Касім Намір Хашім Касім, професор кафедри кібербезпеки та комп&rsquo;ютерної

інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури. Назва

дисертації: &laquo;Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G&raquo;.

Шифр та назва спеціальності 05.12.02 Телекомунікаційні системи та мережі.

Спецрада Д 26.062.19 Національного авіаційного університету

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І

АРХІТЕКТУРИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

КАСІМ НАМІР ХАШІМ КАСІМ

Прим. №

УДК 004.738.5:621.396.6

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОДОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ IOT

В МЕРЕЖІ 5G

Спеціальність 05.12.02 - «Телекомунікаційні системи та мережі»

Технічні науки

(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело Н.Х. КАСІМ

Київ - 2024

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 13

ВСТУП 17

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ П’ЯТОГО ПОКОЛІННЯ 27

1.1. Актуальність проблематики 37

1.2. Аналіз перспективного напрямку розвитку мобільних мереж зв’язку 41

1.3. Структура рівня користувача мережі 5G 50

1.4. Аналіз тенденцій розвитку Інтернету речей 64

1.5. Оцінка проблем управління якістю обслуговування Інтернету

речей в мобільних мережах п’ятого покоління 70

1.6. Постановка задачі досліджень 75

1.7. Висновки за розділом 1 78

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З АДАПТИВНИМ УПРАВЛІННЯМ ЯКІСТЮ 81

2.1. Розробка концептуальної моделі мережі стандарту 5G з

наданням сервісів Інтернету речей 87

2.2. Математична модель взаємодії мережі стандарту 5G з мережею

Інтернету речей 95

2.3. Розробка математичної моделі забезпечення якості

обслуговування в мережі Інтернету речей 108

2.3.1. Показники якості обслуговування для мережі ІоТ 116

2.3.2. Показники якості обслуговування для мережі 5G 117

2.4. Математична модель обслуговування агрегованого трафіку 119

2.5. Висновки за розділом 2 122

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОЇ АДАПТАЦІЇ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ 124

3.1. Т ипова структура літакової сенсорної мережі 126

3.2. Архітектура літакових цільових мереж 128

3.3. Типи вузлів бездротової сенсорної мережі 130

3.4. Мережеві топології бездротової сенсорної мережі 131

3.5. Теоретичні та практичні напрямки досліджень в області

літаючих сенсорних мереж 132

3.6. Літакова сенсорна мережа як система масового обслуговування 135

3.7. Безпілотний літальний апарат як система масового обслуговування 136

3.8. Ройові БПЛА як мережа масового обслуговування 144

3.9. Натільні мережі в літаковій сенсорній мережі 149

3.10. Модель взаємодії в середині літакового сегмента в літаковій

сенсорній мережі 150

3.11. Модель літаковій сенсорної мережі для передачі даних на

великі відстані 154

3.12. Модель маршруту доставки пакетів даних в літаковій сенсорній

мережі 156

3.13. Алгоритм передачі функції маршрутизатора в літаковій

сенсорної мережі 162

3.14. Математична модель розрахунку необхідної кількості

маршрутизаторів в літаковій сенсорної мережі 165

3.15. Висновки за розділом 3 167

РОЗДІЛ 4. МЕТОДОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДАННЯ ЯКІСНИХ СЕРВІСІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ 5G 169

4.1. Методологія надання якісних сервісів ІоТ в мережі 5G 170

4.2. Рівні методології надання якісних сервісів ІоТ в мережі 5G 171

4.3. Загальна характеристика процесу надання якісних сервісів 172

4.4. Висновки за розділом 4 188

РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЬ ОБЛІКУ НАДАННЯ СЕРВІСІВ ІНЕРНЕТУ

РЕЧЕЙ В МЕРЕЖІ 5G 189

5.1. Процес білінгу 190

5.2. Білінгова система для ІР-телефонії 193

5.3. Алгоритм білінгової системи мережі 5G з наданням сервісів ІоТ 198

5.4. Тарифікація послуг в мережі 5G з наданням сервісів ІоТ 203

5.5. Висновки за розділом 5 204

РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ ТА МОДЕЛЕЙ 206

6.1. Моделювання процесів в мережі ІоТ 208

6.2. Моделі трафіку інтернету речей 214

6.3. Моделі трафіку на основі потоку запитів 217

6.3.1. Г ауссова модель трафіку 219

6.3.2. Модель ON/OFF (вмикання/вимикання) трафіку 230

6.3.3. Моделі трафіку IoT з обмеженим розподілом часових

інтервалів 235

6.4. Моделювання процесів в мережах стандарту 5G 237

6.5. Моделювання мультисервісного трафіку з пристроями Інтернету

речей в мережах стандарту 5G 239

6.6. Особливості обслуговування трафіку з пристроями

тактильного інтернету в мережах стандарту 5G 243

6.7. Висновки за розділом 6 244

ВИСНОВКИ 246

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 249

Додаток А. РІШЕННЯ СИСТЕМИ НЕОДНОРІДНИХ РІВНЯНЬ ДЛЯ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ 271

Додаток Б. ФРАГМЕНТИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІЛІНГОВОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТОРА ЗВ’ЯЗКУ ДЛЯ ОБЛІКУ ВИКОРИСТАННЯ ІОТ 273

Додаток В. ДОКУМЕНТИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТОІВ

ДИСЕРТ АЦИОННОЇ РОБОТЫ 276

Додаток Г. МОДЕЛЬ ВХІДНОГО ПОТОКУ ЗАПИТІВ ВІД КІНЦЕВИХ ІОТ -ПРИСТРОЇВ ДО МАРШРУТИЗАТОРА 281

Додаток Д. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНОГО ПОТОКУ ЗАПИТІВ ВІД КІНЦЕВИХ ІОТ -ПРИСТРОЇВ ДО МАРШРУТИЗАТОРА ЗА РОЗПОДІЛОМ ПУАССОНА 282

Додаток Е. МОДЕЛЬ ВХІДНОГО ПОТОКУ ЗАПИТІВ ВІД КІНЦЕВИХ ІОТ -ПРИСТРОЇВ ДО МАРШРУТИЗАТОРА ЗА РОЗПОДІЛОМ ПАРЕТО 287 Додаток Ж. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНОГО ПОТОКУ ЗАПИТІВ ВІД КІНЦЕВИХ ІОТ-ПРИСТРОЇВ ДО МАРШРУТИЗАТОРА ЗА РОЗПОДІЛОМ ПАРЕТО 289

Додаток З. МОДЕЛЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАПИТІВ В МЕРЕЖІ 5G 293 Додаток І. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАПИТІВ В МЕРЕЖІ 5G 297

Додаток К. МОДЕЛЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАПИТІВ ВІД ІОТ- ПРИСТРОЇВ В МЕРЕЖІ 5G 306

Додаток Л. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАПИТІВ ВІД ІОТ-ПРИСТРОЇВ В МЕРЕЖІ 5G 310

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 мобільної 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 таки 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 мобільної 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 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.

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 результаті 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 імовірнісно-часові характеристики процесу

передавання сповіщень від пристроїв Інтернету речей в мережах стандарту LTE/5G.

4. Для вирішення проблеми розроблення комплексної методики 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.