лютого 2023р.).

Матеріали дисертації використані в НДДКР «Ідентифікація переходу до закритичного режиму роботи робототехнічної системи», державний реєстраційний номер: 0123U103047, дата реєстрації: 29-06-2023 та в НДДКР «Методи і моделі забезпечення безпеки та діагностики критичних параметрів у складних системах з використанням IoT», державний реєстраційний номер: 0123U103640, дата реєстрації: 05-09-2023.

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам-провайдерам, що надають телекомунікаційні послуги.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, аналізується стан досліджень у предметній галузі дисертації, формуються мета та завдання дослідження, наводиться наукова новизна основних результатів роботи та положення, що виносяться на захист, а також відомості про достовірність та апробацію результатів роботи, особисту участь автора та відповідність паспорт спеціальності.

У першому розділі дисертаційної роботи автор вдалим чином висвітлив актуальні питання розвитку систем Internet of Things (IoT) та їхнього впливу на мережі зв'язку, зосередившись на можливостях та викликах, пов'язаних з інтеграцією цих технологій. Аналізуючи потенціал мереж 5G, автор розкриває значення цих технологій для майбутнього розвитку IoT.

Особливо цікавими є вказівки на використання різноманітних технологій, таких як HetNet, D2D, MIMO, SDN та mmWave, для подолання проблем, пов'язаних із розвитком IoT. Зокрема, розгляд впливу програмно-конфігурованих мереж (SDN) на забезпечення якості обслуговування вражає своєю актуальністю та потенційними перевагами для майбутнього розвитку мереж зв'язку.

Додатково, автор вдало ілюструє свої твердження різноманітними графічними зображеннями, що допомагають краще зрозуміти обговорювані концепції та технології. Наприклад, рисунок 3 яскраво демонструє модель системи мобільного зв'язку 5G, що значно підсилює усвідомлення читача про складність і важливість цих технологій.

Другий розділ звертає увагу на складність гарантування якості обслуговування в мережах мобільного зв'язку через вихід пакетних даних за межі ядра мережі 5G, що може призвести до недостатньої надійності та стабільності мережі. Пропонується концептуальна модель взаємодії мережі 5G з мережею IoT, яка враховує транспортну мережу стандарту 5G та потоки даних IoT, щоб забезпечити ефективну комунікацію та обробку інформації.

Автор також обговорює можливості забезпечення якості обслуговування в мережі 5G з мережею IoT шляхом адаптивного управління та алгоритмів адаптації параметрів мережі. Цей підхід передбачає пошук оптимальних параметрів якості обслуговування та структури мережі з урахуванням вимог різноманітних додатків та пристроїв IoT.

Зокрема, автор пропонує побудувати систему масового обслуговування (СМО) в мережі IoT з використанням пуасонівського потоку запитів та черги типу FIFO для кращого керування трафіком та забезпеченням якості обслуговування. Детально розглядаються параметри якості обслуговування та їх взаємозв'язок з мережами 5G та IoT, пропонується алгоритм адаптації параметрів мережі 5G з мережею IoT, який дозволяє знаходити оптимальні рішення з урахуванням вимог до якості обслуговування. Цей підхід може стати важливим кроком у покращенні ефективності та надійності мереж зв'язку у майбутньому

У третьому розділі було розроблено ряд важливих компонентів і методик:

1. Вдосконалена модель безпілотного літального апарату, яка відрізняється від відомих тим, що БПЛА представлений у вигляді системи масового обслуговування, яка враховує параметри швидкості руху БПЛА, висоту його польоту і щільність наземної сенсорної мережі.

2. Визначено, що час доставки даних сенсорних вузлів наземного сегмента при використанні БПЛА як засобу доставки залежить від швидкості його руху, часу взаємодії з вузлом мережі і щільності вузлів в зоні обслуговування.

3. Вдосконалена модель взаємодії БПЛА з вузлами БСС, яка відрізняється від відомих тим, що може бути описана як система масового обслуговування, характеристики якої залежать від розподілу вузлів по території, часу взаємодії з вузлами мережі, радіуса обслуговування і швидкості руху БПЛА.

4. Вдосконалена модель для рою безпілотних літальних апаратів, що відрізняється від відомих тим, що рій БПЛА представлений у вигляді мережі черги, а основною характеристикою моделі є середня тривалість передачі інформації між елементами рою.

5. Розроблений алгоритм роботи координатору польоту ЛСМ щодо зміни маршрутизатора, який відрізняється від відомих тим, що враховує необхідність своєчасної заміни маршрутизатора для забезпечення збереження отриманих даних та для продовження польоту за маршрутом.

6. Розроблена математична модель розрахунку необхідної кількості маршрутизаторів в літаковій сенсорній мережі, яка відрізняється від відомих тим, що за рахунок знання інтенсивності енергетичних втрат БПЛА на польоті і радіозв'язок можливо заздалегідь розрахувати необхідну кількість маршрутизаторів на вісь маршрут польоту.

Четвертий розділ присвячено пропозиціям встановлення для кожної зони пріоритетності буферного ресурсу свій допустимий лічильник часу затримки пакетів, який на основі аналізу рівнів затримок буде маркуватиме пакети за допомогою бітів у полі DSCP заголовку IP-пакетів та обслуговуватиме їх з підвищеною пріоритетністю. Розглянутий філософський рівень методології надання якісних сервісів IoT в мережі 5G, в основі якого лежить діалектичний принцип, який дозволяє розвинути адаптацію структури мережі IoT під вимоги мережі 5G шляхом адаптації параметрів якості обслуговування мережі 5G під вимоги мережі IoT. Розглянуті загальнонаукові принципи і підходи щодо надання якісних сервісів IoT в мережі 5G. Розглянута конкретна наукова методологія в галузі інформаційних наук, а саме застосування алгоритму пріоритетного обслуговування, що дозволяє

проводити узгоджене управління ресурсами та трафіком на рівні базової станції, ядра мережі та зовнішніх IP-орієнтованих мереж. Вперше розроблений алгоритм пріоритетного обслуговування пакетів агрегованого потоку в мережі 5G, в якому шляхом динамічної модифікації поля DSCP в заголовках пакету для IP-пакетів.

У п'ятому розділі удосконалений типовий алгоритм білінгової системи, який полягає у введенні поняття «одиниця обміну інформації», де одиницею може бути як блок інформації визначеного розміру (одна транзакція), так і кількість таких блоків, що дозволяє використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком.

У шостому розділі було проведено аналіз тенденцій розвитку інфокомунікаційних систем показує, що частка IoT-трафіку в перспективних мережах зв'язку значно зростає, що призведе до його впливу на якість обслуговування. Цей вплив може мати істотний вплив на якість його обслуговування. Запропонована модель обслуговування мультисервісного трафіку. В якості прикладу при моделюванні була розглянута мережа ZigBee.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації в 32 наукових працях, у тому числі:

- 2 монографій, одна з яких видана в країні Євросоюзу;
- 7 статей у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (в т.ч. 3 включені до міжнародних наукометричних баз SCOPUS);
- 16 статей у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію (в т.ч. 10, що включені до міжнародних наукометричних баз SCOPUS та/або Web of Science Core Collection, 1 з яких у виданнях, віднесених до першого та 5 - до третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports;
- 7 тез та доповідей на наукових конференціях.

Відповідність дисертації встановленим вимогам ДАК України.

Дисертаційна робота Касіма Наміра Хашіма Касіма, що виконана на тему: “Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”, за оформленням відповідає вимогам ДАК України, що пред’являються до дисертаційних робіт. Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно, логічно.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації. Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертаційної роботи та відображає основні положення, що виносяться на захист.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Дисертаційна робота Касіма Наміра Хашіма Касіма, що виконана на тему: “Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”, за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Автором в роботі не розписані принцип роботи технологій HetNet, D2D, MIMO, SDN. стор.31
2. В роботі наведено застарілі прогнози рис. 1.10, 1.11 та ін. стор. 63-64.
3. В роботі доцільно було б навести приклад, як запропонована концептуальна модель взаємодії мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей може бути застосована для розробки математичної моделі забезпечення якості обслуговування в IoT в мережі мобільного зв’язку, стор. 101.
4. В роботі доцільно було б пояснити чи може архітектура мережі передачі даних на великі відстані використовуватися і на короткі дистанції, 149.
5. В роботі не зазначено причину розташування обслуговування IP-пакета пристрою IoT в зазначеному порядку, рис. 4.2., стор. 170
6. Інформація про впровадження результатів дисертаційної роботи вказана в загальному, не наведено номер акту впровадження з університету Іраку.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, так як робота має завершеність, положення, висновки і рекомендації науково обґрунтовані.

Висновки

1. Дисертаційна робота Касіма Наміра Хашіма Касіма, що виконана на тему: “Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”, за змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові наукові результати, важливі на сучасному стані для подальшого розвитку телекомунікаційних мереж цілком відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікацій системи та мережі.

2. Автор дисертації є кваліфікованим фахівцем, глибоко вник в суть проблеми, добре володіє сучасними методами досліджень та вміло використовує їх для вирішення комплексу поставлених науково-технічних задач.

3. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертації.

4. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів № 567 від 24 липня 2013 року (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015 року № 1159 від 30.12.2015 року та № 567 від 27.07.2016 року) та «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року, а її автор – Касім Намір Хашім Касім заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри телекомунікаційних
систем та мереж

Військового інституту телекомунікацій
та інформатизації імені Героїв Крут

Володимир САЙКО

Підпис професора Сайка В.Г. засвідчую

v/n  Вовкогон

