

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І  
АРХІТЕКТУРИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**КАСІМ НАМІР ХАШІМ КАСІМ**

УДК 004.738.5:621.396.6

**МЕТОДОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ІОТ  
В МЕРЕЖІ 5G**

Спеціальність 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2024

Робота виконана у Київському національному університеті будівництва і архітектури.

Офіційні  
опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**ЖУРАКОВСЬКИЙ Богдан Юрійович**,  
Національний технічний університет “Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”,  
Міністерство освіти і науки України,  
професор кафедри інформаційних систем та технологій

доктор технічних наук, професор  
**САЙКО Володимир Григорович**,  
професор кафедри телекомунікаційних систем та мереж  
Військового інституту телекомунікацій та  
інформатизації імені Героїв Крут

**СТРИХАЛЮК Богдан Михайлович**,  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
Міністерство освіти і науки України,  
директор Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки  
та електронної техніки

Захист дисертації відбудеться “14” березня 2024 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03680, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у Національному авіаційному університеті за адресою: 03680, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий “08” лютого 2024 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради 26.002.14

Кандидат технічних наук

Денис БАХТІЯРОВ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасні мережі зв'язку, що поєднують в собі засоби доставки і обробки інформації, стали невід'ємною частиною сучасного життя інформаційного суспільства. 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.

**Ступінь розвитку 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. Серед робіт вітчизняних і зарубіжних авторів відзначимо праці К. Я. Бортника, О. А. Баранова, С. М. Брайчевського, А. П. Гненного, Ю. Є. Грудзинського, А. М. Давидюк, Н. О. Іванченка, Е. О. Ким, О. В. Мнушка, Р. Д. Сердюкова, О. С. Єременко, Ю. І. Хлапоніна, Р. С. Одарченка, І. М. Срібна, М. І. Бешлей, І. М. Журавської, О. О. Манько, К. Ванга, Т. Чжана, Г. Мессьє, І. Г. Фінверса і багатьох інших. Їх робота дозволила оцінити можливості мереж зв'язку для передачі трафіку, знайти нові підходи до побудови архітектури бездротових мереж Інтернету речей та до вирішення завдань забезпечення якості обслуговування. Однак слід зазначити, що спектр завдань при побудові мереж IoT надзвичайно широкий. Це визначається широким спектром застосування таких мереж, а також існує велика необхідність в розробці відповідних моделей і методів вирішення цих завдань або виступати в якості альтернативних рішень. Незважаючи на

результати, досягнуті в напрямку розробки моделей і методів побудови мереж IoT, наукова робота ведеться безперервно, про що свідчить велика кількість публікацій. У дисертації розробляються моделі трафіку IoT, аналізується його вплив на якість функціонування мереж зв'язку, а також розробляються методи обслуговування трафіку і вибору структури мереж IoT.

**Об'єкт та предмет дослідження.** Об'єктом дослідження є процес забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G, а предметом дослідження є моделі та методи адаптивного управління якістю обслуговування в мережі Інтернету речей.

**Мета роботи і завдання дослідження.** 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. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі послідовно вирішуються наступні завдання:

- аналіз тенденцій розвитку Інтернету речей;
- аналіз технологій побудови мереж Інтернету речей;
- оцінка проблем управління якістю обслуговування Інтернету речей в мобільних мережах п'ятого покоління;
- розробка концептуальної моделі мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей;
- розробка математичної моделі взаємодії мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей;
- розробка математичної моделі забезпечення якості обслуговування в мережі Інтернету речей;
- оцінка показників якості обслуговування для мережі IoT;
- оцінка показників якості обслуговування для мережі 5G;
- розробка математичної моделі обслуговування агрегованого трафіку;
- розробка алгоритму білінгової системи мережі 5G з наданням сервісів IoT;
- оцінка тарифікації послуг в мережі 5G з наданням сервісів IoT;
- розробка методу маршрутизації трафіку в мережі Інтернету речей;
- розробка методу вибору місць розташування шлюзів в мережі Інтернет речей;
- розробка методу організації мережі Інтернету речей як мережі, толерантної до затримок.

**Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.**

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 методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G.
2. Вперше розроблена концептуальна модель 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.

3. Вперше надано алгоритм адаптації параметрів мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей, який передбачає розрахунок скінченної множини альтернативних варіантів структури мережі, що дозволяє особі, яка приймає рішення, приймати найкращі альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G.

4. Вдосконалена математична модель обслуговування агрегованого трафіку в мережі 5G, яка враховує характеристики по кожному з дев'яти класів запитів по пріоритетах, що дозволяє визначити усереднені для всіх класів запитів показники ефективності функціонування мережі 5G.

5. 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.

6. Вдосконалена модель для кластеру 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.

7. Розроблений алгоритм роботи координатора 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.

8. 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 політ і радіоз'в'язок можливо заздалегідь розрахувати необхідну кількість маршрутизаторів на весь маршрут польоту.

9. Удосконалено типовий алгоритм білінгової системи, якій 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.

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

**Теоретичне і практичне значення дослідження.** 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;
- адаптивне змінювати пріоритети обслуговування пакетів даних Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

**Методологія і методи дослідження.** 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.

**Основні положення захисту:**

1. Концептуальна модель мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей.
2. Математична модель взаємодії мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей.
3. Математична модель забезпечення якості обслуговування в мережі Інтернету речей.
4. Модель взаємодії безпілотних літальних апаратів з вузлами безпроводної сенсорної мережі.
5. Алгоритм роботи координатору польоту кластеру безпілотних літальних апаратів щодо зміни його маршрутизатора.
6. Алгоритм білінгової системи мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей.
7. Методологія забезпечення надання якісних сервісів інтернету речей в мережі стандарту 5G.

Достовірність отриманих автором науково-практичних результатів визначається обґрунтованим вибором об'єкта дослідження, вихідними даними при постановці конкретних завдань дослідження, прийнятими припущеннями і обмеженнями, а також відповідністю результатів аналітичного і імітаційного моделювання, проведеного особисто автором, узгодженістю з даними, отриманими іншими авторами і перевіркою результатів досліджень на міжнародних науково-технічних конференціях.

**Ступінь достовірності та апробації отриманих результатів.** Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується правильним використанням математичного апарату і результатів імітаційного моделювання. Основні теоретичні та практичні результати роботи, в тому числі розроблені імітаційні моделі, були використані в навчальному процесі кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії КНУБА при читанні лекцій та проведенні практичних занять і лабораторних робіт.

**Апробація результатів дослідження.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися 7 наукових і науково-технічних конференціях і семінарах, а саме: 6-а Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрями захисту інформації», 2-6 вересня 2020 р. (м. Одеса, Україна); IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем» (PCSITS) 15-16 квітня 2021 року (м. Київ, Україна); I науково-технічна конференція "Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку", 25-26 листопада 2021р., (м. Київ, Україна); The I Workshop on Emerging Technology Trends on the Smart Industry and the Internet of Things «TTSIT», January 19-20th, 2022 (online) (м. Київ, Україна, м. Багдад, Ірак, м. Бельсько-Бяла, Польща); V Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем» (PCSITS), Київ, 27–28 жовтня 2022; The II Workshop on Emerging Technology Trends on the Smart Industry and the Internet of Things «TTSIT», January 24-25th, 2023 (online). (м. Київ, Україна, м. Багдад, Ірак, м. Бельсько-Бяла, Польща).

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.), ТОВ «ТЕХНОПАРК А+», (акт впровадження від 28 лютого 2023р.), у навчальному процесі: - у Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 22.12.2022 р. № 17); у Аль-Рафідаїн Університеті (Багдад, Ірак).

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.

Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження.

**Публікації.** Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано 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.

**Структура і зміст роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шістьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків і має 286 сторінок основного тексту, 157 рисунків, 18 таблиць, 37 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 273 найменування і займає 34 сторінки. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 317 сторінок.

**Особистий внесок автора.** Результати теоретичних і експериментальних досліджень були отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувач відіграє головну роль в постановці і вирішенні завдань, а також узагальненні отриманих результатів.

**Відповідність спеціальності.** Дисертаційна робота відповідає пунктам 1, 4, 6, 14 та 18 паспорта спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ.** У вступі обґрунтовується 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 основна увага приділяється аналізу систем IoT та питанням єдиного методологічного підходу до проектування мереж IoT.

IoT - це концепція найближчого майбутнього, яка формує наше життя. 5G - це одна з передових технологій для систем стільникового зв'язку. Зміни, які несуть бездротові мережі 5G, – це перспективне спрямування у порівнянні з наявними стільниковими мережами. 5G технології задовольняють основним вимогам і забезпечують зв'язок IoT за такими параметрами як тривале покриття, висока швидкість передачі даних, масштабованість і емісія. У цьому огляді після аналізу систем IoT можна зробити висновки, що проблеми IoT частково вирішуються завдяки технологіям, таким як HetNet, D2D, MIMO, SDN, mmWave. Таким чином, перспективні стільникові мережі 5G можна розглядати як ключовий фактор підтримки технології IoT.



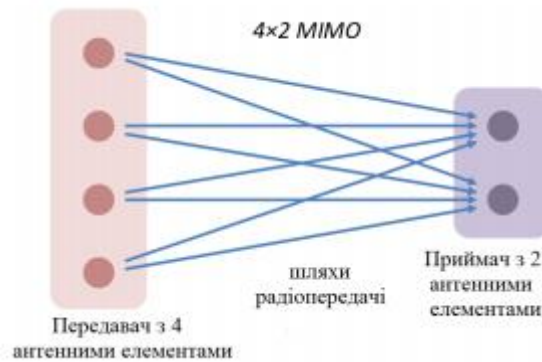


Рисунок 1. Приклад системи зв'язку MIMO

Використання MIMO дозволяє проводити просторову і часову обробку сигналів, ефективніше використовувати випромінювану передавачем потужність і знижувати негативний вплив завад. Використовуючи велику кількість антен на базовій станції, MIMO можуть забезпечити високі енергоефективність і ефективність спектра, для підтримки більшої кількості користувачів одночасно.

Програмно-конфігурована мережа (Software Defined Networking — SDN) — це віртуалізована мережа для передавання даних, в якій шар менеджменту (контролю або управління) мережею (Management Plane) відокремлений від пристроїв передавання даних і реалізується програмним шляхом. У мережах типу SDN вся логіка управління покладається на контролери, здатні відстежувати роботу всієї мережі.

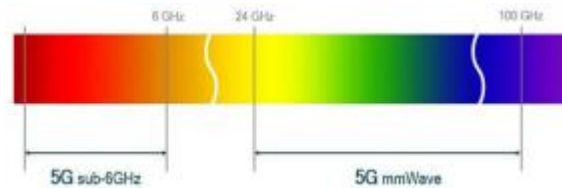


Рисунок 2. Спектр mmWave [111]

Однією з багатообіцяючих технологій, які істотно впливають на підвищення пропускну здатності мобільного зв'язку, є використання міліметрових смуг частот. Смуги частот в мм-діапазоні становлять від 30 до 300 ГГц (рис.2). Крім того, несучі частоти мм-хвиль збільшують швидкості передачі даних, забезпечуючи великий розподіл смуги пропускання. Що стосується додатків IoT, використання мм-хвиль може забезпечити високу швидкість передачі даних для додатків з великою пропускну здатністю.

На теперішній час не існує єдиного методологічного підходу до проектування мереж IoT.

Стандартизація технічних вимог щодо якості послуг у мережах зв'язку здійснюється на глобальному рівні Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU), на міжнародному регіональному рівні — Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI), Асоціацією телекомунікаційної промисловості (TIA), Американським національним інститутом стандартів (ANSI) та ін.

Дослідження забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G доцільно

починати зі створення концептуальних моделей самої мобільної мережі та моделі мережі IoT.

На рис.3 показана модель системи, яка пропонує проектувати мережеву архітектуру для мобільних систем 5G, яка є всією IP-моделлю для сумісності бездротових і мобільних мереж. Система складається з користувальницького терміналу (який відіграє вирішальну роль у новій архітектурі) та ряду незалежних технологій автономного радіодоступу. У межах кожного з терміналів кожна з технологій радіодоступу розглядається як IP-зв'язок із зовнішнім світом Інтернету.

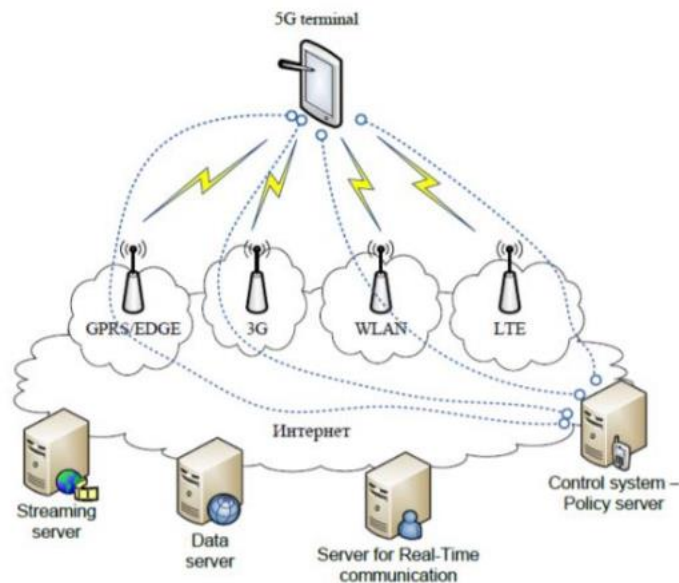


Рисунок 3. Модель системи мобільного зв'язку 5G

Мережу мобільного зв'язку 5-го покоління відповідно до технічних специфікацій 3GPP утворюють дві мережі (рис.4):

- мережу радіодоступу NG-RAN і
- базову мережу 5G Core.

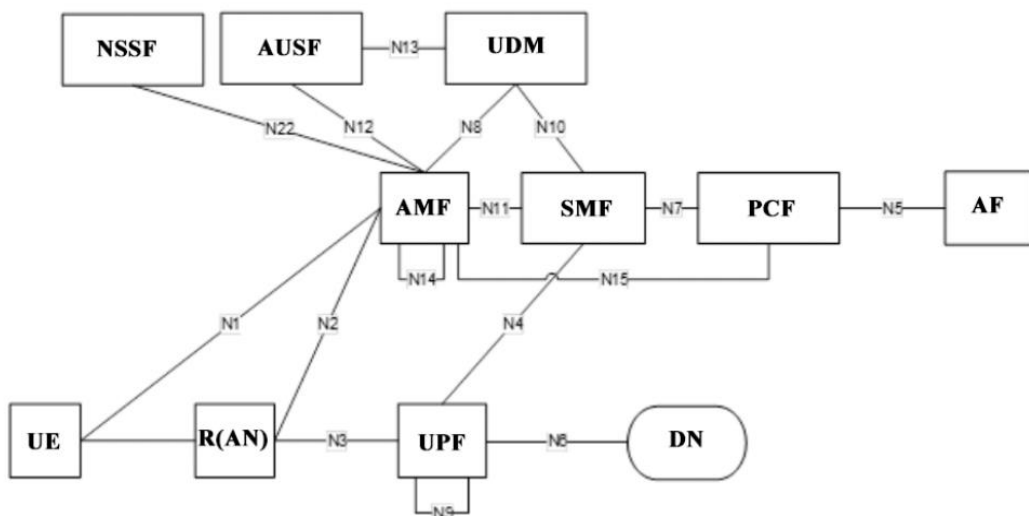


Рисунок 4. Архітектура мережі мобільного зв'язку 5G

Тим часом, основне зростання трафіку і доходів відбувається не в секторі

пристроїв людей, а в секторі пристроїв інтернету речей, який є однією з базових цілей функціоналу 5G (рис.5).

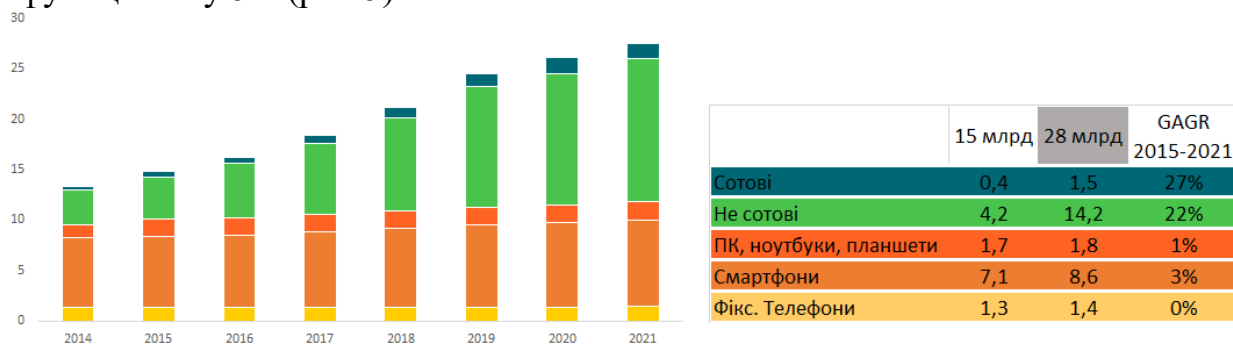


Рисунок 5. Зростання числа підключених до мережі пристроїв

Перевагу в дослідженні функціонування IoT мають імітаційні моделі, оскільки вгадувати зміну різноманітних впливів на роботу систем IoT заздалегідь не можливо. Цей метод потрібно застосовувати для оцінки варіантів структури, ефективності алгоритмів керування, впливу зміни різноманітних параметрів функціонування IoT. Імітаційне моделювання повинне бути закладено в основу структурного, алгоритмічного і параметричного синтезу таких систем, якщо потрібно створити систему IoT з заданими характеристиками при визначених обмеженнях.

Для створення імітаційної моделі мережі IoT необхідна розробка її математичної моделі.

При проектуванні систем IoT потрібно застосовувати блочну побудову. При виконанні цього принципу полегшується розроблення складних систем і з'являється можливість використання накопиченого досвіду і готових блоків з мінімальними зв'язками між ними. Розподіл блоків робиться з врахуванням розподілу розробки по етапах і режимах функціонування системи.

Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі стандарту 5G повинна складати систему методів щодо адаптивного розподілу мережевих ресурсів між пристроями IoT.

**Другий розділ** був присвячений таким питанням:

1. Гарантування якості обслуговування з кінця в кінець є складним завданням для операторів мобільного зв'язку, оскільки вихід пакетних даних за межі рівня 5G ядра мережі (5GC) у рівень зовнішніх IP-орієнтованих мереж, наприклад, у рівень WLAN, не забезпечує жодних гарантій щодо якості обслуговування цієї мережі.

2. Концептуальна модель взаємодії мережі стандарту 5G з мережею IoT складає з вхідного і вихідного кластерів IoT та транспортної мережі (рис.6). В якості транспортної мережі виступає мережа стандарту 5G, яка обробляє звичний для неї потік P2P («peer-to-peer», «person-to-person», від людини до людини, від рівного до рівного), а також і потік пристроїв IoT.

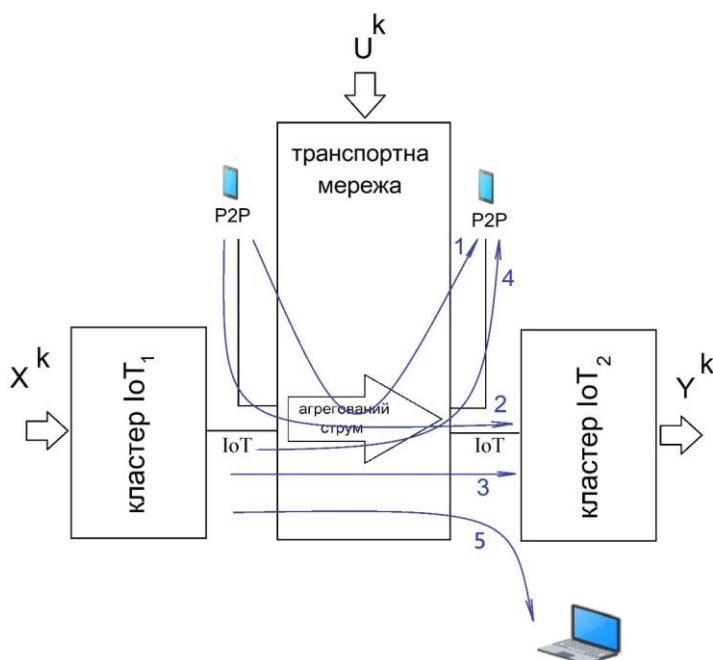


Рисунок 6. Концептуальна модель взаємодії мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей

Під концептуальною моделлю будь-якої ІКС слід розуміти її абстрактну модель, яка визначає структуру та властивості її елементів, а також враховує вхідні, вихідні параметри, зовнішні фактори та керуючий вплив. Така модель в самому загальному вигляді визначається залежністю:

$$Y^k = f(X^k(t), W^k(t), U^k(t), O^k(t))$$

де  $Y^k$  - вихідні параметри системи, яка складається з  $k$  класів елементів;

$X^k$  - вхідні параметри;

$W^k$  - параметри внутрішнього стану;

$U^k$  - параметри керованого впливу;

$O^k$  - параметри зовнішніх факторів.

Всі параметри можуть змінюватися за часом  $t$ .

3. Якість обслуговування в мережі стандарту 5G з мережею IoT можливо забезпечити як адаптивним управлінням шляхом зміни політики обробки інформації в мережі стандарту 5G, так і зміною структури  $G$  самій мережі IoT.

4. Результатом адаптації будуть найкращі (оптимальні у цих умовах) показники якості обслуговування запитів мережі IoT в мережі стандарту 5G. При цьому адаптацію ( $U^k$ ) слід здійснювати на основі застосування принципів декомпозиції (окрема мережа IoT, окрема транспортна мережа), потім - системності (оцінювання якості обслуговування з кінця в кінець) та ітерації.

Функціонал

$$\Phi(G, Y) \xrightarrow[G \in \Omega_G, Y \in \Omega_Y]{extr} G_{opt}, Y_{opt}$$

є узагальненим критерієм (цільовою функцією) адаптації, де  $\Omega_Y$  - кінцева множина допустимих параметрів якості обслуговування IoT в мережі 5G (швидкісні показники, часові показники, показники надійності);  $\Omega_G$  - кінцева множина допустимих структур мережі IoT в мережі 5G;  $Y_{opt}, G_{opt}$  - оптимальні

параметри якості обслуговування та структури мережі IoT в мережі 5G.

5. СМО мережі IoT слід будувати з рівня роутера (комутатора, концентратора, основного контролера). Paketний запит може утворюватися як на вхідних портах, так і на вихідних портах. Мережу IoT можливо представити як СМО з пуасонівським потоком запитів на обслуговування та з дисципліною обслуговування черги типу FIFO.

Для компактного опису така СМО за символікою Кендалла описується як  $M/M/1/\infty$ , де  $M$  – пуасонівський розподіл запитів на обслуговування як на вході комутатора, так і його виході. Схематичне зображення СМО мережі IoT зображене на рис.7.

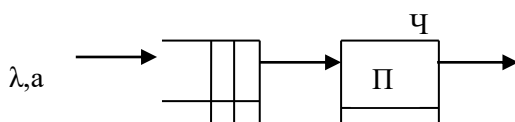


Рисунок 7. Схематичне зображення СМО мережі IoT

- параметри якості обслуговування всередині мережі IoT (QoSIoT) не відповідають параметрам якості обслуговування мережі 5G (QoS5G), тому ці дві множини параметрів не перетинаються (рис.8).



Рисунок 8. Множини припустимих значень параметрів якості обслуговування

Кількісно ступінь чутливості аплікацій до тих чи інших параметрів оцінюється за відповідними показниками якості обслуговування (рис.9).

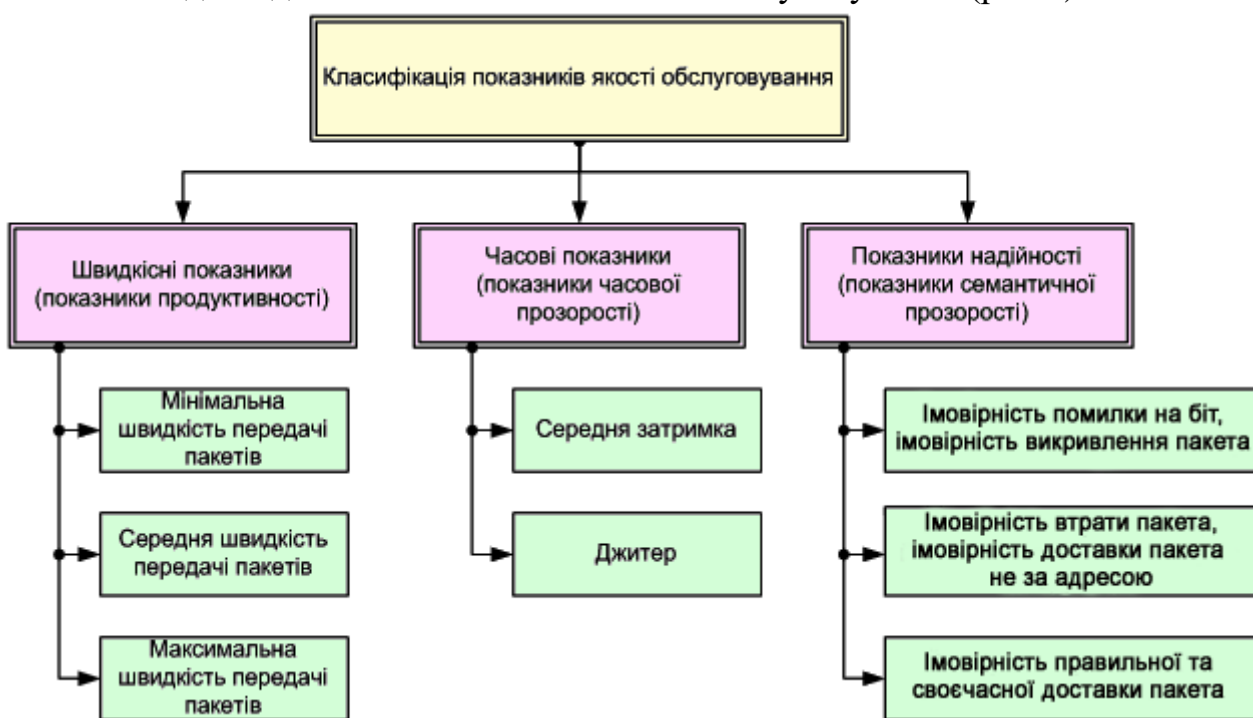


Рисунок 9. Класифікація показників якості обслуговування

Однією з ключових особливостей 5G-мереж є можливість одночасної підтримки додатків з різними вимогами до якості обслуговування. З метою забезпечення відповідності параметрам QoS для кожного з додатків створюються різні передові системи обробки пакетів. Основними з них є два типи з'єднань:

- з'єднання з гарантованою мінімальною швидкістю (GBR);
- з'єднання з негарантованою швидкістю передачі (Non-GBR).

б. Вперше наданий алгоритм адаптації параметрів мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей, який передбачає розрахунок скінченної множини альтернативних варіантів структури мережі, що дозволяє особі, яка приймає рішення, приймати найкращі альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G.

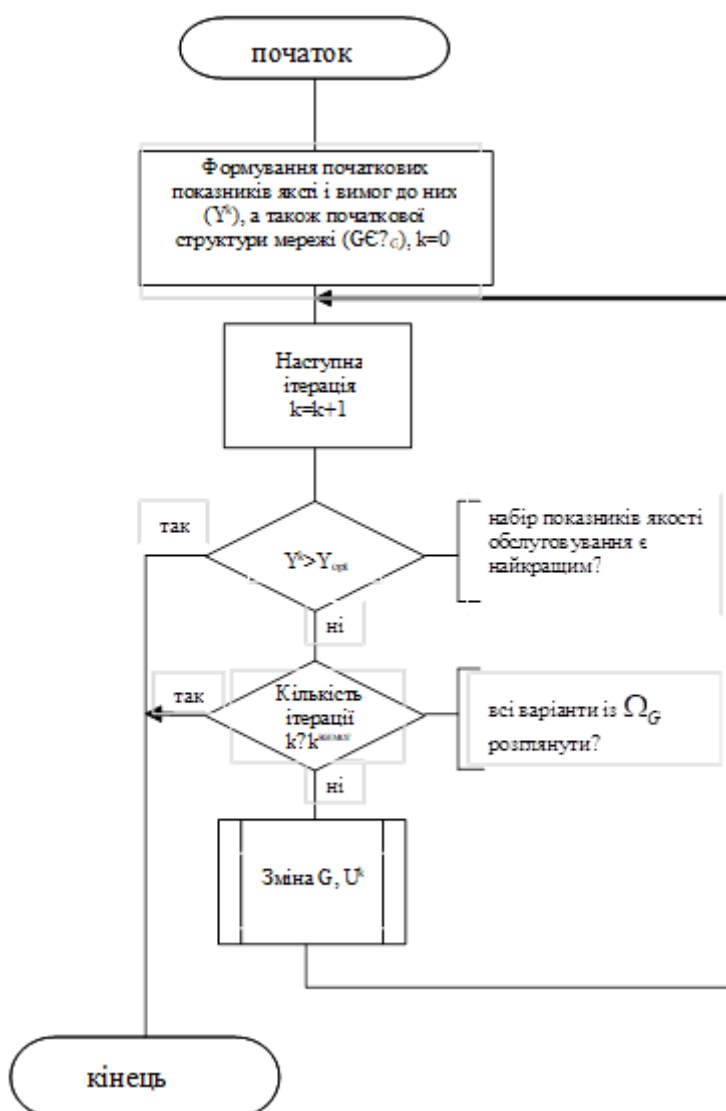


Рисунок 10. Алгоритм адаптації параметрів мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей

Щоб побудувати алгоритм адаптивного управління мережею IoT в мережі 5G потрібно здійснити наступні кроки:

- розробка концептуальної моделі мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей з метою визначення вектору параметрів її стану та місця IoT в цьому векторі;

- розробка концептуальної моделі взаємодії мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей з метою визначення способів та прийомів підключення IoT до мережі 5G, а також можливих інструментів для управління якістю;

- визначитися з топологією мережі системи масового обслуговування в складі мережі IoT та мережі 5G та її матрицею передач мережі;

- визначити математичну модель цієї мережі та систему її показників якості окремо для кластерів IoT, окремо для мережі 5G та системи масового обслуговування в цілому.

7. Вперше розроблена концептуальна модель 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.

8. Вдосконалена математична модель взаємодії мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей, яка розглядає мережу IoT як систему масового обслуговування, що дозволяє визначати стаціонарний розподіл ймовірностей станів системи, яка складається з пристроїв IoT та комутатору мережі стандарту 5G.

9. Вдосконалена математична модель забезпечення якості обслуговування в мережі Інтернету речей, яка враховує послідовність обслуговування запитів IoT в мережі 5G, що дозволяє розраховувати параметри якості обслуговування запитів в мережі Інтернету речей.

10. Вдосконалена математична модель обслуговування агрегованого трафіку в мережі 5G, яка враховує характеристики по кожному з дев'яти класів запитів по пріоритетах, що дозволяє визначити усереднені для всіх класів запитів показники ефективності функціонування мережі 5G.

**Результати дослідження проведені в третьому розділі включають в себе:**

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.

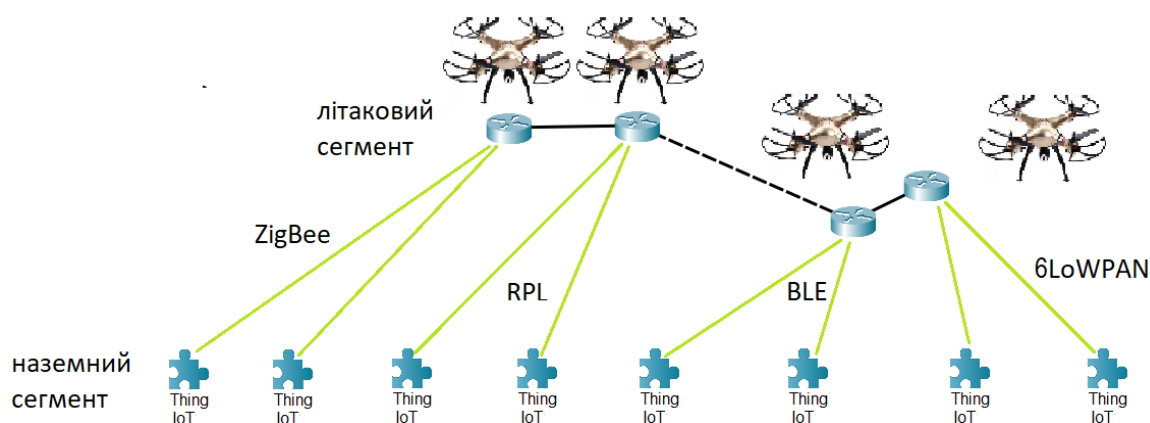


Рисунок 11. Архітурне зображення літаючих сенсорних мереж

Ці вузли збирають інформацію і при необхідності управляють віддаленим об'єктом, працюють в автономному режимі, мають невеликі розміри і можуть тривалий час перебувати в сплячому режимі.

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.

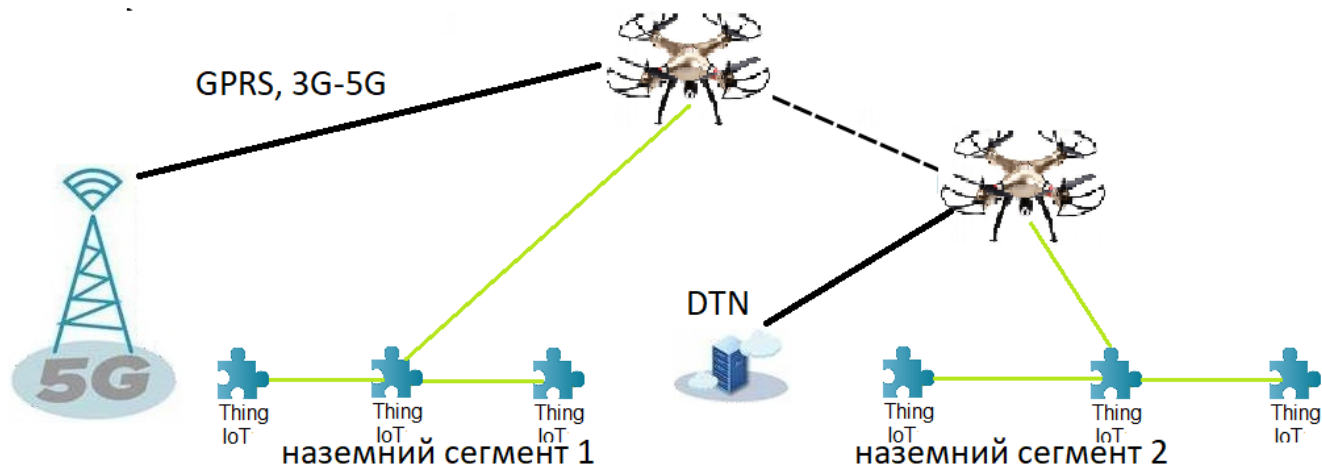


Рисунок 12. Схема передачі інформації в літаючих сенсорних мережах

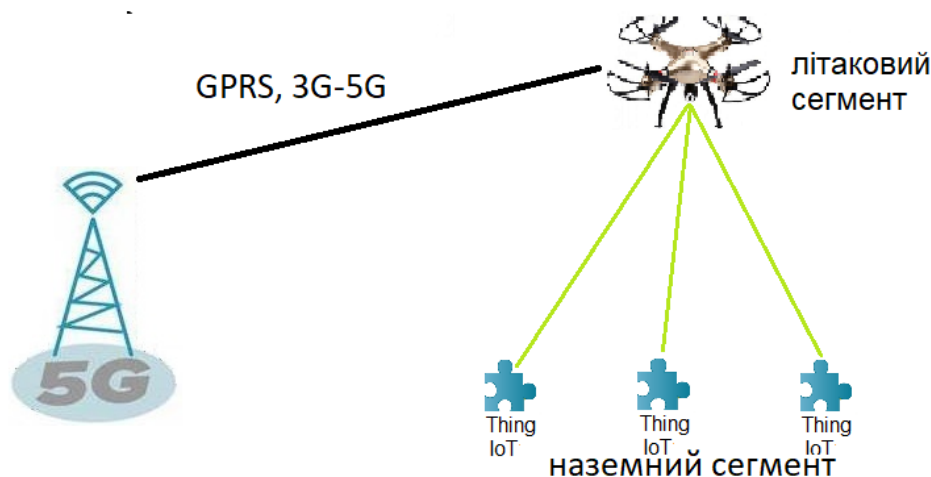


Рисунок 13. Доставка даних з вузлів сенсорної мережі в систему зв'язку загального користування

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 детермінованого потоку запитів за відомими координатами вузлів ЛСМ, оптимізація обслуговування якої може бути досягнута шляхом планування обслуговування вузлів мережі.



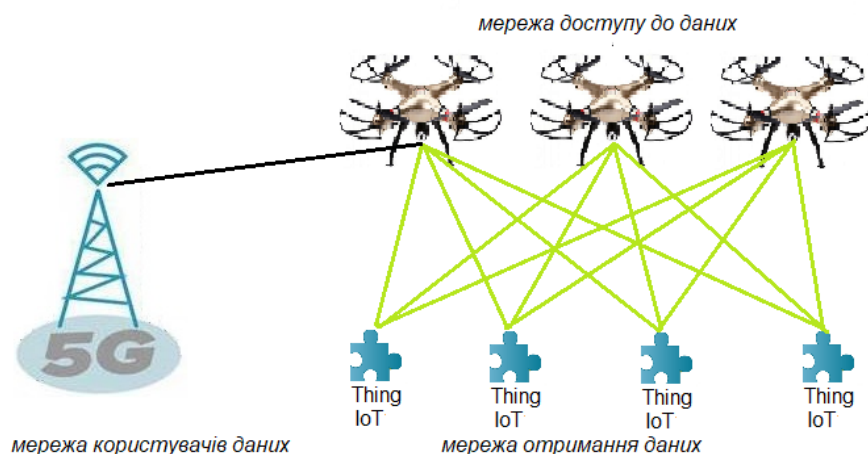


Рисунок 14. Використання рою БПЛА в ЛСМ

Середній час доставки в такій мережі при наявності декілька каналів обслуговування можна оцінити як:

$$T = \sum_{j=1}^M \frac{\lambda_j}{\gamma} \cdot T_j,$$

де  $M$  — кількість каналів в мережі;

$n$  — кількість вузлів мережі;

$T_j$  — затримка на  $j$ -му каналі;

$\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i$  — загальний трафік мережі зв'язку;

$\lambda_j$  — загальний трафік обслуговується в  $j$ -му каналі,

$$T_j = \frac{1}{\mu_j - \lambda_j},$$

$\mu_j$  — інтенсивність обслуговування в  $j$ -му каналі.

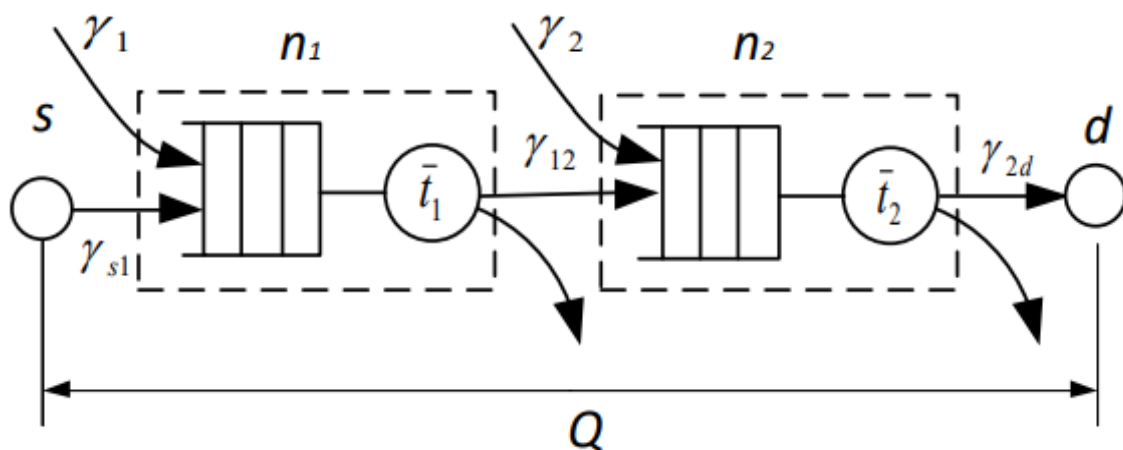


Рисунок 15. Модель маршруту доставки даних між сенсорною мережею та маршрутизатором

5. Вдосконалена сервісна модель обслуговування запитів від вузлів БСС при невідомих координатах їх розташування, яка може бути представлена у вигляді системи черг з виходом заявок з черги (з обмеженим часом очікування).

6. 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.

7. Розроблений алгоритм роботи координатора 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.

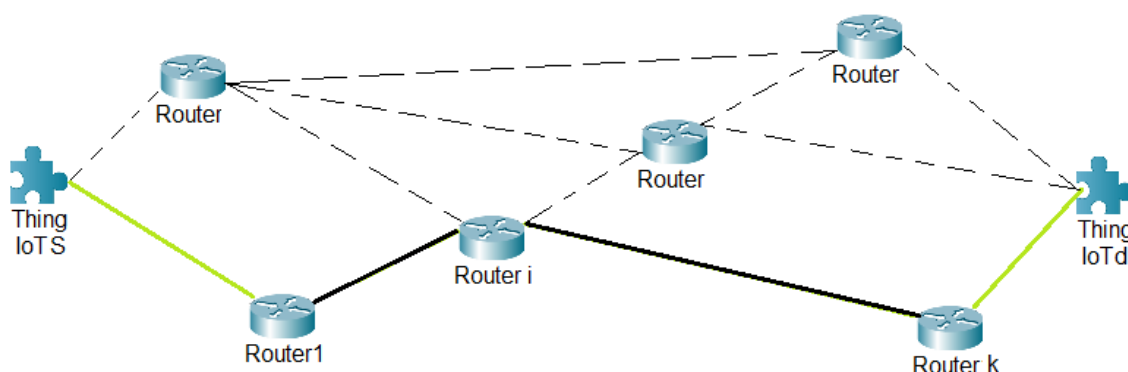


Рисунок 16. Модель маршруту доставки даних

Маршрут в цілому являє собою багатозафазну систему масового обслуговування, утворену послідовністю моделей ретрансляційних вузлів (див.рис.17), де

$W_1..W_k$  - час очікування запиту в черзі на ретрансляційних вузлах 1..k відповідно;

$\bar{t}_1.. \bar{t}_k$  - середній час обслуговування запиту на ретрансляційних вузлах 1..k відповідно;

$p_1..p_k$  - імовірність втрати запиту на ретрансляційних вузлах 1..k відповідно.

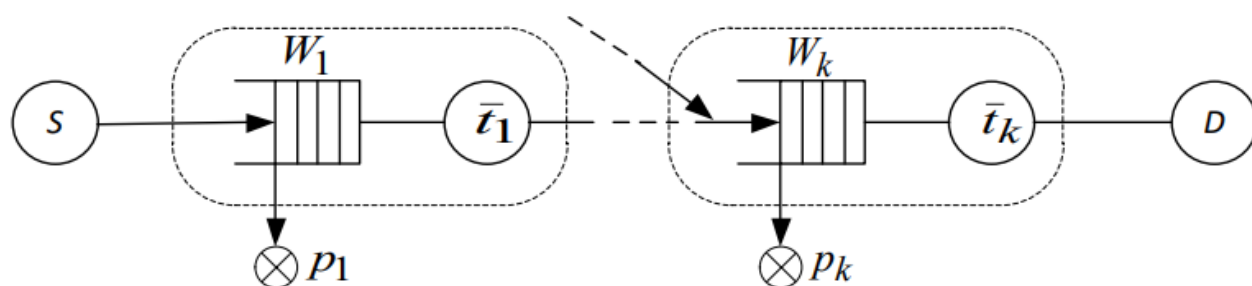


Рисунок 17. Модель маршруту доставки даних

Середній час обслуговування запитів в  $i$ -му вузлі можна визначити як:

$$T_i = \frac{\rho_i \bar{t}_i}{2(1-\rho_i)} \cdot \left( \frac{\sigma_a^2 + \sigma_s^2}{\bar{t}_i^2} \right) \cdot \left( \frac{\bar{t}_i^2 + \sigma_s^2}{\bar{t}_i + \sigma_s} \right) + \bar{t}_i,$$

де  $\sigma_a^2$ ,  $\sigma_s^2$  — дисперсія часових інтервалів між запитами і часу обслуговування  $i$ -го вузла відповідно;

$\bar{a}_i$  — середній інтервал між запитами  $i$ -го вузла;

$\bar{t}_i$  — середній час обслуговування запиту  $i$ -го вузла.

Середній час обслуговування запиту на маршруті дорівнює:

$$T = \sum_{i=1}^k T_i ,$$

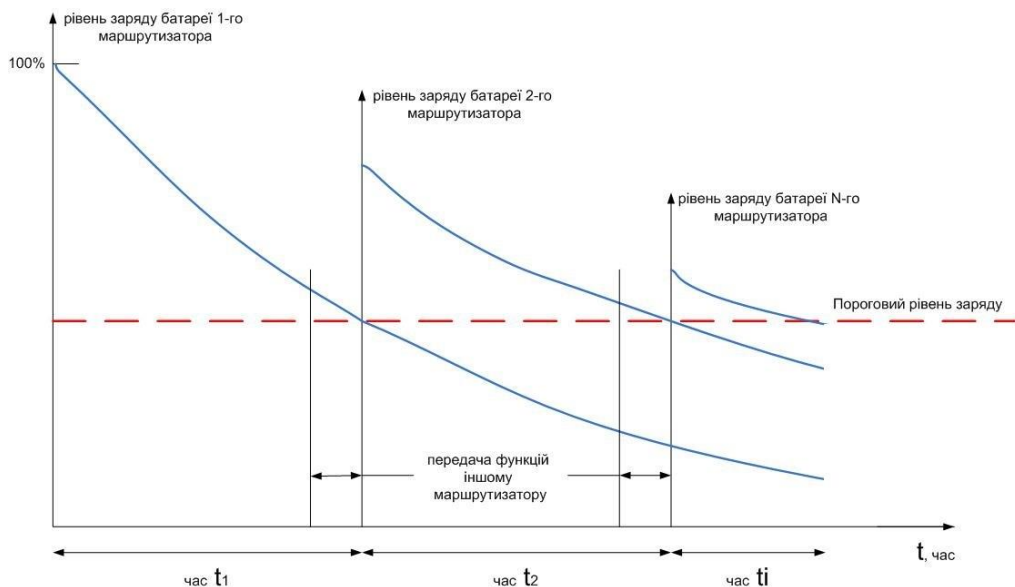


Рисунок 18. Передача функцій маршрутизатора від одного БПЛА до іншого на основі критерію «рівень заряду батареї»

На рис. 18 зображена в часі процедура зміни маршрутизатором впродовж всього маршруту. За час з моменту старту до моменту часу  $t_1$  функції маршрутизатора виконує БПЛА № 1 зі складу кластеру маршрутизаторів. До моменту  $t_1$  він здійснює польот та забезпечує зв'язок як з сенсорними вузлами наземної мережі, так і з координатором польоту, на що витрачається заряд його електричної батареї. В момент  $t_1$  рівень заряду його електричної батареї падає до порогового рівня, який необхідний, наприклад, для повернення на базу постійної дислокації. За короткий період часу 1-й маршрутизатор складає свої повноваження та передає свої функції до іншого маршрутизатора, якого призначає координатор польоту. Через деякий час процедура повторюється і ця функція передається іншому БПЛА з кластеру маршрутизаторів. І так до кінця польоту.

8. 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 маршруту польоту.

В ЛСМ кожен маршрутизатор – це БПЛА, який виконує політ з програмою та витрачає енергію свого джерела живлення як на здійснення самого польоту, так і на обмін даними між сенсорними вузлами наземної мережі, а також і з

ретрансляційними вузлами. Так може статися, що енергії його джерела живлення буде не достатньо на вісь маршрут польоту. В такому разі маршрутизатор повинний бути не один, а в складі кластера маршрутизаторів, де кожен з його членів може виконувати функцію маршрутизатора, але в кожен момент часу функцію маршрутизатора ЛСМ виконує тільки один з них, він здійснює основний обмін даними в мережі з відповідною втратою енергії на цю діяльність:

$$E = E_{\text{обмін}} + E_{\text{двиг}},$$

де  $E$  - енергія акумулятора БПЛА (Вт);

$E_{\text{обмін}}$  - енергія, яку тратить БПЛА на здійснення обміну даними між сенсорними вузлами наземної мережі, а також і з ретрансляційними вузлами (Вт);

$E_{\text{двиг}}$  - енергія, яку тратить БПЛА для свого переміщення за маршрутом (Вт).

Кожен БПЛА в складі кластеру маршрутизаторів повинний повернутися на базу постійного розташування, тому на цю частину у всіх маршрутизаторів втрати рівні:

$$E_{\text{двиг}} = 2 \cdot t_M \cdot I_{\text{двиг}},$$

де  $t_M$  - розрахунковий час руху за маршрутом (час);

$I_{\text{двиг}}$  - інтенсивність втрат енергії на рух (Вт/час).

$$E_{\text{обмін}} = E - E_{\text{двиг}} = I_{\text{обмін}} \cdot t_{\text{обмін}},$$

де  $I_{\text{обмін}}$  - інтенсивність втрат енергії на обмін (Вт/час);

$t_{\text{обмін}}$  - час обміну даними кожним маршрутизатором (час).

Кількість БПЛА в кластері маршрутизаторів ( $N$ ) з подальшим округленням у бік збільшення дорівнює:

$$N = \frac{t_M}{t_{\text{обмін}}}.$$

#### **Четвертий розділ був присвячений таким питанням:**

1. Розроблена методологія обслуговування IP-пакетів від пристроїв IoT забезпечує максимально ефективно надання їм сервісів та включає зміст та алгоритми управління трафіком від пристроїв IoT в мережі стандарту 5G, що дозволяє збільшити якість їх обслуговування. Ця методологія забезпечує оцінку критичного рівня часу затримки буферизації для пакетів IoT, що спізнюються, та змінює пріоритети цих пакетів в агрегованому трафіку мережі 5G, що не дозволяє придушення менш пріоритетних IoT-потоків потоками мультимедійного трафіку з найвищим пріоритетом. Для цього пропонується 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. Пакети з найвищим пріоритетом обслуговуються відразу та вже не піддається буферизації у вузлах.

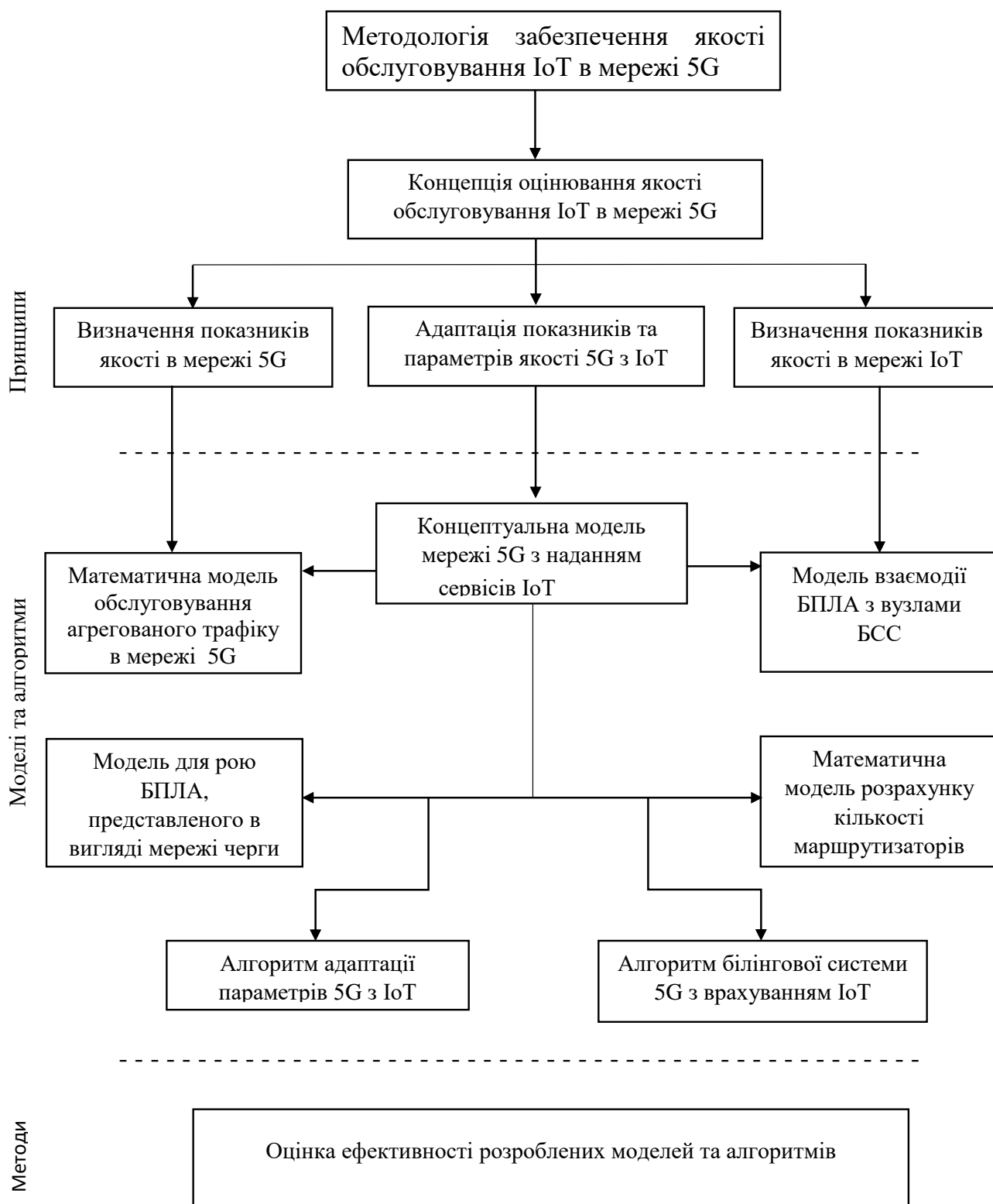


Рисунок 19. Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G

2. 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. Загальні принципи пізнання:

- об'єктивність і визначеність надання сервісів певними умовами, факторами, причинами;

- цілісний підхід до вивчення надання сервісів і процесів, які здійснюються в мережі стандарту 5G при цьому;

- розгляд надання сервісів в його зв'язках і взаємодії з іншими процесами в мережі стандарту 5G. Якість в системі в з а є м о д і ї м е р е ж і 5G з м е р е ж е ю I o T можливо забезпечити як адаптивним управлінням шляхом зміни політики обробки інформації в мережі стандарту 5G, так і зміною структури G самій системи IoT.

3. Розглянуті загальнонаукові принципи і підходи щодо надання якісних сервісів IoT в мережі 5G, які широко поширені в сучасній науці, що дозволяє базуватися на формалізованому критерії визначення відносного пріоритету класів трафіку і врахувати вимоги QoS, ймовірність використання послуг та відносний коефіцієнт значущості параметра відносно інших.

В зовнішніх IP-орієнтованих мережах на практиці активно використовується механізм диференційованого обслуговування (Differentiated Service) Diffserv. В декількох специфікаціях описані його базові елементи архітектури:

- RFC 2474 (Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers) щодо способів маркування пакетів;

- RFC 2598 (An Expedited Forwarding PHB) і 2597 (Assured Forwarding PHB Group) щодо сервісів за різновидами;

- RFC 2475 (An Architecture for Differentiated Service) щодо взаємодії компонентів в архітектурній моделі DiffServ.

4. 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.

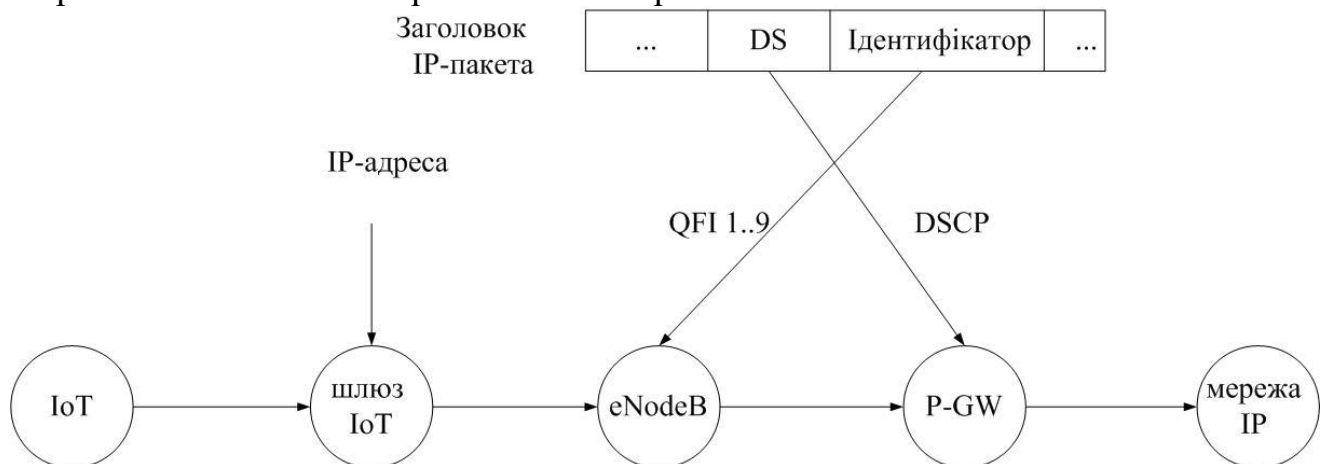


Рисунок 20. Порядок обслуговування IP-пакета пристрою IoT

Модель IP-вузла мережі з удосконаленням алгоритмом пріоритетного обслуговування пакетів показано на рис.19.

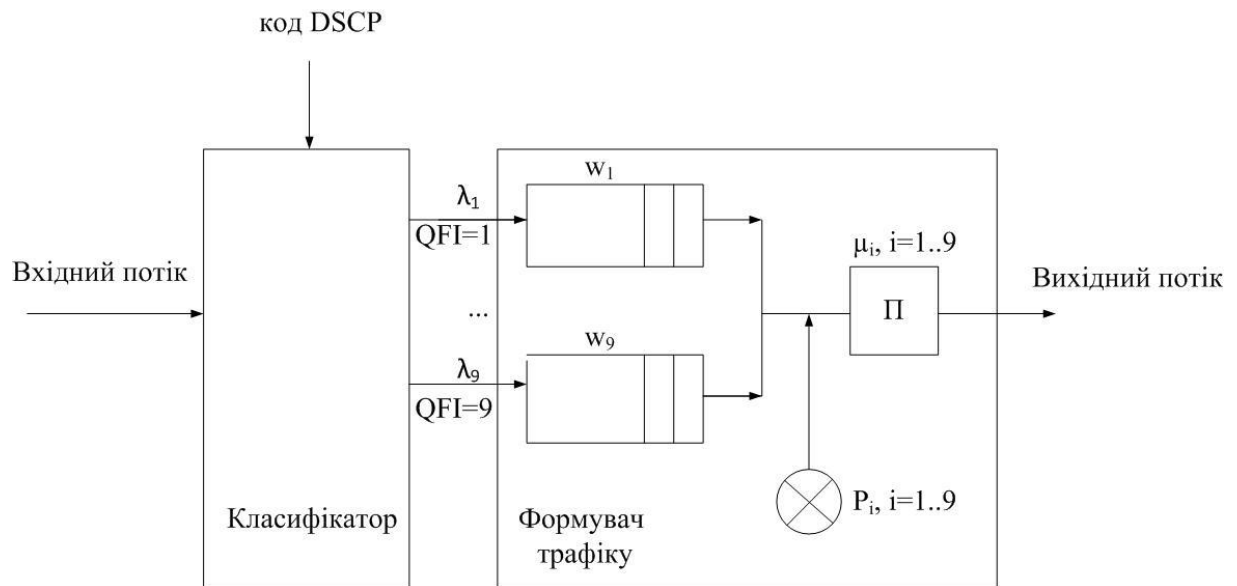


Рисунок 21. Обслуговування трафіків різного класу в шлюзі P-GW

5. Знайшла подальшого розвитку модель DiffServ шляхом введення декількох рівнів якості обслуговування IoT-пристроїв та декількох відповідних пріоритетів, що дозволяє обслуговувати трафік IoT-пристроїв в агрегованому потоці мережі 5G на загальних правилах.

6. Вперше розроблений алгоритм пріоритетного обслуговування пакетів агрегованого потоку в мережі 5G, в якому шляхом динамічної модифікації поля DSCP в заголовках пакету для IP-пакетів, що зазнали негативного впливу, на мережевому рівні (шлюзом P-GW) здійснюється швидше їх обслуговування у вузлах мережі, що дозволяє контролювати такий параметр якості обслуговування як час затримки IoT-пакетів та гарантувати наскрізне його значення.

#### **П'ятий розділ був присвячений таким питанням:**

1. Білінгова система є важливим елементом комерційної організації, яка надає послуги мобільного зв'язку.

Найчастіше БС створюється на основі певної системи управління базами даних. Більшість БС в світі створювалося на основі СУБД Oracle. Серед інших СУБД можна зазначити Sybase і Informix, як розраховані на великі обсяги інформації. Відомі такі білінгові системи: Bill-2000-prepaid, Flagship, BIS, CBOSS, Arbor.

Існує кілька назв білінгової системи:

- АСР - автоматизована система розрахунків;
- ІБС - інформаційна білінгова система.

2. Білінгова система надає можливість автоматизувати ведення обліку клієнтів, їх активності та застосування тарифів, які передбачені у пакетах послуг, за умовою збереження якості наданих послуг.

БС створюється і налаштовується під бізнес-процес певного оператора зв'язку, має власний набір функцій, відповідних технологічному циклу надання послуг, і може працювати з конкретним мережевим обладнанням, що постачає їй

інформацію про запити і з'єднання. але є і стандартний набір функцій, підтримуваних практично всіма БС. У нього входять:

- операції, які використовуються для роботи по виконанню наступних процедур аналізу вихідних даних, наприклад, функція отримання даних про підключення та послуги;

- операції з управління мережевим обладнанням: активація/деактивація (блокування/розблокування) абонентів та команди зміни умов підписки абонентів, що передаються безпосередньо на комутатор;

- основні функції додатку системи управління базою даних, в тому числі: тарифікація комутаторних записів про дзвінки та послуги, формування та редагування таблиць бази даних розрахункової системи, виставлення рахунків і їх друк, кредитний контроль рахунків, звітність, резервне копіювання та ін.

3. Білінгова системи дозволить забезпечити автоматизований облік і розрахунок вартості наданих послуг за обслуговування мережі IoT, облік даних про клієнтів, що використовують пристрої IoT та отримують ці послуги, виставлення клієнтам рахунків щодо використання пристроїв IoT, податкових накладних, облік нарахувань та сплат за кожним клієнтом, виявлення і облік боржників та виставлення їм претензій, облік технічних засобів.

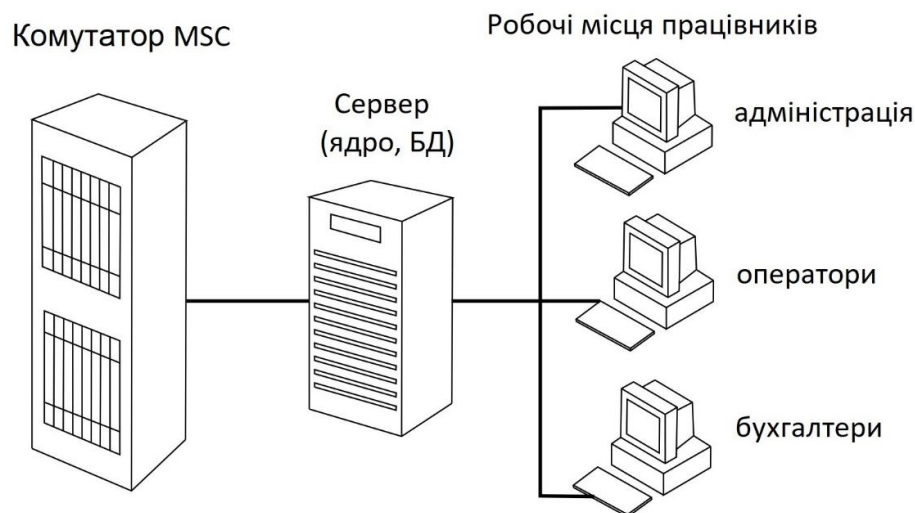


Рисунок 22. Підключення білінгової системи

Недоліком типових алгоритмів білінгових систем є те, що вони не враховують таку особливість трафіку IoT як малий трафік, коли передається всього декілька байтів даних, обробка якого йде за загальним алгоритмом, час виконання якого перебільшує час самої транзакції IoT. Якщо ввести таке поняття як «одиниця обміну інформації», де одиницею може бути як блок інформації визначеного розміру, так і кількість таких блоків, що буде відповідати однієї транзакції та значно спростити алгоритм білінгу такого користувача. Якщо для малого трафіку замість підрахунку часу передачі даних використовувати підрахунок тільки кількості транзакцій, то це дозволить використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком.



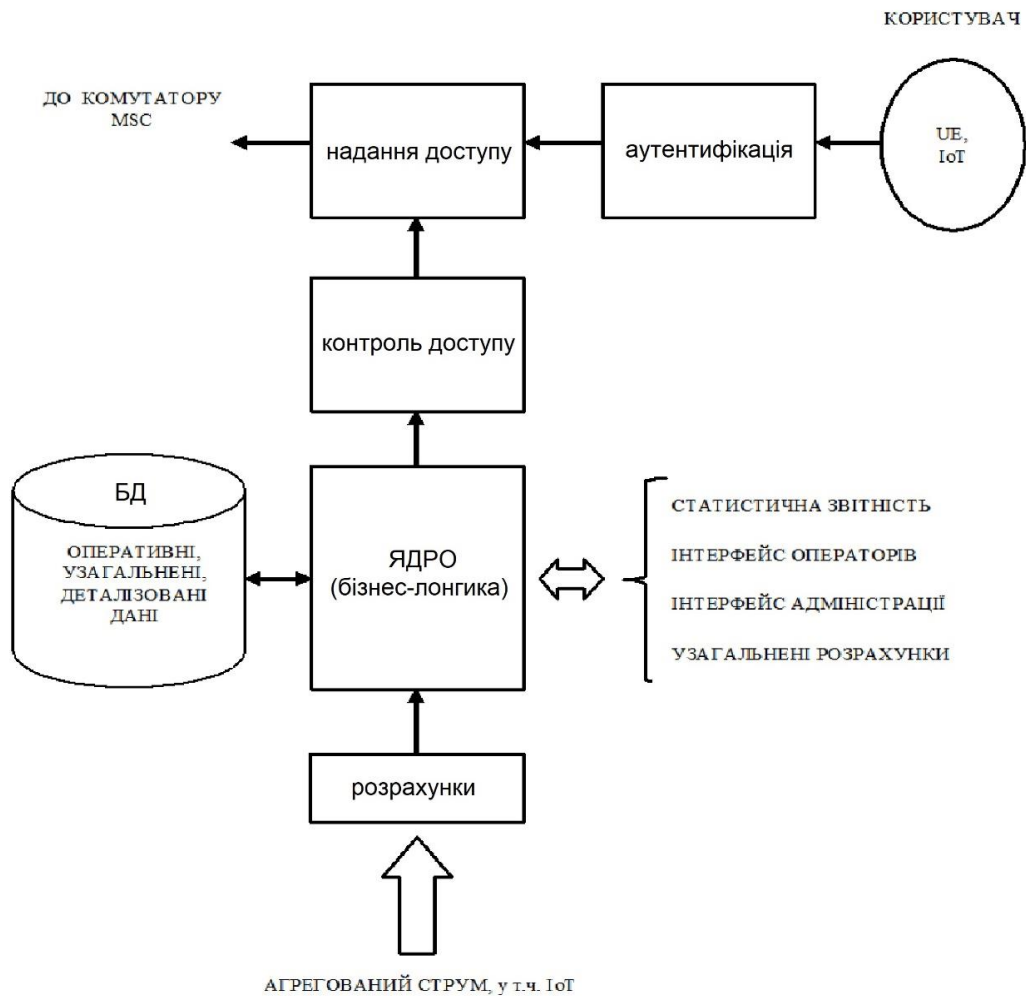


Рисунок 23. Структура білінгової системи

4. В роботі 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.

Тарифікація послуги за запропонованим алгоритмом білінгової системи здійснюється наступним чином:

1. При спробі активувати PDP Context (отримання IP-адреси IoT в мережі мобільного оператора) GGSN (реально комутатор MSC) запитує білінгову систему чи може цей IoT активувати розрахункову сесію (CreateChargingSessionReq).

2. Якщо IoT має ідентифікацію у цього оператора (абонент знаходиться в базі даних, кошти доступні), платформа створює білінгову сесію і дозволяє активувати PDP Context (CreateChargingSessionResp).

3. Щоб дозволити IoT здійснити передачу даних, GGSN отримує доступ до білінгової системи із запитом на бронювання коштів (ReserveUnitReq) на одну одиницю трафіку відповідно до заключеного договору: це може бути кількість байт даних або одна транзакція.

4. Білінгова система перевіряє, чи є кошти для даного IoT відповідно до його тарифу на одну одиницю трафіку і відповідає повідомленням ReserveUnitResp («кошти заброньовані»). Приймаючи це повідомлення від білінгової системи, GGSN дозволяє IoT завантажувати трафік.

5. Коли IoT завантажив одну одиницю трафіку, GGSN отримує доступ до білінгової системи з повідомленням DebitUnitReq («Ви можете списати зарезервовані кошти»).

6. Білінгова система списує кошти і відповідає повідомленням DebitUnitResp («кошти успішно списані»).

7. Цикл ReserveUnitReq-DebitUnitResp повторюється до тих пір, поки IoT не завантажить весь запланований трафік і не закриє сесію.

8. Коли контекст PDP деактивований, GGSN надсилає повідомлення на білінгову систему про припинення платіжної сесії. Пам'ять, яка виділена для цього сеансу, звільняється. Білінгова система готова обробити наступний запит від GGSN на активацію PDP.

### **Останній шостий розділ був присвячений таким питанням:**

1. 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. Беручи до уваги той факт, що трафік в мережі буде містити трафік TI, цей вплив може мати істотний вплив на якість його обслуговування.

Обробка запитів в мережі IoT може бути здійснена за різними технологіями (див. розділ 1.3), але серед цих технологій від представників IoT-пристроїв є багато спільного. В якості прикладу в подальшому буде розглянута мережа ZigBee, яка спроможна працювати за топологією mesh (сітка), особливим випадком якої може бути з'єднання за топологією «точка-точка» (peer-to-peer, P2P), «ланцюг», «зірка», «дерево» або «кільце», а також за цією технологією можливо розглянути варіант багаторангової мережі, що не є обов'язковим за іншими технологіями.

Координатор (Zigbee Coordinator, ZC) є найбільш відповідальним пристроєм,

формує шляхи мережевого дерева і може спілкуватися з іншими мережами. Кожна мережа має одного координатора Zigbee. Він запускає мережу з самого початку. Він зберігає інформацію про мережу, діє як довірений орган і зберігає ключі безпеки. Координатор як система масового обслуговування наданий на рис.22.

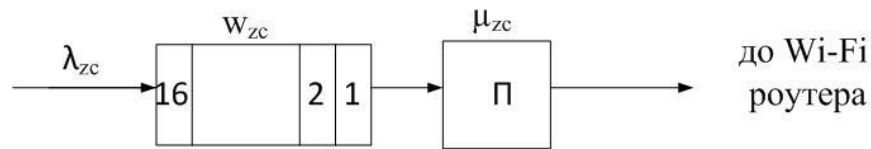


Рисунок 23. Координатор як система масового обслуговування

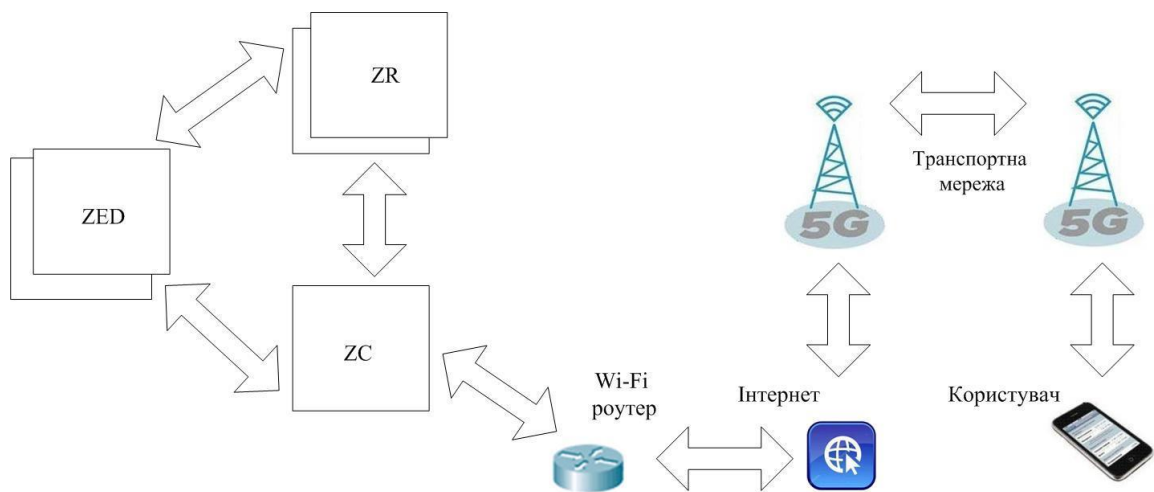


Рисунок 24. Потіки даних між пристроями ZigBee

Основну частоту (FC) для кожного каналу можна розрахувати як

$$FC = 868.3 \text{ МГц для } ch = 0$$

$$FC = (906 + 2 \cdot (ch - 1)) \text{ МГц для } ch = \overline{1,10},$$

$$FC = (2405 + 5 \cdot (ch - 1)) \text{ МГц для } ch = \overline{11,26}$$

де  $ch = \overline{0,26}$  - номер каналу.

У табл.1 визначена параметри каналу передачі даних за радіоканалом в залежності від радіодіапазону.

Таблиця 1

Параметри каналу передачі даних Zigbee-пристроями

Частота, МГц	Швидкість передачі даних, кбіт/с	Період запитів за маяками
2400	250	15 мс ÷ 251 с
915	40	24 мс ÷ 333 с
868	20	48 мс ÷ 786 с

2. Запропонована модель обслуговування мультисервісного трафіку є універсальною та може бути застосована для моделювання будь-яких потоків в

мережі стандарту 5G.

3. В якості прикладу при моделюванні була розглянута мережа ZigBee, яка спроможна працювати за топологією mesh (сітка), особливим випадком якої може бути з'єднання за топологією «точка-точка» (peer-to-peer, P2P), «ланцюг», «зірка», «дерево» або «кільце», а також за цією технологією можливо розглянути варіант багаторангової мережі, що не є обов'язковим за іншими технологіями. Трафік IoT можна розглядати як потік запитів, а запити означають пакети, оскільки мережа зв'язку IoT-IoT в основному комутується пакетами. Обмін даними здійснюється між мережевими кінцевими пристроями, які не завжди можуть самостійно ініціювати події, що відбуваються в мережі, тому варіанти подій діляться на три групи, в залежності від способу обміну інформацією:

- події, пов'язані з роботою мережі – ініціалізація IoT-пристрою, реакція на відключення або включення його живлення, перезапуск IoT-пристрою, іншими словами, технічні причини;

- події, пов'язані з реакцією на зміну зовнішніх факторів – ті події, на які, в першу чергу, орієнтовані мережеві пристрої IoT – реакція датчиків, пристроїв на зміни навколишнього середовища, зміни параметрів самого IoT-пристрою;

- події, пов'язані із закінченням конкретного часового інтервалу – таймаутів – тимчасових інтервалів, тривалість яких встановлюється відповідно до будь-якого закону, вони можуть встановлюватися як фіксовано, так і динамічно.

4. У моделях трафіку, що генеруються пристроями IoT доцільно використовувати розподіл Пуассона. Трафік IoT можна розглядати як потік запитів, а запити означають пакети, оскільки мережа зв'язку IoT-IoT в основному комутується пакетами. Обмін даними здійснюється між мережевими кінцевими пристроями, які не завжди можуть самотійно ініціювати події, що відбуваються в мережі, тому варіанти подій діляться на три групи, в залежності від способу обміну інформацією:

- події, пов'язані з роботою мережі – ініціалізація IoT-пристрою, реакція на відключення або включення його живлення, перезапуск IoT-пристрою, іншими словами, технічні причини;

- події, пов'язані з реакцією на зміну зовнішніх факторів – ті події, на які, в першу чергу, орієнтовані мережеві пристрої IoT – реакція датчиків, пристроїв на зміни навколишнього середовища, зміни параметрів самого IoT-пристрою;

- події, пов'язані із закінченням конкретного часового інтервалу – таймаутів – тимчасових інтервалів, тривалість яких встановлюється відповідно до будь-якого закону, вони можуть встановлюватися як фіксовано, так і динамічно.

5. Кількість кінцевих IoT-пристроїв типу ZigBee в найкращому випадку складає десятки одиниць максимально, що для більшості сфер застосувань є достатнім. Для літакової сенсорній мережі потрібно застосовувати пакети довжиною сотні біт і інтенсивність потоків розміром менш одиниці пакетів в секунду, щоб забезпечити сенсорне поле розміром тисячі одиниць.

Під розподілом Пуассона розуміється розподіл дискретного типу випадкової величини, що представляє собою кількість подій, що відбулися за фіксований час, за умови, що ці події відбуваються з деякою фіксованою середньою інтенсивністю  $\lambda$  і незалежно один від одного. Моделі, засновані на розподілі Пуассона, не завжди підходять для коректного моделювання трафіку в мережах з комутацією пакетів. У розподілі Пуассона більшість подій зосереджені поблизу

математичного очікування, і лише невелика її частина зосереджена далеко від середнього. Розподіл Пуассона (6.2) відноситься до розподілів з так званими «легкими хвостами», які мають відносно швидке зниження значення ймовірності, виражене експоненційно затухаючою функцією:

$$p(k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}$$

де, наприклад,  $p(k)$  – ймовірність  $k$  відмов в обслуговуванні запитів від IoT,  $\lambda$  - інтенсивність запитів від IoT-пристроїв на обслуговування.

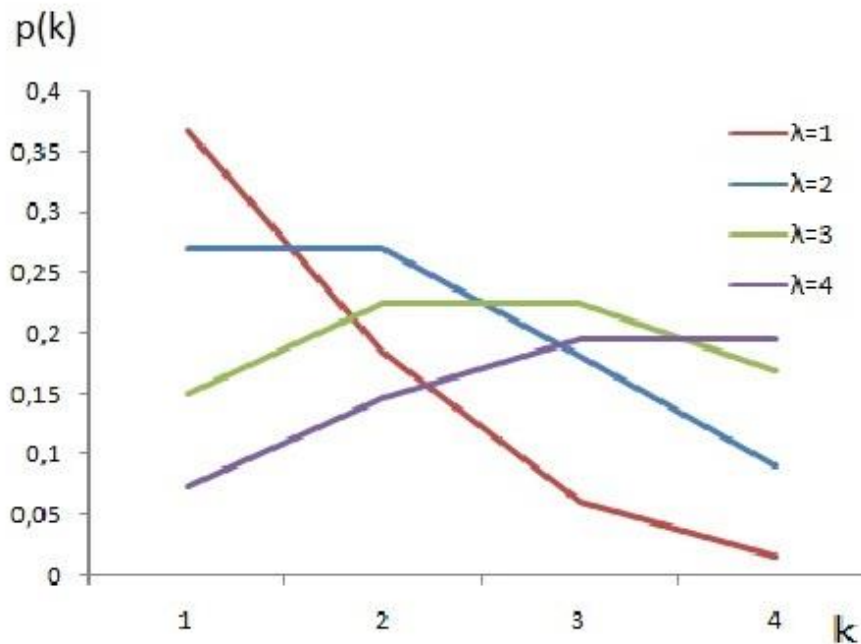


Рисунок 25. Графік ймовірності  $k$  відмов в обслуговуванні запитів від IoT в залежності від інтенсивності запитів  $\lambda$

6. Застосування модифікованого алгоритму обробки запитів від IoT-пристроїв в мережі стандарту 5G призвели до підвищення середньої швидкості обробки пакетів на 0,3 %, зменшення часу затримки запитів від IoT-пристроїв на їх обробку на  $(0,83 \div 5,57)\%$  при погіршення цього показника за іншими потоками агрегованого трафіку, ймовірність втрати пакетів від IoT-пристроїв типів L1..L3 зменшилася на  $(0,02 \div 0,18)\%$ .

7. При виборі мережевих рішень для спільного обслуговування регулярного IoT-трафіку і трафіку інших сервісів слід враховувати більшу «стійкість» IoT-трафіку до втрат, в той час як випадкові потоки, зокрема трафік TI, більш схильні до втрат при спільному обслуговуванні.

Існує три основних види трафіку, на основі реалізованих послуг у мережі 5G:

- потоковий трафік (стрімінгові сервіси) – це передача потоку даних (пакетів), характер якого визначається характеристиками сервісу (голос,

відео);

-інтерактивний трафік (інтерактивні сервіси) – цей трафік передбачає передачу даних в обох напрямках, і однією зі сторін є реакція користувача;

-фоновий трафік (фонові сервіси) – в більшості випадків такий трафік не критичний до затримок.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна й важлива проблема розроблення теоретичних і методологічних основ адаптації інформаційних технологій інтернету речей в мобільній мережі зв'язку стандарту 5G.

Дисертація містить такі основні теоретичні й практичні результати:

1. На основі виконаного аналізу методологічних підходів до адаптації інформаційних технологій інтернету речей в мобільній мережі зв'язку стандарту 5G показано, що ці питання адаптації не до кінця розроблені та потребують подальшого розвитку.

2. Оцінювання забезпечення якості обслуговування в мережі Інтернету речей можливо за допомогою створеної автором імітаційної моделі, для якої розроблена структура, математичний апарат та показані результати чисельного моделювання.

3. Основні результати дисертаційної роботи можна класифікувати згідно з їх теоретико-концептуальною, алгоритмічно-прикладною і реалізаційно-прикладною значимістю.

В теоретико-концептуальному плані одержані такі результати:

3.1. Виконаний системний аналіз основних показників якості обслуговування в мережі Інтернету речей та методологічних підходів до їх визначення.

3.2. Визначена структура рівня користувача в мобільній мережі зв'язку стандарту 5G.

3.3. Здійснена оцінка проблем управління якістю обслуговування Інтернету речей в мобільних мережах п'ятого покоління.

3.4. Запропонована концептуальна модель мережі стандарту LTE/5G з наданням сервісів Інтернету речей.

3.5. Запропонована концептуальна модель мережі Інтернету речей з адаптивним управлінням якістю.

3.6. Вдосконалена сервісна модель обслуговування запитів від вузлів БСС при невідомих координатах їх розташування, яка може бути представлена у вигляді системи черг з виходом заявок з черги (з обмеженим часом очікування).

3.7. 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.

3.8. Розроблений алгоритм роботи координатора 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.

3.9. Запропонований метод інтелектуального керування розподілом ресурсів мережі стандарту LTE/5G з наданням сервісів Інтернету речей.

На основі наведених теоретично-концептуальних результатів з метою забезпечення якості обслуговування між пристроями Інтернету речей в мережах стандарту LTE/5G одержані такі алгоритмічно-прикладні результати:

3.10. Розроблена імітаційна модель мережі стандарту LTE/5G з надання сервісів Інтернету речей.



3.11. Розроблена математична модель забезпечення якості обслуговування в мережі Інтернету речей.

3.12. Запропонований алгоритм білінгової системи мережі стандарту LTE/5G з наданням сервісів Інтернету речей.

Прикладні результати дисертаційної роботи полягають у застосуванні запропонованих методик, моделей, алгоритмів:

3.13. Представлені результати чисельного моделювання функціонування пристроїв Інтернету речей в мережах стандарту LTE/5G.

3.14. Представлені імовірно-часові характеристики процесу передавання сповіщень від пристроїв Інтернету речей в мережах стандарту LTE/5G.

4. Для вирішення проблеми розроблення комплексної методології забезпечення якості обслуговування між пристроями Інтернету речей в мережах стандарту LTE/5G в дисертації широко використовуються принципи, методи і засоби системного аналізу, структурного, математичного і імітаційного моделювання, комбінаторики, теорії ймовірностей, елементи штучного інтелекту.

5. Достовірність одержаних результатів обґрунтована застосуванням методології системного аналізу, коректними перетвореннями в рамках моделей комбінаторики, теорії ймовірностей, штучного інтелекту. Адекватність моделей підтверджується експериментальними дослідженнями і результатами впровадження розроблених методик, пріоритетом публікації результатів в провідних наукових журналах і збірниках, схваленням фахівців на наукових конференціях і семінарах.

6. Результати дисертації рекомендовані для подальшого застосування при створенні високоефективних систем Інтернету речей в мережах стандарту LTE/5G на етапі їх проектування.

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Aqeel Mahmood Jawad Abu-Alshaeer, Nameer Hashim Qasim, Haider Mahmood O Jawad Abu-Alshaeer, Mahmood Jawad Abu-Alshaeer, Khlaponin Y., Sieliukov., Marek A. Basics of application of unmanned aerial vehicles/ under edition O.V. Sieliukov. – Poland, Vocational Training Center in Nowy Sącz Zamenhofa str., 133-300 Nowy Sącz, Poland, 2022. – 310 p. ISBN-978-83-922854-2-7. **Монографія** <https://www.e-isbn.pl/IsbnWeb/start/search.html> (особистий внесок здобувача: Проаналізовано сучасний стан розвитку БПЛА та запропонована модель для рою безпілотних літальних апаратів)
2. Qasim N.H, Khlaponin Y.I, Vlasenko M.M., Application of unmanned aerial vehicles in the field of telecommunications and the Internet of things, Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток. Колективна **монографія** за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-16 листопада 2022 р.) – заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2022. 242 с. – С. 92–94. URL: [https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06\\_UDK\\_book\\_Monografia\\_48x210.pdf](https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-06_UDK_book_Monografia_48x210.pdf) . (особистий внесок здобувача: Запропоновано застосування безпілотних літальних апаратів в області телекомунікацій та Інтернету речей)

3. Процик В.О., Хлапонін Ю.І., Вишняков В.М., Касім Н.Х. Методи вирішення проблеми примусу в електронних системах голосування / Methods of solving the problem of coercion in electronic voting systems. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2021. № 73. С.114–120. URL: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2021/73-12>. *(особистий внесок здобувача: Проаналізовані методи застосування одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi як систем IoT в електронному голосуванні)*
4. Касім Н.Х., Власенко М.М., Хлапонін Ю.І. Формалізація процесу управління передачею потоків трафіку на фрагменті мережі LTE. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2022. – № 75. – С.88–93. URL: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/75-09>. *(особистий внесок здобувача: Запропонована концептуальна модель мережі мобільного зв'язку)*
5. Касім Н.Х., Селюков О.В., Власенко М.М., Лукова-Чуйко Н.В, Хлапонін Ю.І. Алгоритм білінгової системи мережі стандарту LTE/5G з наданням сервісів Інтернету речей / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2022. – Випуск 6(137) – С. 36–46. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.6.4>. *(особистий внесок здобувача: Введено поняття «одиниця обміну інформації», де одиницею може бути як блок інформації визначеного розміру, так і кількість таких блоків, дозволяє використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком.)*
6. Хлапонін Ю.І. Методи керування трафіком від пристроїв Інтернету речей в мережі стандарту 5G / Ю.І. Хлапонін, М.М. Власенко, Н.Х. Касім // Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2022. № 4 (77). С. 14–24. URL: <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2022.041424>. *(особистий внесок здобувача: Розроблено процедуру перетворення первинної інформації телекомунікаційної мережі)*
7. Qasim N.H., Pyliavskiy V., Solodka V. Development of test materials for assessment broadcasting video path / Розробка тестових матеріалів для оцінювання трансляції відеочастини. Cornell university journal. Ithaca, NY 14850, USA. 2019. *(особистий внесок здобувача: Проведено аналіз метрологічних засобів для оцінки якості обробок телекомунікаційних трактів)*
8. Qasim N. H., Pyliavskiy V., Solodka V. Development of test materials for assessment broadcasting video path. Electrical Engineering and Systems Science: Image and Video Processing. 2019. Vol. 1907.11406, no. 529. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.11406>. **Scopus** *(особистий внесок здобувача: Подано аналіз суб'єктивних та об'єктивних методів оцінки.)*
9. Hashim N.H., Mohsim A.H., Rafeeq R.M., Pyliavskiy V. New approach to the construction of multimedia test signals. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. Volume 8, No.6, November 2019. С. 3423-3429. URL: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/117862019>. **Scopus** *(особистий внесок здобувача: Пропонується реалізація генератора тестових сигналів)*
10. Qasim N.H., Omar Faris Mahmood, Ibrahim Beram Jasim. Performance Enhancement of underwater channel using polar code-OFDM paradigm / International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. 2021/9. С.

- 55-62. URL: [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume\\_3/issue\\_9\\_september\\_2021/15978/final/fin\\_irjmets1630649429.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume_3/issue_9_september_2021/15978/final/fin_irjmets1630649429.pdf). (особистий внесок здобувача: Пропонується ортогональне частотне мультиплексування (OFDM) для передачі зашифрованих даних (полярно-кодованих) через підводний канал)
11. Nameer Hashim, Aram H Mohsim, Ranjdr M Rafeeq, Volodymyr Pyliavskiy Color correction in image transmission with multimedia path / Корекція кольору при передачі зображення з мультимедійної частини ARPN Journal of Engineering and Applied sciences. 2020. № 10. P.1183-1188. ISSN 1819-6608 URL: [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2020/jeas\\_0520\\_8215.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_0520_8215.pdf). **Scopus, Q3** (особистий внесок здобувача: Запропоновано алгоритм, який дозволяє адаптувати мультимедійні зображення до умов, коли освітлення має довільний спектральний розподіл)
12. Khlaponin Y., Izmailova O., Qasim N., Krasovska H., Krasovska K. Management risks of dependence on key employees: identification of personnel. Workshop on "Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems" (CPITS 2021) URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2923/paper33.pdf> **Scopus** (особистий внесок здобувача: Досліджено підхід до реалізації етапу ідентифікації ключових співробітників)
13. Qasim N., A Systematic review of Multi-Mode Fiber based on Dimensional Code in Optical-CDMA / A. Ghazi et al. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1860, no. 1. P. 012016. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1860/1/012016>. **Scopus** (особистий внесок здобувача: Представлено систематичний огляд optical-CDMA порівняно з MMF)
14. Khlaponin Y., Qasim N., Vyshniakov V., Poltorak V. Concept of data protection technologies development in E-voting systems. International Research Journal of Modernization in Engineering technology and science. 2021. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Volume:03 / Issue: 09 / September, 2021. P. 40-54 URL: [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume\\_3/issue\\_9\\_september\\_2021/15985/final/fin\\_irjmets1630649545.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume_3/issue_9_september_2021/15985/final/fin_irjmets1630649545.pdf) (особистий внесок здобувача: Запропоновано ідею використання окремого сервера, на якому можуть бути встановлені ліцензовані засоби аутентифікації за біологічними чи іншими ознаками особи для усунення незаконного впливу на виборців.)
15. Alaan Ghazi, S.A Aljunid, Syed Zulkarnain Syed Idrus, CBM Rashidi, Aras Al-dawoodi, Baban A Mahmood, Alaa Fareed, Mohammed U Zaenal, Nameer Hashim Qasim, Ranjdr M Rafeeq A Systematic review of Multi-Mode Fiber based on Dimensional Code in Optical CDMA / Journal of Physics: Conference Series 2021/3/1. C. 12-16 URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1860/1/012016>. **Scopus** (особистий внесок здобувача: Представлено систематичний огляд optical-CDMA над MMF)
16. Aqeel Mahmood Jawad, Nameer Hashim Qasim, Haider Mahmood Jawad, Mahmood Jawad Abu-Alshaeer, Rosdiadee Nordin, Sadik Kamel Gharghan. Near Field WPT Charging a Smart Device Based on IoT Applications. CEUR Workshop, Vol-3149 P. 124 – 131. – ISSN 1613-0073. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3149/>. **Scopus** (особистий

*внесок здобувача: Проаналізовано система моніторингу та управління болем на основі Інтернету речей.)*

17. Nameer Hashim Qasim, Aqeel Mahmood Jawad Abu-Alshaeer, Khlaponin Y. Analysis of the state and prospects of LTE technology in the introduction of the Internet of things, Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, Norway. 2022. Vol. 84, pp. 47–51. ISSN 3453-9875 URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6540099>.

*(особистий внесок здобувача: Проаналізовано перспективу технологій на основі Інтернету речей.)*

18. Sieliukov A.V., Qasim N.H., Khlaponin Y.I., Conceptual model of the mobile communication network, The Workshop on Emerging Technology Trends on the Smart Industry and the Internet of Things «ТТІІТ», January 19-20th, 2022 (online), p. 20-22.

[https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_Optimized.pdf](https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_Optimized.pdf)

*(особистий внесок здобувача: Представлена концептуальна модель мережі мобільного зв'язку.)*

19. Omed Rafiq Fatah, Nameer Hashim Qasim, Natalia Bodnar, Aqeel Mahmood Jawad Abu-Alshaeer, Omar Saad Ahmed. A Systematic Review and Meta-Analysis of the Latest Evidence on Online Shopping Intensity / Останній перегляд 11 квітня 2023.

Доступно на Research Square, URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4414622>.

*(особистий внесок здобувача: Досліджено фактори, що впливають на намір купувати в Інтернеті (IoT))*

20. Fakher Rahim, Nataliia Bodnar, Nameer Hashim Qasim, Aqeel Mahmood Jawad, Omar Saad Ahmed. Integrating Machine Learning in Environmental DNA Metabarcoding for Improved Biodiversity Assessment: A Review and Analysis of Recent Studies / URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2823060/v1>.

*(особистий внесок здобувача: Проаналізовано дослідження щодо інтеграції машинного навчання в метаатрихкодування ДНК навколишнього середовища для покращення оцінки біорізноманіття)*

21. Fakher Rahim, Nameer Hashim Qasim, Abzal Zhumagaliuly, Kenesh Dzzhusupov. Human Cystic Echinococcosis in The Populations of MENA Countries, With A Focus on The United Arab Emirates, From 1990 To 2019: From Genetic Epidemiology of Rare Disease to Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 / Останній перегляд 1 серпня 2023. Препринт. Доступно на Research Square, URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3190738/v1>.

*(особистий внесок здобувача: Дослідження методів зменшення поширення the Human Cystic Echinococcosis, які включають зміну індивідуальної поведінки, зміну умов праці та покращення умов життя.)*

22. Fakher Rahim, Kenesh Dzzhusupov, Nameer Hashim Qasim, Abzal Zhumagaliuly, Nataliia Bodnar, Rabiga Khozhamkul, Toguzbaeva Karlygash. Global Prevalence of Mental Disorders Due to Covid-19 In the Central Asia: A Systematic Analysis of The Global Burden of Disease Study From 1990 to 2019 /Останній перегляд 21 серпня 2023. Препринт. Доступно на Research Square, URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3257421/v1>.

*(особистий внесок здобувача: Дослідженню необхідність в розробці комплексної політики психічного здоров'я та лікування в Центральній Азії для запобігання катастрофічних наслідків пандемії COVID-19.)*

*(особистий внесок здобувача: Дослідженню необхідність в розробці комплексної політики психічного здоров'я та лікування в Центральній Азії для запобігання катастрофічних наслідків пандемії COVID-19.)*

*(особистий внесок здобувача: Дослідженню необхідність в розробці комплексної політики психічного здоров'я та лікування в Центральній Азії для запобігання катастрофічних наслідків пандемії COVID-19.)*

*(особистий внесок здобувача: Дослідженню необхідність в розробці комплексної політики психічного здоров'я та лікування в Центральній Азії для запобігання катастрофічних наслідків пандемії COVID-19.)*

23. Qasim N.H., Shevchenko Y.P., Pyliavskiy V.V. Analysis of methods to improve energy efficiency of digital broadcasting / Телекомунікації та радіотехніка. 2019. ISSN 0040-2508 URL:<https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v78.i16.40>. **Scopus Q3** (особистий внесок здобувача: запропоновано використання високолінійних підсилювачів, які мають істотний недолік – низький ККД в режимі середньої потужності, для підсилення цифрових сигналів)
24. Qasim N.H., Pyliavskiy V.V. Color temperature line: Forward and inverse transformation / Журнал. Фізика напівпровідників, квантова електроніка та оптоелектроніка. 2020/1/1. С.75-80. URL: [http://journal-spqeo.org.ua/n1\\_2020/v23n1-p075-080.pdf](http://journal-spqeo.org.ua/n1_2020/v23n1-p075-080.pdf). **Scopus, WoS, Q3** (особистий внесок здобувача: Представлено дані для швидкого отримання як прямого, так і зворотного перетворення можуть бути застосовані в динамічних системах, таких як адаптивні, якщо врахувати вплив джерела світла)
25. Nameer Hashim Qasim, Aqeel Mahmood Jawad, Haidar Mahmood Jawad, Khlaponin Y., Nikitchyn O. Devising a traffic control method for unmanned aerial vehicles with the use of gNB-IoT in 5G / Розробка методу управління трафіком безпілотних літальних апаратів за допомогою використання gNB-IoT В 5G. Східно-Європейський Журнал передових технологій – 2022. – № 3/9 (117). – С.53–59. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57103659600>. **Scopus Q3** (особистий внесок здобувача: Запропоновано методіку керування рухом БПЛА з використанням розподільного алгоритму, щоб постійно передавати напрямки антени в найкраще положення головного променя gNB на БПЛА і таким чином підтримувати зв'язок із високим посиленням.)
26. Makarenko, A., Qasim, N., Turovsky, O., Rudenko, N., Polonskyi, K., Govorun, O. Reducing the impact of interchannel interference on the efficiency of signal transmission in telecommunication systems of data transmission based on the OFDM signal. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (121)), 82–93. **Scopus, Q3**. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4376533](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4376533) (особистий внесок здобувача: Встановив взаємовпливи параметрів сигналу за технологією OFDM та характеру спільної взаємодії сусідніх каналів передачі даних у структурі одного OFDM сигналу та визначив, що зміни в положенні та параметрах символу піднесучої від складу цього символу OFDM створюють міжканальні перехідні перешкоди.)
27. Власенко М.М., Касім Н.Х., Адаптивний захист інформації/ Adaptive information protection, IV Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем” (PCSITS) 15-16 квітня 2021 року, тези доп. С.184-185, м. Київ. URL: <http://surl.li/lfshg>. (особистий внесок здобувача: Досліджено адаптивний захист інформації.)
28. Касім Н.Х., Хлапонін Ю.І., Симоненко О.А. Застосування технології LTE при впровадженні інтернету речей / Application of LTE technology in the introduction of the Internet of Thing, I науково-технічна конференція "Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку", 25-26 листопада 2021 р., тези доп. С.148-149, м. Київ. URL: [http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2021/c\\_2021.pdf](http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2021/c_2021.pdf). (особистий внесок здобувача:

*Проаналізовано застосування технології LTE при впровадженні інтернету речей.)*

29. Qasim N.H, Lukova-Chuiko N.V, The role of drones for evolving telecommunication and internet / Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповідей та тез, Київ, 27–28 жовтня 2022. – Київ, 2022. – С. 112–113. URL: <http://surl.li/lfsjz>. *(особистий внесок здобувача: Проаналізована роль дронів для інтернету.)*

30. Omed Rafiq Fatah, Nameer Qasim, The role of cyber security in military wars, Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповідей та тез, Київ, 27–28 жовтня 2022. – Київ, 2022. – С. 114–115. URL: <http://surl.li/lfsjz>. *(особистий внесок здобувача: Досліджено роль кібербезпеки для військових (БПЛА))*

31. Jawad A. M., Hashim Qasim N., Pyliavskiy V. Comparison of Metamerism Estimates in Video Paths using CAM's Models. 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 10–12 October 2022. 2022. **Scopus**. <https://doi.org/10.1109/picst57299.2022.10238685>. *(особистий внесок здобувача: Провів дослідження яке показало, що спектральні композиції кольорів можуть сприйматися як один колір (за даними МакАдама), але при обробці їх кількість може бути різною.)*

32. Probiotics, prebiotics, and synbiotics for patients with autism spectrum disorder: a meta-analysis and umbrella review / Rahim F, Toguzbaeva K, Qasim NH, Dzhusupov KO, Zhmagaliuly A and Khozhamkul R. Frontiers in Nutrition. 2023. Vol. 10. **Scopus, Q1**. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1294089>. *(особистий внесок здобувача: Провів комплексний метааналіз і систематичний огляд, щоб оцінити ефективність і захист багатьох препаратів, спрямованих на маніпулювання мікробіотою при лікуванні РАС.)*

## АНОТАЦІЯ

*Касім Н.Х.* Методологія забезпечення якості обслуговування ІоТ в мережі 5G. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі». - Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2024.

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.

У роботі вперше розроблена концептуальна модель мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей, яка враховує особливості пристроїв ІоТ 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.

У роботі вперше наданий алгоритм адаптації параметрів мережі стандарту

5G з мережею Інтернету речей, який передбачає розрахунок скінченної множини альтернативних варіантів структури мережі, що дозволяє особі, яка приймає рішення, приймати найкращі альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G.

Вдосконалена математична модель обслуговування агрегованого трафіку в мережі 5G, яка враховує характеристики по кожному з дев'яти класів запитів по пріоритетах, що дозволяє визначити усереднені для всіх класів запитів показники ефективності функціонування мережі 5G.

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.

Вдосконалена модель детермінованого потоку запитів за відомими координатами вузлів ЛСМ, оптимізація обслуговування якої може бути досягнута шляхом планування обслуговування вузлів мережі.

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.

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.

Удосконалено типовий алгоритм білінгової системи, якій 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.

**Ключові слова:** LTE, 5G, БПЛА, Інтернет речей (IoT), телекомунікаційна мережа.

## ANNOTATION

***Qasim Nameer Hashim Qasim. Methodology for ensuring the quality of IoT service in the 5G network.*** - Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.12.02 - "Telecommunication systems and networks". - Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2024.

The dissertation solves the actual scientific and applied problem of ensuring the quality of Internet of Things service in the LTE/5G standard network by developing and improving methods and models of routing and managing the organization of message

delivery in Internet of Things networks.

The work presents for the first time an algorithm for adapting network parameters of the 5G standard with the Internet of Things network, which involves the calculation of a finite set of alternative options for the network structure, which allows the decision-maker to adopt the best alternative options for the structure of the IoT network based on the criterion of the quality of service in the 5G network.

The paper first developed a conceptual model of the 5G standard network with the provision of Internet of Things services, which takes into account the features of IoT devices in terms of autonomous communication between a large number of smart devices that simultaneously send small data packets and using a wide range of applications, which requires an infrastructure different from the point of view in terms of packet size, traffic density and quality of service.

An improved mathematical model of aggregated traffic service in the 5G network, which takes into account the characteristics of each of the nine classes of requests by priority, which allows you to determine the performance indicators of the 5G network averaged for all classes of requests.

An improved model of UAV interaction with FSU nodes, which differs from the known ones in that it can be described as a mass service system, the characteristics of which depend on the distribution of nodes on the territory, the time of interaction with network nodes, the service radius and the speed of UAV movement.

An improved model of the deterministic flow of requests based on the known coordinates of LSM nodes, the optimization of which service can be achieved by planning the service of network nodes.

An improved model for a swarm of unmanned aerial vehicles, which differs from known ones in that the UAV swarm is represented in the form of a queue network, and the main characteristic of the model is the average duration of information transmission between swarm elements.

The LSM flight coordinator's work algorithm for changing the router has been developed, which differs from the known ones in that it takes into account the need for timely replacement of the router to ensure the preservation of the received data and to continue the flight along the route.

The typical algorithm of the billing system has been improved, which consists in the introduction of the concept of "unit of information exchange", where the unit can be both a block of information of a certain size (one transaction) and the number of such blocks, which allows the use of billing systems for charging IoT services both with large, and with low traffic. The novelty of the algorithm is, firstly, taking into account the peculiarities of Internet of Things devices as users, and secondly, the interaction of the billing system itself with regard to IoT and the mobile network switch, which is able to serve IoT devices connected to the 5G mobile network, is clarified.

Keywords: LTE, 5G, UAV, Internet of Things (IoT), telecommunication network.



Підписано до друку 02.02.2024. Формат 60x90/16  
Ум. друк. арк. 1,25. Обл.-вид. 0,9.  
Наклад 100 прим. Зам. 1308-21

---

Видавничо-друкарський комплекс «Університет Україна»  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №405 від 06.04.01.  
м. Київ, вул. Львівська, 23, тел. (044) 424-40-69