

АНОТАЦІЯ

Булич І. В. Методи побудови мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах надщільності та ультра малих затримок. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Роботу присвячено розробленню методу побудови мереж зв'язку п'ятого покоління. Проаналізовано і використано відомі методи теорії телетрафіка, теорії масового обслуговування, теорії оптимізації, імітаційного моделювання. Запропонований метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, розроблена методика кластеризації мережі зв'язку та методика вибору місця розташування і числа транзитних вузлів.

Ключові слова: Кластеризація, надщільність, ультра малі затримки, маршрутизація, технологія D2D.

ABSTRACT

Bulych I. V. Methods of building fifth generation communication networks in the conditions of ultra-tightness and ultra small delays. - Manuscript. Master's qualification work, Ternopil Ivan Puliuy National Technical University, Ternopil, 2019.

The work is devoted to the development of the method of building fifth generation communication networks. Known methods of teletraffic theory, queuing theory, optimization theory, simulation modeling are analyzed and used. The method of construction of the D2D network with the use of additional routers is proposed, the method of clustering of the communication network and the method of choosing the location and number of transit nodes are developed.

Keywords: Clustering, overdensity, ultra-small delays, routing, D2D technology.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 2030 РОКУ	15
1.1 Вступ.....	17
1.2 Інтернет Речей.....	17
1.2.1 Технології D2D.....	18
1.2.2 Ідентифікація пристроїв і контенту в умовах надщільних мереж.....	19
1.3 Тактильний Інтернет.....	26
1.4 Інтернет Навичок.....	26
1.5 Модельні мережі.....	28
1.6 Мережі зв'язку п'ятого покоління.....	31
1.7 Висновки до розділу 1.....	33
РОЗДІЛ 2 МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ ЯК ОСНОВА ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ.....	34
2.1 Основні характеристики мереж зв'язку п'ятого покоління.....	34
2.2 Затримка для тактильного Інтернету і децентралізація мережі.....	36
2.3 Багаторівнева система хмарних обчислень для надання послуг тактильного Інтернету.....	36
2.4 Кластеризація мережі при наданні послуг тактильного Інтернету.....	38
2.5 Мережі зв'язку 2030.....	44
2.5.1 Основні фундаментальні зміни в розвитку мереж зв'язку в даний час.....	45
2.5.2 Перспективні технології для мереж зв'язку 2030.....	47
2.5.3 Нові технології для мереж зв'язку 2030.....	50
2.6 Висновки до розділу 2.....	51

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАФІКУ ДЛЯ НАДЩІЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИСТРІЙ-ПРИСТРІЙ D2D.....	53
3.1 Основні характеристики технології D2D.....	53
3.2 Щільність і активність терміналів.....	56
3.3 Модель каналу.....	58
3.4 Результати імітаційного моделювання.....	62
3.5 Маршрутизація трафіку в мережі бездротового зв'язку, побудованої із застосуванням D2D технологій.....	65
3.5.1 Формулювання завдання.....	66
3.5.2 Модель маршруту.....	68
3.5.3 Комплексний метод вибору маршруту.....	71
3.6 Висновки до розділу 3.....	80
РОЗДІЛ 4 МЕТОД ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ D2D З ВИКОРИСТАННЯМ ДОДАТКОВИХ МАРШРУТИЗАТОРІВ.....	82
4.1 Позасмугова кластеризація.....	82
4.2 Кооперативні мережі.....	83
4.3 Модель мережі.....	86
4.4 Вибір місця Розташування для розміщення транзитних вузлів.....	87
4.5 Висновки до розділу 4.....	98
РОЗДІЛ 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	100
5.1 Програмний засіб Mathcad.....	100
5.2 Використання програми MathCAD для наукового дослідження...	104
5.3 Висновки по розділу 5.....	105
РОЗДІЛ 6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	106
6.1. Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості.....	106
6.2. Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні	

заходи.....	108
6.3. Розрахунок витрат на електроенергію.....	112
6.4 Розрахунок витрат на матеріали.....	112
6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань.....	113
6.6 Обчислення накладних витрат.....	114
6.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідних робіт.....	114
6.8 Розрахунок ціни науково-дослідних робіт.....	115
6.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	116
6.10 Висновки по розділу 6.....	117
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	118
7.1 Охорона праці.....	118
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	124
7.3 Висновки по розділу 7.....	130
РОЗДІЛ 8 ЕКОЛОГІЯ.....	131
8.1 Електромагнітне забруднення та вплив його на довкілля та здоров'я людини.	131
8.2 Аналіз впливу мережі 5G на довкілля та людину.....	134
8.3 Висновки по розділу 8.....	135
ВИСНОВКИ.....	136
БІБЛІОГРАФІЯ.....	138
ДОДАТКИ.....	149

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Іноземні скорочення

5G – 5-е покоління мобільних мереж або 5-го покоління бездротових систем

IoT (Internet of Things, IoT) – Інтернет речей.

Wi-Fi (Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi) — Бездротова точність.

LTE (Long Term Evolution) — назва мобільного протоколу передачі даних; проект 3GPP, стандарт з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості.

D2D (Device- to-Device) — пристрій- пристрій.

SDN (Software Defined Networks) — програмно-комутовані мережі.

NFV (Network Functions Virtualization) — віртуалізація зв'язку із мережею.

MEC (Mobile Edge Computing) — мобільні граничні обчислення.

NGN (Next Generation Networks) — мережі зв'язку наступного покоління.

VoIP — технологія передачі медіа-даних у реальному часі за допомогою сімейства протоколів TCP/IP.

DOA (Digital Object Architecture) — Архітектура Цифрових Об'єктів.

GRI (Global Registry of Identifiers) — Глобальний Регістр Ідентифікаторів

LRI (Local Registry of Identifiers) — Локальні Регістри Ідентифікаторів.

Українські скорочення

МСЕ – Міжнародний союз електрозв'язку.

АТС — Автоматична телефонна станція.

ВСТУП

Актуальність теми. Друге десятиліття 21 століття ознаменувалося створенням концепції розвитку мереж зв'язку і розробкою стандартів для мереж зв'язку п'ятого покоління. Це не тільки змінило погляд на розвиток мереж зв'язку в цілому, але і привело до появи цілого ряду нових напрямків в науково-дослідній роботі в галузі систем, мереж і вимушено простих телекомунікацій. Викликано це було, перш за все, появою концепцій надщільних мереж і мереж з ультра малими затримками.

В основі появи концепції надщільних мереж лежить Інтернет Речей. Дійсно, відповідно до прогнозів відомого фахівця в області мереж і систем зв'язку Ж.-Б.Вальднера граничне число інтернет речей становить 30-50 трильйонів. 3GPP вже зараз радить планувати мережі зв'язку п'ятого покоління виходячи з 1млн пристроїв на 1кв.км. Природно, що це вимагає перегляду методів побудови мереж зв'язку при впровадженні мереж п'ятого покоління. Це можливо тільки за умови впровадження нових технологій, однією з найефективніших з яких в умовах впровадження надщільних мереж є технології взаємодії пристрій-пристрій D2D (Device-to-Device). Технології D2D дозволяють як розвантажити ядро мережі шляхом замикання значної частки трафіку безпосередньо між пристроями, так і зменшити кругову затримку при наданні послуг мережі. В області технологій D2D існує досить велика кількість робіт, в тому числі роботи за технологією D2D з мережевою підтримкою. Однак плановане широке її поширення ставить питання не тільки про взаємодію D2D як таких, скільки проблему створення D2D мереж. В цьому напрямку наукових досліджень поки явно недостатньо, а проблеми маршрутизації в D2D мережах ще не вивчені.

Що ж стосується мереж зв'язку з ультра малими затримками, в основі появи яких лежить концепція тактильного Інтернету, то їх вплив на методи побудови мереж зв'язку має ще більше значення. Вимога по круговій затримці в 1мс (в сто разів менше, ніж вимоги по передачі мови) змушує задуматися про децентралізацію мережі і її ресурсів. Нові технології програмно-комутованих мереж SDN (Software

Defined Networks), віртуалізації втратити зв'язок із мережею NFV (Network Functions Virtualization), мобільних граничних обчислень MEC (Mobile Edge Computing) допомагають в ряді випадків досягти необхідної величини. Однак проблема стоїть набагато ширше, а саме: слід вивчити неминучу кластеризацію мережі з урахуванням джерел генерації трафіку на різних і зрозуміти не тільки процеси децентралізації мережі, а й передумови до децентралізації економіки в цілому.

Ступінь розробленості теми. Як вже зазначалося вище, в області Інтернету Речей і мереж зв'язку п'ятого покоління існує досить багато робіт зарубіжних вчених, В.М. Вишневського, Б.С. Гольдштейна, В.А.Ефімушкіна, В.Г. Карташевського, А.Е. Кучерявого, А.І. Парамонова, К.Є. Самуйлова, М.А. Сіверса, С.Н.Степанова, А.В. Рослякова, А.Е. Рижкова, В.О. Тихвинського, С.Д. Андрєєва, Р.В.Кірічка, Е.А. Кучерявого, А.С.А. Мутханни, АААteya, J. Andrews, J. Araniti, M. Dohler, N. Himayat, F. Baccelli, S. Rangan, T. Rappoport, S. Singh і інших.

Зазначені вище роботи внесли вирішальний внесок у дослідження гетерогенних мереж. Були також ретельно вивчені проблеми вивантаження трафіку і взаємодій D2D з мережевою підтримкою. Однак проблем побудови мереж зв'язку п'ятого покоління з урахуванням майбутнього впровадження мереж з ультра малими затримками і децентралізації мережі до сих пір не було приділено достатньої уваги. D2D взаємодії виявилися настільки ефективною технологією, що стає доцільним досліджувати D2D мережі, побудовані на основі цих взаємодій. Останнє, природно, вимагає розробки відповідних методів маршрутизації в мережах D2D, особливо з урахуванням властивості надщільності мереж зв'язку п'ятого покоління. Все це разом узятє і визначає мету, завдання, об'єкт і предмет магістерської роботи.

Об'єкт і предмет магістерської роботи. Об'єктом дослідження є мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, а предметом дослідження - методи побудови цих мереж.

Мета і завдання магістерської роботи. Метою магістерської роботи є розробка і дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G в умовах надщільної структури і ультра малих затримок.

Для досягнення поставленої мети в роботі послідовно вирішуються наступні завдання:

- аналіз концепцій розвитку мереж зв'язку на середньострокову і довгострокову до 2030 року перспективи,
- розробка та дослідження кластерної побудови мереж зв'язку в умовах ультра малих затримок,
- розробка моделі мережі зв'язку 2030 року на основі особливостей побудови мереж зв'язку з ультра малими затримками,
- Розробка та дослідження методу маршрутизації трафіку для надщільних мереж на основі технології взаємодії пристрій-пристрій D2D,
- розробка методу побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що представляють собою широко використовуються термінали мереж зв'язку,
- розробка методу вибору місця розташування і числа додаткових маршрутизаторів на основі модифікованого алгоритму FOREL.

Наукова новизна. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Розроблено методику кластеризації мережі зв'язку, що відрізняється тим, що кластеризація здійснюється в умовах надання послуг мереж з ультра малими затримками, що призводить як до децентралізації мережі, так і створює передумови для децентралізації економіки в цілому.

- Розроблено модель мережі зв'язку 2030 року, що відрізняється від відомих уявлень тим, що в основі побудови такої мережі лежать мережі зв'язку з ультра малими затримками.

- Запропоновано метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, що відрізняється від відомих тим, що вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимуму пропускної здатності і мінімуму числа транзитів.

- Запропоновано метод побудови мережі D2D з використанням додаткових

маршрутизаторів, що відрізняється тим, що додаткові маршрутизатори є широко використовуваними терміналами мереж зв'язку.

- Розроблено методику вибору місця розташування і числа транзитних вузлів, що відрізняється від відомих тим, що застосовується модифікований алгоритм FOREL, для якого в якості метрики використовується значення величини відношення сигнал / шум плюс перешкоди SINR.

Теоретична і практична значущість магістерської роботи. Теоретична значимість магістерської роботи полягає, перш за все, в обґрунтуванні майбутньої децентралізації мережі і економіки в зв'язку з появою мереж зв'язку з ультра малими затримками. Крім того, розроблений метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, коли вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимуму пропускної здатності і мінімуму числа транзитів. Розроблено також метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, при цьому додаткові маршрутизатори є широко використовуваними терміналами мереж зв'язку, а вибір їх місця розташування і числа здійснюється на основі модифікованого алгоритму FOREL з використанням в якості метрики значення SINR.

Практична значимість магістерської роботи полягає в створенні науково-обґрунтованих рекомендацій з планування мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження надщільних структур і ультра малих затримок.

Методологія і методи дослідження. Для вирішення поставлених в магістерській роботі завдань використовувалися методи теорії телетрафіка, теорії масового обслуговування, теорії оптимізації, імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання виконувалося за допомогою пакета Matchcad.

Основні положення, що виносяться на захист:

- Методика кластеризації мережі зв'язку в умовах надання послуг мереж з ультра малими затримками, що визначає подальший розвиток мереж.
- Метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління при

використанні технологій D2D, при застосуванні якого вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимуму пропускної здатності і мінімуму числа транзитів, що дає можливість знайти компроміс між довжиною маршруту (числом транзитів) і якістю маршруту (пропускною спроможністю).

- Метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що представляють собою широко використовуються термінали мереж зв'язку, і методика вибору місця розташування і числа транзитних вузлів на основі модифікованого алгоритму FOREL, для якого в якості метрики використовується значення величини відношення сигнал / шум плюс перешкоди SINR, що дозволяє збільшити пропускну здатність мережі D2D як мінімум на 10-20%.

Ступінь достовірності та апробація результатів. Достовірність основних результатів в магістерській роботі підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, результатами імітаційного моделювання з використанням пакетів Mathcad, обговоренням результатів магістерської роботи на конференціях і семінарах, публікацією основних результатів магістерській роботі в провідних рецензованих журналах.

Публікації за темою магістерської роботи. За темою магістерській роботі опубліковано 2 наукових роботи, з них, 1 стаття у рецензованих наукових журналах, 2 в інших міжнародних виданнях та матеріалах наукових конференцій.

Особистий внесок автора. Основні результати магістерської роботи отримані автором самостійно.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 2030 РОКУ

1.1 Вступ

До теперішнього часу мережі зв'язку загального користування пройшли кілька етапів розвитку. Майже все 20 століття мережі зв'язку при своєму побудові базувалися на принципах комутації каналів. При цьому до 1980 року мережі були аналоговими, а в якості систем комутації, в основному, використовувалися координатні АТС. Мережа була практично гомогенною і призначеної, в першу чергу, для передачі мови. Частка інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у внутрішньому валовому продукті (ВВП) не перевищувала 1-2% і роль мережі в розвитку суспільства в цілому була досить обмеженою. В середині 1980-х років почалося широкомасштабне впровадження цифрових АТС [23,24,36], що дозволило істотно поліпшити якість передачі мови, але з точки зору мережі зв'язку як такої принципово нічого не змінило. Мережа зв'язку залишилася як і раніше гомогенною.

Перші істотні зміни в області мереж зв'язку загального користування [6,7,8] і їх ролі в суспільному розвитку відбулися в умовах зміни принципів комутації, при переході від мереж з комутацією каналів до мереж з комутацією пакетів [34,40]. Поява порівнянних по числу користувачів з всесвітньою мережею телефонного зв'язку (ТМЗК) стільникових мереж рухомого зв'язку та мережі Інтернет в середині 90-х років минулого століття поставило питання про спільне використання ресурсів усіх цих служб в основі теорії конвергенції [35]. При цьому необхідністю стала передача мови, даних і відео однаковим способом, що ефективно могло бути вирішено тільки на основі комутації пакетів. Для мереж зв'язку загального користування цей напрям розвитку отримало назву мереж зв'язку наступного покоління NGN (Next Generation Networks) [25,34,35], а в суспільному розвитку з'явилася можливість створення електронного суспільства і частка ІКТ в ВВП

перевищила 5%. Проте, не дивлячись на технологічні можливості по передачі мови поверх IP частка трафіку VoIP у 2000 році становило всього 3%, що призвело до парадоксальних результатів: розроблені в 1999 році системи стільникового зв'язку третього покоління були побудовані на принципах комутації каналів.

Початок 21 століття ознаменувався новим технологічним явищем для мереж зв'язку: конверсія в області сенсорних пристроїв привела до можливості їх використання в цивільній сфері, а також і масовими користувачами. Розпочалися широкомасштабні дослідження з подальшим широким застосуванням бездротових сенсорних мереж [30,31,37,38], що породило досить швидко концепцію Інтернету Речей [39] і масштабне застосування на мережах зв'язку самоорганізованих структур [30].

1.2 Інтернет Речей

Концепція Інтернету Речей як основа для розгортання подальших науково-дослідних робіт з'явилася в рамках досліджень Сектора стандартизації Міжнародного Союзу Електрозв'язку (МСЕ-Т) в 2010 році при початку робіт над рекомендацією Y.2060. У цій рекомендації було дано системне визначення речей з точки зору мереж зв'язку, наведені вимоги високого рівня до Інтернету Речей, розроблена еталонна модель Інтернету Речей як невід'ємної частини мереж зв'язку 21 століття.

Під речами у даній концепції маються на увазі об'єкти фізичного світу (фізичні речі) або інформаційного світу (віртуальні речі), які можна ідентифікувати і інтегрувати в мережі зв'язку. Як бачимо, фактично для визнання інтернет річчю необхідно тільки дві умови: адресація (Природно, що вже IPv6) і інтерфейс з мережею зв'язку для можливості інтеграції в її склад.

Принциповим в цьому визначенні є те, що речі можуть бути не тільки фізичні, але і віртуальні, тобто контент, який можна ідентифікувати в мережі, і має інтерфейс з мережею теж є інтернет річчю.

Концепція Інтернету Речей пред'являє ряд вимог до мереж зв'язку, які можуть

бути узагальнені наступним чином:

- будь-яка річ повинна мати можливість бути пов'язаною з глобальною інфокомунікаційною структурою;
- мережі Інтернету Речей повинні бути здатні забезпечити річ які належать їй послугами без обмежень, таких як, наприклад, конфіденційність і семантика між фізичними і віртуальними речами. При цьому всі ці можливості повинні бути забезпечені як для речей фізичного, так і віртуального світу;
- пристрої інтернету речей можуть бути гетерогенними, побудованими на різних апаратних, програмних платформах і мережах. Вони повинні мати можливість взаємодіяти з іншими пристроями або платформами послуг через різні мережі;
- статус речей може змінюватися динамічно, наприклад, від сплячих до активних, від пов'язаних з мережею до непов'язаним і навпаки, і т.д. Число речей, місце розташування, швидкість і т.п. також можуть змінюватися динамічно. Все разом це призводить до того, що для реалізації концепції Інтернету Речей потрібна наявність самоорганізованих мереж.

Найважливішим при впровадженні концепції Інтернету Речей є їх число. Відповідно до прогнозів відомого футуролога в області інформаційно-комунікаційних технологій Ж.-Б. Вальднера [104] граничне число речей, підключених до мережі зв'язку, може скласти від 30 до 50 трильйонів. Для нашого дослідження в подальшому важливо те, що в трильйонній мережі принципово змінюється щільність пристроїв. Так, відповідно до вимог 3GPP, число пристроїв в мережах зв'язку п'ятого покоління може становити до 1 млн пристроїв на 1 кв.км.

Такі мережі отримали назву надщільних мереж і багато в чому саме такі мережі визначають ряд ключових характеристик мереж зв'язку п'ятого покоління. Для раціонального розподілу ресурсів в надщільних мережах [43,76,83,94] в даний час передбачається широко використовувати технології взаємодії пристрій-пристрій D2D (Device-to-Device) [3,9,69,70,96], дослідження яких є однією з найважливіших завдань цієї магістерської роботи.

1.2.1 Технології D2D

Технології взаємодії пристрій-пристрій D2D засновані на добре відомому раніше в мережах WiFi взаємодії без участі базової станції (так званий режим IBSS - Independent Base Station). Дійсно, коли в кінці 90-х років минулого століття з'явилися стандарти сімейства IEEE 802.11 основне завдання, яке вони повинні були вирішити, полягала в можливості забезпечення бездротового взаємодії комп'ютерів на конференціях, семінарах, в громадських місцях, в лікарнях за відсутності базових станцій. Взаємодії D2D також призначені в тому числі і для взаємодії без участі базових станцій, але переслідують при цьому мету зовсім іншу. Якщо при впровадженні стандартів сімейства IEEE 802.11 існував дефіцит базових станцій і було досить затратно використовувати їх для кожного конкретного випадку, то при впровадженні надщільних мереж з дуже великим числом пристроїв метою впровадження взаємодій D2D є розвантаження ядра мережі. Звичайно, є і побічний позитивний ефект в забезпеченні ультра малої кругової затримки і досягненні необхідних характеристик якості обслуговування і якості сприйняття завдяки малим відстаням між терміналами, але початкова ідея таких взаємодій полягала саме в розвантаженні ядра мережі.

Подальше широке впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління і зазначені вище переважні характеристики взаємодій D2D сприятимуть широкому впровадженню цих технологій, що природним чином ставить питання про доцільність створення мереж D2D. Це питання до теперішнього часу практично не вивчене і, тому, буде одним з основних в магістерській роботі. Так, звичайно, була досить велика кількість науково-дослідних робіт в галузі використання технологій D2D в мережах зв'язку п'ятого покоління, в тому числі розглядалися питання використання взаємодій D2D з мережевою підтримкою, але самі мережі D2D, а тим більше питання маршрутизації в цих мережах до справжнього часу не вивчені.

1.2.2 Ідентифікація пристроїв і контенту в умовах надщільних мереж

Число пристроїв в надщільних мережах дуже велике. Згадуючи прогноз Ж. Б.Вальднера, стає зрозумілим, що мова йде про трильйони пристроїв [104]. Природно, що існуючі методи ідентифікації на основі системи IMEI, що функціонують для мереж з кількома мільярдами пристроїв можуть виявитися

непридатними для трильйонних мереж. Тому, аналізуючи проблеми побудови мереж зв'язку п'ятого покоління не можна не брати до уваги і питання ідентифікації пристроїв в надщільних мережах. Ідентифікація пристроїв в мережах зв'язку має дуже важливе значення, особливо в умовах надщільних мереж, коли контрафактних пристроїв і вони надають контенту може бути дуже багато, в першу чергу за рахунок надзвичайно великої кількості самих пристроїв в таких мережах.

Відповідно до технічного доповіддю МСЕ-Т по боротьбі з контрафактною ІКТ продукцією, в світі є велика кількість можливостей для боротьби з контрафактною продукцією. Більшість з них засновані на специфічних і / або індустріальних технологіях і не можуть бути використані в інших випадках.

Більш того, покупець повинен бути знайомий з ідентифікаторами, які використовуються для боротьби з контрафактною продукцією.

Все вище сказане показує, що існує велика кількість систем, що використовуються для боротьби з контрафактною продукцією, які іноді не невідомі і не приносять користі з точки зору користувача.

Однак, існує і ряд хороших прикладів, коли такі системи використовуються покупцем на постійній основі. Беручи до уваги прискорене зростання чисельності Інтернету Речей у всіх областях індустрії [11], цілком обґрунтованим є те, що в недалекому майбутньому всі речі стануть Інтернет Речами. Тому, IoT може розглядатися як один з ефективних інструментаріїв, який може бути використаний для боротьби з контрафактом.

Крім того, спільне технічне рішення, засноване на IoT і DOA (Digital Object Architecture - Архітектура Цифрових Об'єктів) може розглядатися як ефективний технічний ланцюжок для боротьби з контрафактом. Додатки рішення DOA-IoT не обмежуються ІКТ продукцією і можуть бути ефективно використовуватися і в інших галузях (таких, як фармацевтична промисловість, автомобільна, авіабудування і т.д.).

Запропоноване рішення по ідентифікації пристроїв в надщільних мережах, іменоване як DOA-IoT розглядається далі [12,14].

Принципи ідентифікації пристроїв базуються на розміщенні та додатку

конкретного IoT модуля до конкретного продукту (не обов'язково ІКТ продукту). З цією метою кожен продукт асоціюється з IoT модулем, який може забезпечити користувачеві доступ до профілю продукту, який містить детальну інформацію про цей продукт. IoT модуль являє собою шлюз між покупцем і продуктом. Відповідно, універсальний Ідентифікатор Продуктів призначається продукту, який містить, принаймні, один IoT модуль.

В основному, Універсальна Ідентифікаційна Система відповідає таким вимогам:

- Незалежність по відношенню до продукту / технології і надання можливості ідентифікувати послуги, процеси і об'єкти.
- Можливість підтримки різних видів інформації про продукт, які зрозумілі для покупця (наприклад, модель / розміри, зображення, логотип і т.д.).
- Захист від злому, що забезпечує високий рівень безпеки доступу до профілю продукту, що використовує IoT модуль.

Розглянемо для початку використання апаратних ідентифікаторів. Відповідно до зазначених вище вимог, IoT модуль забезпечує відповідний механізм для гарантій по високому рівню безпеки. При цьому, IoT модуль базується, по крайній мірі, на одному з наступних інтерфейсів:

- провідний
- IEEE 802.3
- бездротові
- GPRS / EDG / 3G
- LTE
- RFID
- NFC (QR код)
- IEEE 802.11
- IEEE 802.15.1
- IEEE 802.15.4
- IEEE 802.15.6
- IEEE 802.16

Кожна із зазначених технологій має свої технічні особливості (наприклад, девіація струму колектора, потужність передавача і т.д.), які є унікальними для цієї технології і не можуть бути дубльовані. Ці особливості будуть використані для створення механізмів / систем ідентифікації специфічних для технології. Відповідні параметри IoT модуля називаються "апаратні ідентифікатори" і можуть бути записані для IoT "Електронний цифровий паспорт" модуля IoT.

Користувач може отримати доступ до IoT інтерфейсу, використовуючи відповідні технічні рішення, які співвідносяться з однією із зазначених технологій. Ці рішення також, як опису апаратних ідентифікаторів і "Електронних цифрових паспортів", повинні бути предметом окремої ІТУ-Т рекомендації.

Універсальний Ідентифікатор Продуктів, який використовується для боротьби з контрафактною продукцією, включає наступні дані:

- IoT модуль ID (апаратний ідентифікатор);
- Вид об'єкту (продукту);
- Дата реєстрації в базі даних;
- Основна інформація про продукт:
- Найменування виробника;
- Дата випуску;
- Характеристики продукту (наприклад, модель, зображення, логотип і т.д.)
- Визнання / сертифікат;
- набір стандартів, яким відповідає продукт;
- Дата видачі сертифіката;
- Лабораторія сертифікації / Орган сертифікації;
- Дата закінчення терміну служби.

Структура Універсального Ідентифікатора Продуктів приведена на рис.1.1.

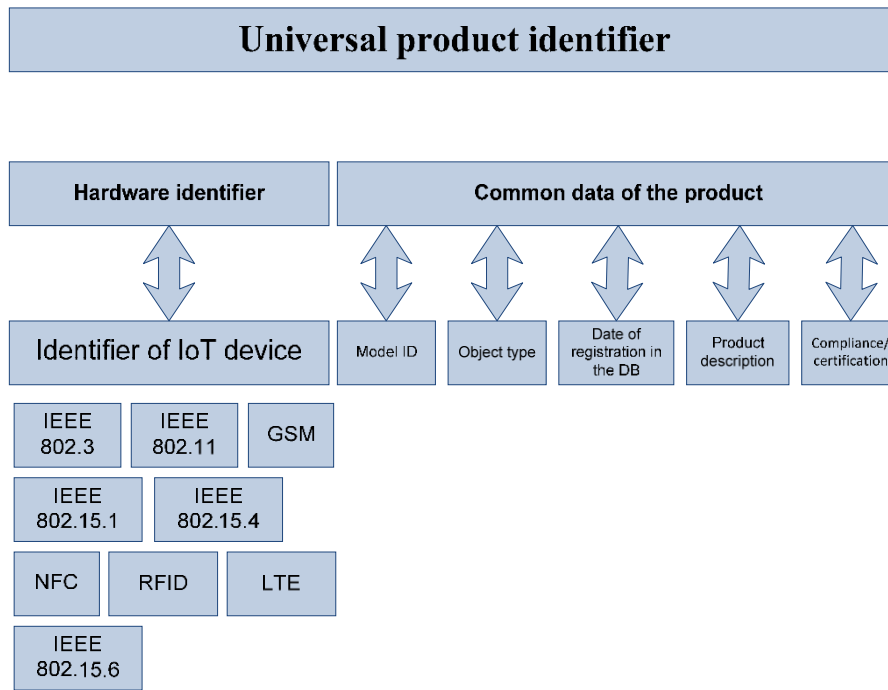


Рисунок 1.1 - Структура Універсального Ідентифікатора Продуктів, основанийого на IoT модулях

При використанні концепції DOA формат Універсального Ідентифікатора Продуктів виглядає наступним чином:

Префікс / Суфікс,

де "Префікс" визначає місце розташування зареєстрованого домену (Країна / регіон),

"Суфікс" визначає відповідну інформацію про продукт.

Існує два види процедури для верифікації Універсального ідентифікатора Продуктів:

Опція 1 Покупець може перевірити ідентифікацію продукту, використовуючи незалежні технічні рішення (наприклад, скануючи бар код за допомогою мобільного телефону, отримати код від RFID і т.д.);

Опція 2 Покупець може перевірити ідентифікацію продукту, використовуючи власні можливості цього продукту (наприклад, мобільного телефону, планшета, персонального комп'ютера, автомобільних підсистем і т.д.).

Використання цих опцій показано на рис.1.2 і рис.1.3 відповідно.

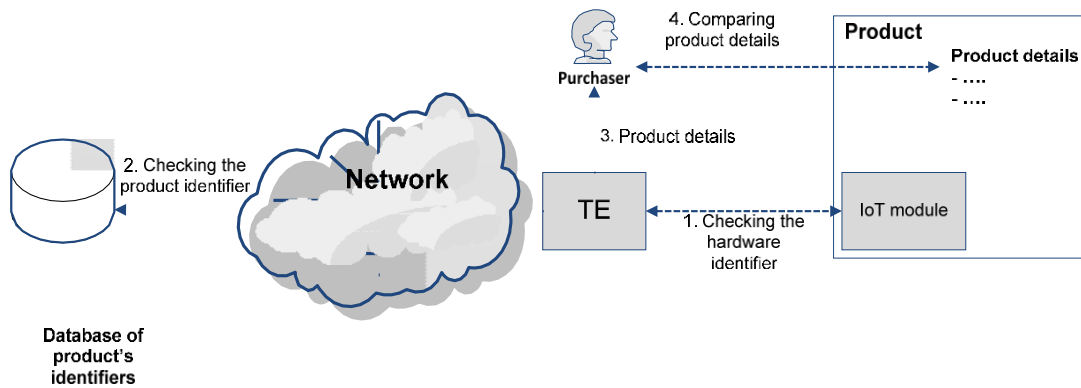


Рисунок 1.2 - Верифікація ідентифікаторів продукту з використанням незалежних технічних рішень (Опція 1)

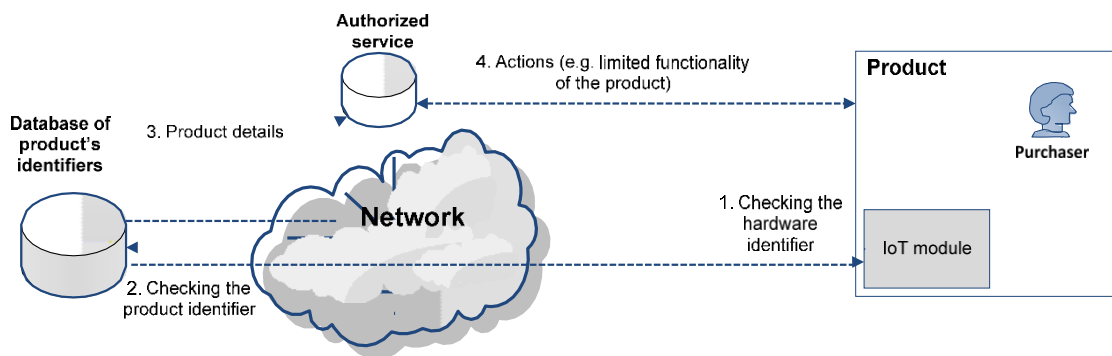


Рисунок 1.3 - Верифікація ідентифікаторів продукту з використанням його власних можливостей (Опція 2)

Запропонована ідентифікаційна система має розподілену клієнт-серверну архітектуру з централізованою базою даних ідентифікаторів продуктів (Product's Identifier Database - PID). PID ґрунтується на концепції DOA, архітектура якої включає два рівня: Глобальний Регістр Ідентифікаторів (Global Registry of Identifiers - GRI) і Локальні Регістри Ідентифікаторів (Local Registry of Identifiers - LRI).

Відповідно до концепції DOA реєстр GRI використовується для управління доменами ідентифікаторів, в той час як LRI використовується для ідентифікації

власника об'єкта.

Для проблем контрафакту домени GRI повинні містити ідентифікатори виробників, в той час як реєстри LRI повинні містити ідентифікатор конкретних постачальників. Взаємини між цими ідентифікаторами показані на рис.1.4

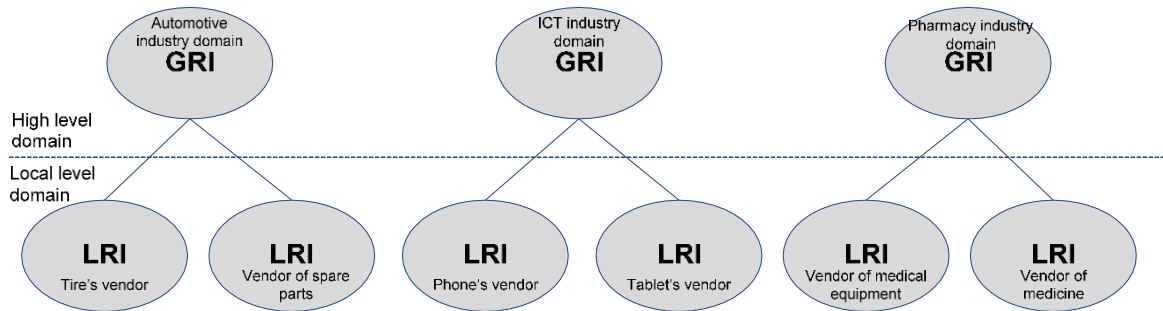


Рисунок 1.4 - Взаємовідношення між ідентифікаторами в глобальній системі ідентифікації, що використовуються для боротьби з контрафактною продукцією

GRI можуть бути розташовані в країнах або регіонах, в той час як LRI розташовуються на стороні постачальників. Дані реєстрів LRI повинні відображатися у відповідному реєстрі GRI. Реєстр GRI повинен забезпечувати даними, включаючи дані реєстрів LRI, відповідно до запитів, які отримуються від PID.

В цілому, PID збирає всю інформацію від всіх реєстрів GRI (наприклад, про власників, місцезнаходження і т.д.), яка використовується для боротьби з контрафактною продукцією, і передається за запитами до відповідних реєстри GRI, які містять запитувані дані.

PID може бути доступний покупцеві продуктів з використанням будь-якого з сучасних технічних засобів (наприклад, мобільного телефону, персонального комп'ютера, планшета і т.д.). Архітектура системи ідентифікації показана на рис.1.5.

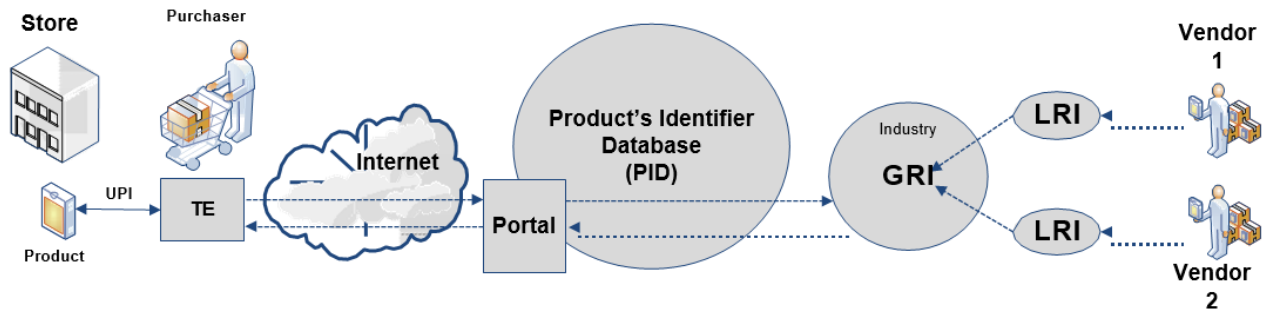


Рисунок 1.5 - Архітектура ІКТ системи ідентифікує, допомагає в боротьбі з контрафактною продукцією.

1.3 Тактильний Інтернет

Історично трохи пізніше концепції Інтернету Речей з'явилася концепція тактильної Інтернету [1,21,33,65,66,71,72,74,89]. І якщо перша принципово змінила чисельні характеристики клієнтської бази операторів зв'язку, то друга в 100 раз посилила вимоги щодо затримки при наданні послуг зв'язку. До появи концепції тактильного Інтернету найбільш чутливими до затримки вважалися послуги з передачі мови і відео. При цьому для надання таких послуг з високою якістю прийнятною вважалася затримка величиною в 100мс.

Концепція тактильного Інтернету передбачає можливість передачі по мережі зв'язку тактильних відчуттів. При цьому вимоги по круговій затримки визначені в документах МСЕ-Т як 1мс. З урахуванням інших вимог МСЕ-Т по затримці внаслідок обмежень по швидкості поширення світла в 5мкс на 1км [100] стає очевидним, що послуги тактильного Інтернету з необхідною якістю можуть бути надані на дуже обмеженій території.

Такі мережі отримали назву мереж зв'язку з ультра малими затримками [32,33] і багато в чому визначають архітектуру і принципи побудови не тільки мереж зв'язку п'ятого покоління, а й перспективних мереж 2030 року.

Проблеми, завдання та їх можливі рішення досить докладно викладені у другому розділі магістерської роботи, тому деталізувати їх далі в цьому підрозділі не будемо.

1.4 Інтернет Навичок

Термін Internet of Skills (Інтернет Навичок) був введений M.Dohler для спільного використання роботів, Штучного Інтелекту, мереж зв'язку п'ятого покоління і тактильного Інтернету в [78]. Звідси випливає, що додатки Інтернету Навичок можуть бути найрізноманітнішими [82]. Мало того, на сьогоднішній день передбачається, що Інтернет Навичок може запропонувати користувачеві істотно більш привабливі послуги, ніж існуючий контент. В якості додатків Інтернету Навичок можуть бути охорона здоров'я, мистецтво, освіту, в тому числі не обов'язково тільки вища, зоологія, спорт. Абсолютно новими додатками можуть бути, наприклад, такі додатки як передача музичних навичок. Оскільки навички визначають можливу поведінку і людей, і тварин, і роботів можна говорити про те, що Інтернет Навичок володіє всепроникливими (Ubiquitous) властивостями. Тому, в доступному для огляду майбутньому слід вважати, що впровадження програм Інтернету Навичок принципово вплине на мережу зв'язку. Останнє вимагає вже сьогодні враховувати моделі додатків Інтернету Навичок.

Для підтвердження актуальності і існування науково-дослідних завдань в області мереж і систем зв'язку для впровадження концепції Інтернету Навичок на модельній мережі кафедри мереж зв'язку і передачі даних були проведені експериментальні дослідження, де в якості кінцевих пристроїв використовувалися створені на кафедрі тактильна рукавичка і роботизована рука [7]. Тактильна рукавичка перетворювала рух окремих фаланг пальців кисті руки в цифровий вигляд і відправляє дані на сервер. У тактильної рукавичці використовуються датчики вигину Flex sensors, які при зміні кута вигину пальців змінюють опір. Ці датчики з'єднані до з платформою Arduino Uno, яка і перетворює рух кисті руки в цифровий вигляд.

Потім за результатами оцифровки даних створюється образ для кожного окремого експерименту, який по модельній мережі транслюється на сервер, на якому здійснюється навчання відповідної нейронної мережі. В результаті експериментальних досліджень встановлено адекватне відтворення рухів руки в

рукавичці роботизованою рукою при передачі інформації.. Рух роботизованої руки забезпечується сервомоторами: кисть і окремі фаланги пальців керувалися за допомогою сервоприводів, які змінюють натяг ниток при отриманні певних керуючих команд від контролера, тим самим змінюючи положення фаланг.

При всій привабливості цього експериментального дослідження одночасно в ньому може брати участь обмежене число дослідників. Для істотного розширення кола учасників експериментальних досліджень замість тактильної рукавички використовували камеру доповненої реальності Intel Real Sense. В експериментальних дослідженнях брали участь 20 осіб різної статі і різного віку. Кожному випробувачеві пропонувалося показати на міжнародній мові жестів (на основі типових демонстраційних матеріалів) ряд із заданих слів. Оскільки для кожної людини специфіка жестикуляції суто індивідуальна, кожен випробувач демонстрував жести по-своєму. При цьому можна було навчити нейтронну мережу усередненому навичку.

В ході накопичення досвіду навичок для наступних поколінь не менший інтерес представляє відтворення дій, які виконували інші люди або їхні предки. Це, як уже зазначалося вище, дозволить передавати найкращу практику навичок через покоління. Навички можуть бути накопичені як індивідуальні (наприклад, видатні робочі, інженери, вчені, діячі культури), так і усереднені по кожній із професій.

У проведеному експерименті в результаті усереднення даних від досить великого числа людей на базі нейронної мережі було сформовано типовий образ для окремих символів, які можуть бути відтворені за допомогою актуаторов. Як актуатора використовувалася та ж роботизована рука, що і раніше, що приводиться в рух за допомогою сервоприводів. Зрозуміло, точність відтворення багато в чому залежить від складності виконання конкретної роботизованої руки. При цьому можна відзначити, що з кожним днем роботизовані системи стають все більш досконалими і більш точно відтворюють людські рухи.

В результаті передачі образу (зберігається в базі даних нейронної мережі) на виконавчий контролер здійснювалося перетворення цього образу в керуючі команди для сервоприводів, які пропорційно повертали шестерні і міняли натяг

ниток. При цьому роботизована рука відтворювала образ з допустимою точністю. В результаті суб'єктивної оцінки відтворюваних образів була зафіксована висока точність демонстрації.

Подібні конструкції в свою чергу можна використовувати в охороні здоров'я, медицині і т.п., так як вони є безпечними для людини. Також дана конструкція може послужити відмінним тренажером для тих, хто хотів би поліпшити свої навички.

За результатами експериментальних досліджень можна зробити попередні висновки про те, що непомітною для людського ока є затримка до 100 мс. Починаючи від 100 мс до 150 мс, затримка визначається як незначна, тобто у користувача не виникає незадовільного відчуття сприйняття. При затримці над 170 мс різниця між рухом пальців кисті і дублюючим рухом роботизованої руки вже помітно сприймається.

Проведені експериментальні роботи дозволили переконатися в тому, що Інтернет Навичок вимагає постановки масштабних науково-дослідних робіт як перспективний напрямок розвитку в області надання послуг перспективними мережами зв'язку та, в першу чергу, мережами зв'язку п'ятого покоління.

1.5 Модельні мережі

В якості експериментального інструментарію для вивчення характеристик мереж і систем зв'язку добре зарекомендували себе модельні мережі [16,87]. Ця методологія адекватно себе показала і при експериментальних дослідженнях Інтернету речей [84,85]. В даний час на кафедрі мереж зв'язку і передачі даних створена модельна мережу для дослідження тактильного Інтернету. Ця мережа стала основою для підготовки рекомендації МСЕ-Т за структурою модельної мережі для верифікації та тестування системно-мережових рішень при впровадженні тактильного Інтернету.

Однією з головних задач, які необхідно вирішити, перш ніж можна буде використовувати послуги тактильного Інтернету, є поглиблене дослідження

відповідності інфраструктури необхідним вимогам. Пропонуючи послуги тактильного Інтернету, необхідно враховувати ту обставину, що кругова затримка не повинна перевищувати 1мс. У зв'язку з великою складністю мереж зв'язку з ультра малими затримками і відсутністю на сьогоднішній день відповідних моделей і методів аналітичного моделювання раціональним рішенням буде проведення досліджень на модельній мережі, в ході якого можна оцінити різні варіанти взаємодії основних елементів системи тактильного Інтернету. Модельна мережа для додатків тактильного Інтернету являє собою прототип діючої мережі, побудованої за участю відповідного апаратного обладнання. Використання такої мережі дає можливість провести комплексне дослідження мережі для тактильних Інтернету як в штатному режимі роботи, так і в умовах перевантаження, що дозволяє дати більш якісну та об'єктивну оцінку характеристик.

На рис.1.6 представлена архітектура модельної мережі для дослідження додатків тактильного Інтернету.

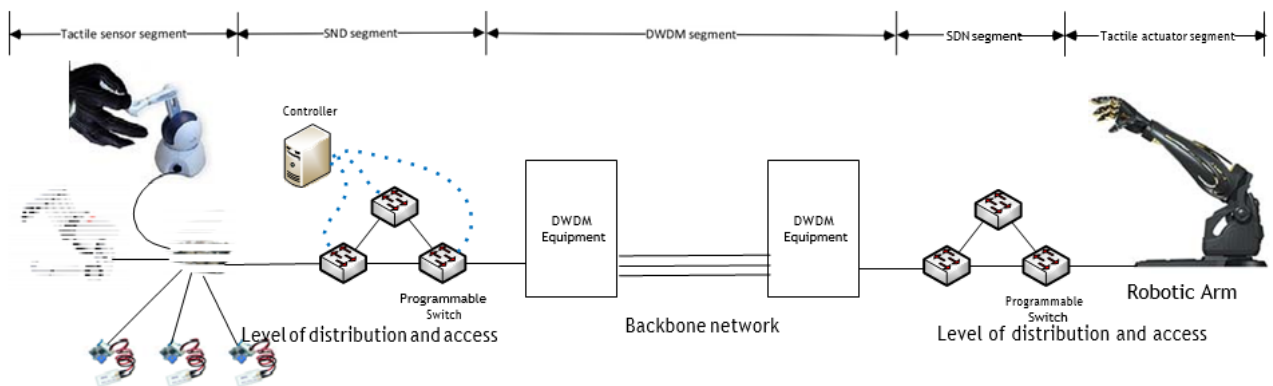


Рисунок 1.6 - Структура моделюючої мережі для тестування додатків тактильного Інтернету

На малюнку прийняті наступні позначення:

Tactile sensor segment - Сегмент тактильного датчика,

SDN segment - сегмент програмно-конфігурується мережі (SDN),

DWDM segment - сегмент DWDM,

Controller - контролер,

Programmable switch - програмований комутатор,

Level of distribution and access - рівень розподілу і доступу,

Backbone network - магістральна мережа,

Robotic arm - Роботизована рука.

Модельна мережу тактильного Інтернету включає в себе наступні елементи:

Сегмент 1: Тактильні датчики - можуть бути представлені у вигляді декількох датчиків, здатних реєструвати кожен рух рук, тактильного дані, одержувані від поверхні шкіри і т.д. Можна також використовувати інші датчики, які можуть відстежувати рухи за допомогою сенсорних пристроїв або додатків доповненої реальності (ДР).

Сегмент 2: Рівень поширення і доступу - традиційно представлений у вигляді елемента програмно-конфігурується мережі, що дозволяє здійснювати імітацію передачі даних через реальну мережу і змінювати різні параметри, такі як, наприклад, затримки і втрати пакетів. На цьому рівні визначаються класи мережевого трафіку і встановлюються пріоритети. Для трафіку, що генерується додатками тактильного Інтернету, пріоритет визначається з урахуванням необхідності мінімізації кругових затримок.

Сегмент 3: Магістральна мережа - представлена як ділянка DWDM-мережі з пропускною спроможністю над 10 Гбіт / с. Використання обладнання DWDM і підключення контролера програмно-конфігурується мережі (SDN) дає можливість управляти параметрами якості обслуговування щодо трафіку.

Сегмент 4: Тактильні драйвери - представлені у вигляді діючих механізмів (наприклад, робота-маніпулятора) для виконання команд, що передаються через мережу. Час, необхідний для виконання команд, залежить від технічних характеристик апаратних пристроїв, що використовуються в модельній мережі.

Розглянемо далі можливі варіанти досліджень на модельній мережі. Можна виділити наступні варіанти постановки досліджень:

1. Дослідження характеристик тактильних датчиків і приводів. Даний варіант передбачає визначення точності значень тактильного датчика і роботи тактильних приводів за допомогою спеціального тестового додатка, розташованого

на сервері.

2. Дослідження програмно-конфігуруючого мережевого комутатора і контролера. Даний варіант передбачає дослідження відповідності функціонування програмно-конфігуруються мережевих комутаторів і контролера заданим вимогам, дослідження маршрутизації, а також функцій розподілу завантаження комутаторів і контролера за допомогою спеціального додатку для верифікації на контролері.

3. Дослідження мультиплексування з поділом по довжині хвилі. Дані роботи припускають дослідження функцій мультиплексування з поділом по довжині хвилі, демультимплексування, перевірку обслуговування пакетів і т.д. за допомогою спеціального додатку, розташованого на сервері.

4. Дослідження якості обслуговування і враження від перегляду. Аналізуються і оцінюються параметри якості обслуговування і якості сприйняття в процесі передачі даних через модельну мережу за допомогою спеціального додатку, розташованого на сервері.

1.6 Мережі зв'язку п'ятого покоління

Всі перераховані вище концепції з'явилися необхідністю для створення мереж зв'язку п'ятого покоління. Попередні покоління мереж, включаючи і мережі зв'язку четвертого покоління з системами тривалої еволюції LTE (Long Term Evolution) були розраховані на інші кількісні характеристики, а саме: кілька мільярдів користувачів і затримки величиною в 100мс. Природно, що в процесі еволюції мереж зв'язку четвертого покоління, особливо в умовах наближення до впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління, на мережах зв'язку почали з'являтися деякі технології, які повинні знайти широке застосування на мережах зв'язку п'ятого покоління. Йдеться, наприклад, про кооперативні мережах [81], які створили базу для подальшого впровадження технологій D2D. Дійсно, саме технології кооперативних мереж зробили зону базових станцій LTE гетерогенною.

Мережі зв'язку п'ятого покоління є гетерогенними вже за своєю природою, конвергуючи собі не тільки різні радіо технології, а й перспективні технології

фіксованих мереж зв'язку. Можна сказати, що мережі зв'язку п'ятого покоління є сильно гетерогенними, що підкреслює їх відмінність від попередніх поколінь мереж зв'язку [4,64,76,82,95]. Однак найбільш принциповими новими властивостями мереж зв'язку п'ятого покоління є надщільність і ультра малі затримки. Саме ці дві властивості вимагають широкого застосування нових технологій для забезпечення самої можливості їх реалізації.

Останнім часом з'явилися роботи, в яких під сумнів було поставлено необхідність подальшого розвитку еволюціонування пакетного ядра мережі EPC (Evolved Packet Network), оскільки не було виявлено рішень щодо забезпечення за допомогою цієї традиційної технології необхідної величини кругової затримки в мережах зв'язку п'ятого покоління [71, 72,73]. Альтернативні пропозиції з побудови ядра мережі на основі технології програмно комутованих мереж SDN (Software Defined Networks) спільно з виртуалізацією втратити зв'язок із мережею NFV (Network Functions Virtualization) забезпечують суттєво менші значення затримок при інших рівних умовах.

Найважливішу роль у виконанні вимог до мереж зв'язку п'ятого покоління грає технологія мобільних граничних обчислень MEC (Mobile Edge Computing). Дійсно, якщо мережа зв'язку в умовах ультра малих затримках підлягає децентралізації, то і обчислювальні ресурси мережі доцільно перерозподілити. Пропозиція по створенню багаторівневої системи хмар з розміщенням міні-хмар на рівні базових станцій і забезпечення їх взаємозв'язку між собою за допомогою високошвидкісних оптичних ліній зв'язку дає можливість не тільки досягти необхідних значень затримки, але і розвантажити ядро мережі [1,2,3,4,70].

Як бачимо, для побудови мереж зв'язку п'ятого покоління потрібно застосувати безліч нових технологій. Різноманіття завдань зі створення мереж зв'язку п'ятого покоління вимагає і відповідних науково-дослідних робіт. У магістерській роботі пропонуються нові рішення з побудови мереж зв'язку п'ятого покоління як надщільних мереж і мереж з ультра малими затримками на основі використання кластеризації і технологій D2D. При цьому технології D2D розглядаються не як взаємодія окремих пристроїв, а як мережа D2D [5,6,9,10].

1.7 Висновки до розділу 1

1. Мережі зв'язку п'ятого покоління є надщільними мережами з ультра малими затримками, що вимагає розробки нових методів їх побудови.
2. Оскільки попередні покоління мереж не володіли зазначеними в п.1. висновків властивостями, для реалізації вимог по надщільності і ультра малих затримок потрібне застосування нових технологій, таких як програмно-конфігуровані мережі SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільні граничні обчислення MEC, взаємодії пристрій-пристрій D2D.
3. Крім зміни власне методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, потрібні зміни методів ідентифікації, тестування та інших, супутніх забезпечення сталого функціонування мереж зв'язку п'ятого покоління технологій. У магістерській роботі запропоновано для ідентифікації в надщільних мережах використовувати технологію ідентифікації на основі архітектури цифрових об'єктів DOA. Для досліджень, тестування та верифікації мереж зв'язку п'ятого покоління в магістерській роботі запропонована нова структура модельної мережі.

РОЗДІЛ 2

МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ ЯК ОСНОВА ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

2.1 Основні характеристики мереж зв'язку п'ятого покоління

Приблизно раз в 20 років накопичений технологічний прогрес дозволяє принципово змінити можливості мереж зв'язку та їх місце в прогресі суспільства в цілому. Попередні зміни були пов'язані з появою стільникових мереж зв'язку третього покоління 3G (1999 рік) і пакетних мереж зв'язку загального користування (2000 рік) [25,34,35]. Ці технологічні прориви дозволили створити електронне суспільство і забезпечити користувачів небаченими раніше послугами з передачі даних і зображень. До цього на початку 80-х років минулого століття з'явилися цифрові системи комутації, що дало поштовх розвитку цифрових мереж зв'язку [23,24,36].

В даний час на 2019 рік намічено завершення стандартизації мереж і систем п'ятого покоління 5G, а на 2020 рік - початок їх широкого впровадження на мережах зв'язку. Мережі 5G покликані інтегрувати в собі всі досягнення мобільних і фіксованих мереж зв'язку, забезпечити швидкості на доступі в 10 Гбіт / с і вище, наблизити можливості хмарних обчислень безпосередньо до користувача і, що найважливіше, стати основою цифрової економіки [5,59]. Відзначимо, що в Міжнародному Союзі Електрозв'язку (МСЕ) відповідний напрям робіт отримало назву ІМТ 2020 (International Mobile Telecommunication system).

Чому ж саме мережі 5G розглядаються як основа цифрової економіки і є перехід до них еволюційним чи революційним етапом розвитку мережі, які вимагають тоді інших підходів до реалізації мереж 5G і послуг, що надаються ними?

По-перше, слід зазначити, що мережі п'ятого покоління є гетерогенними, тобто об'єднують в собі безліч різних мереж: від традиційних мобільних і фіксованих мереж зв'язку загального користування до сенсорних [62] і літаючих

мереж [13,41,77]. В англomовній літературі такі мережі отримали назву HetNet (Heterogeneous Networks) [63]. Спочатку гетерогенність була помічена при дослідженні взаємодії сенсорних мереж з системами тривалої еволюції [57]. При цьому виявилось, що гетерогенність може бути використана для поліпшення якості обслуговування користувачів або пристроїв, що знаходяться, наприклад, на кордоні зони обслуговування базової станції за рахунок застосування пристроїв інших мереж в якості ретрансляторів при забезпеченні зв'язку з базовою станцією. Виник новий напрям досліджень, що одержало назву кооперативної передачі або кооперативних мереж [81], що стало першим кроком по перетворенню радіального принципу побудови зони покриття базової станції в mesh-мережу. Очевидно, що mesh-мережа є принципово більш надійною структурою, ніж радіальна мережа.

Другою новою особливістю мережі п'ятого покоління зобов'язані концепції Інтернету Речей [30,39]. Ця особливість пов'язана з принципово іншим числом потенційних речей, які можуть бути приєднані до мережі, в порівнянні з традиційними уявленнями про обсяг клієнтської бази мереж зв'язку. Відповідно до відомих прогнозів [104] граничне число інтернет речей розглядається на рівні 50 трильйонів. Це не тільки багато саме по собі, але і істотно зменшує можливу відстань між взаємодіючими в мережі пристроями. Тому мережі 5G називають мережами з високою щільністю (High Dense) або навіть занадто щільні мережі (Super High Dense) [76]. При цьому цілком природною виглядає нова концепція взаємодії прилеглих пристроїв без участі базової станції або маршрутизаторів. Ця взаємодія називається пристрій-пристрій D2D (Device-to-Device) [60,61,83] і при масштабному впровадженні призведе до істотної економії енергії в мережі в цілому. Природно, що при цьому зона базової станції перетворюється спочатку в повноцінну mesh мережу, а в подальшому і в рій пристроїв [86].

Ще однією особливістю мереж п'ятого покоління, принципово змінює структуру мережі і її вплив на суспільний розвиток, є можливість надання послуг так званого тактильного Інтернету [32], вимога щодо затримок для яких становить 1мс, що в 100 разів менше, ніж для традиційних пакетних мереж зв'язку загального користування, які будуються у відповідності з концепцією мереж зв'язку

наступного покоління NGN (Next Generation Networks) [35]. Ця особливість привела до ще однієї назви мереж зв'язку п'ятого покоління - мережі зв'язку з ультра малими затримками. Саме ця особливість знаходиться в центрі уваги цієї статті.

2.2 Затримка для тактильного Інтернету і децентралізація мережі

При визначенні параметрів затримки для мереж з ультра малими затримками постала необхідність обліку фізичних обмежень по швидкості передачі інформації. Сектор Стандартизації Телекомунікацій Міжнародного Союзу Електрозв'язку рекомендує враховувати ці обмеження як 5мкс на кілометр [101]. Виходячи з цього, формула для обчислення затримки в мережах зв'язку виглядає наступним чином:

$$T = R \times \tau + \Theta, (1)$$

де R - відстань,

τ - затримка, пов'язана з фізичними обмеженнями по передачі інформації (5 мкс на кілометр),

Θ - затримка, яку вносять технічними засобами мережі.

При обмеженні затримки величиною в 1мс з урахуванням застосування цього значення до двосторонньої затримки і припускаючи використання в якості систем передачі сучасних систем типу T8 з великою пропускною здатністю радіус дії таких мереж послуг тактильного Інтернету обмежується приблизно 50 км.

Це означає, що ресурси оператора (наприклад, центри обробки даних) для надання послуг тактильного Інтернету, які потребують затримки величиною в 1мс, повинні розташовуватися, по можливості, в центрі кола радіусом в 50 км. Останнє принципово змінює уявлення про структуру мережі 20-х років 21 століття, вимагаючи від неї децентралізації ресурсів для надання ряду послуг.

2.3 Багаторівнева система хмарних обчислень для надання послуг тактильного Інтернету

В [1,74] вітчизняної наукової школою була запропонована багаторівнева

система хмарних обчислень для надання послуг тактильного Інтернету. При цьому (рис.2.1) виділяються такі рівні:

- мікро хмари, що розміщуються на рівні користувачів (абонентських смартфонів, ноутбуків, роботів, інтернет речей і т.д.),
- міні хмари, що розміщуються на рівні базових станцій і групових елементів оптичних мереж доступу,
- макро хмари, що розміщуються на рівні ядра операторської мережі,
- віддалені хмари, що представляють собою, як правило, ресурси найбільших світових компаній.



Рисунок 2.1 - Багаторівнева система хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг тактильного Інтернету

На рис.2.1 крім традиційних терміналів на рівні використання мікро- хмар розташовуються також мережеві роботи, які можуть використовуватися як на підприємствах і в офісах, так і в квартирах і будинках користувачів. Відзначимо,

що коли мова йде про макро хмарах, то саме вони розміщуються в межах 50 км від точки надання послуги.

Ієрархічна система хмар для мереж зв'язку загального користування крім сумісних технічних рішень зажадає і прийняття нових регуляторних документів, зокрема регламентації інформації, яка може розміщуватися на тих чи інших рівнях хмар такої мережі.

2.4 Кластеризація мережі при наданні послуг тактильного Інтернету

З кожним роком все зростає частка інформаційно-комунікаційних технологій у внутрішньому валовому продукті, тобто росте вплив мережі на розвиток суспільства. У другому десятилітті 21 століття ця тенденція набула нових рис, пов'язані з тим, що з'явилася так звана конвергенція галузей. Дійсно, саме мережу зв'язку загального користування виступає як надбудова над усіма іншими галузями, забезпечуючи необхідну інфраструктуру для створення і функціонування медичних мереж, мереж для житлово-комунального господарства, автомобільних мереж і т.п. При цьому, виходячи з економічних міркувань, на етапі розвитку мереж зв'язку наступного покоління часто приймалися рішення щодо централізації ключових елементів мережі, наприклад, IMS (IP Multimedia Subsystems). Такі рішення, природно, вступали в протиріччя, наприклад, із забезпеченням надійності інтелектуальних ресурсів мережі з районних центрів і відносно невеликих міст у великі і дуже великі населені пункти. Цей підхід, на жаль, приводив до знищення робочих місць для висококваліфікованих фахівців в районних центрах і відносно невеликих містах і збільшення цифрового розриву між різними місцями розміщення трудових ресурсів.

Тактильний Інтернет і децентралізація мережі можуть принципово змінити дану ситуацію, оскільки надання послуг тактильного Інтернету з необхідною якістю можливо в колі радіусом не більше 50км. З огляду на, що послуги тактильного Інтернету будуть, швидше за все, визначальними для мережевих робіт, децентралізація мережі призведе не тільки до перерозподілу

висококваліфікованих фахівців в галузі зв'язку [5], але і в області промислового виробництва, сучасної медицини і т.д.

На рис.2.2, рис.2.3 і рис.2.4 зображені карти Київської області відповідно і виділені групи (кластери) для обслуговування трафіку з урахуванням цільового значення затримки, що не перевищує 1мс. Як вже зазначалося вище, досягнення такого рівня пов'язане з підвищенням пропускних спроможностей ліній мережі зв'язку. Однак можливості зниження затримки обмежені фізичною природою середовища поширення сигналів, швидкість поширення яких обмежена швидкістю світла. Радіус кластерів, наведених на малюнках, становить 50км. Точки генерації трафіку позначені синім кольором. На малюнках ці точки відображені відповідно до масштабу карти. Центри кластерів, в яких повинні розміщуватися хмари операторських компаній, позначені синім кольором.

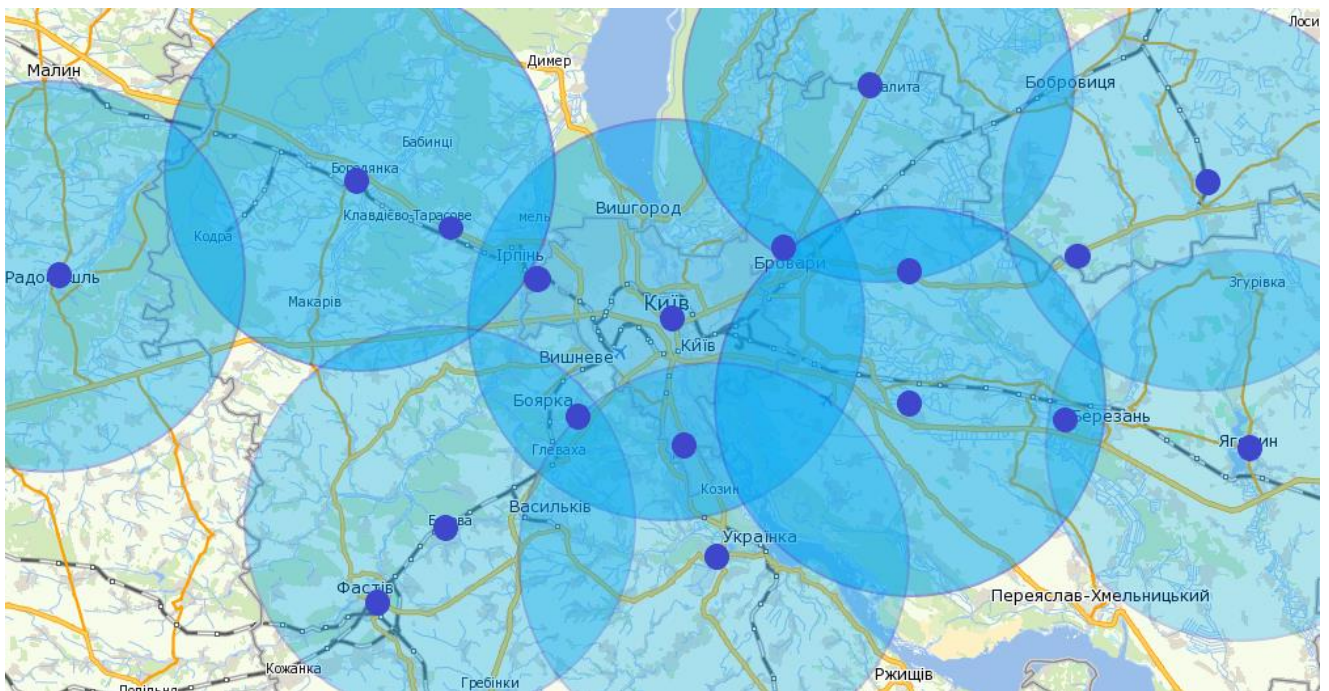


Рисунок 2.2 - Приклад кластеризації мережі при наданні послуг тактильного Інтернету за критерієм відстані

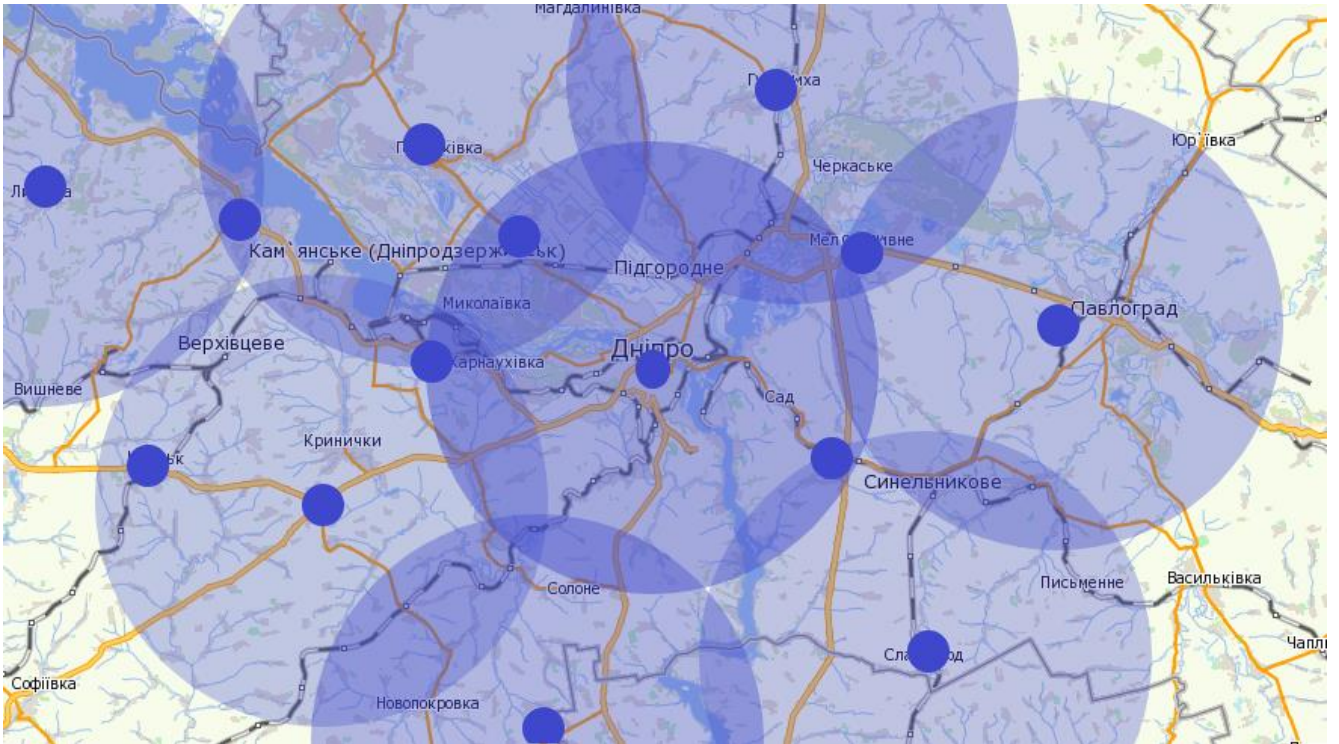


Рисунок 2.3 - Приклад кластеризації мережі при наданні послуг тактильного Інтернету за критерієм відстані

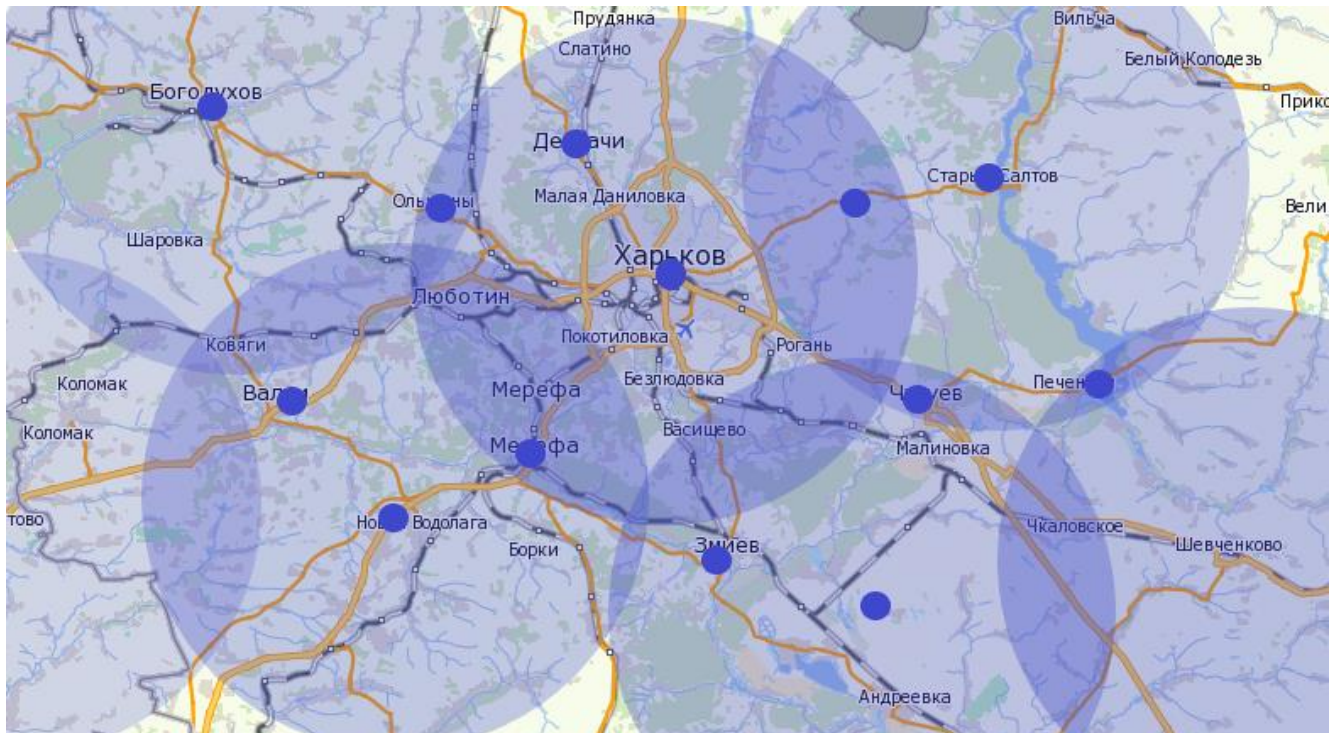


Рисунок 2.4 - Приклад кластеризації мережі при наданні послуг тактильного Інтернету за критерієм відстані (Харківська область)

Розміщення кластерів отримано за допомогою методу (алгоритму) кластеризації FOREL [32,47]. Суть даного методу полягає в пошуку скупчень джерел (споживачів трафіку), розмір яких (скупчень) близький до заданої величини відстані (радіусу кластера).

Пошук кластерів являє собою ітераційний процес, в ході якого проводиться розрахунок і переміщення передбачуваного центру кластера (центру мас), поки він не співпаде з центром мас локального згущення об'єктів. В результаті кластеризації все безліч вихідних об'єктів виявляється розбитим на підмножини за ознакою близькості елементів один до одного. Для кожного виділеного підмножини (кластери) визначається його центр (центр мас), який наприклад, може служити точкою розміщення макро хмари. В такому випадку макро хмара буде, ймовірно, мінімально віддалене від усіх членів кластера. При виконанні даного алгоритму виробляється пошук рішення, при якому мінімізується сума квадратів відстаней між центрами кластерів і членами кластерів. Алгоритм не дає абсолютного мінімуму, одержувані рішення залежать від початкових умов і можуть відрізнятися один від одного. Такі рішення прийнято розглядати як рішення, близькі до оптимальних.

Формально, роботу даного алгоритму можна описати таким чином. Якщо вихідна безліч з n об'єктів, що підлягають кластеризації це $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, то завдання кластеризації, в загальному вигляді можна сформулювати як задачу оптимізації, цільовою функцією якої є вираз виду:

$$O = \min_{k, (x, y) C_j \in C} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_j} d^2(a_{j,i}, C_j) \quad (2.1)$$

де $a_{j,i}$ – i -й елемент j -го кластера,

C_j – центр j -го кластера,

$d(a_{j,i}, C_j)$ функція, виражає ступінь близькості i -го елемента j -го кластера до центру j -го кластера.

Безліч кластерів $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ містить k елементів. Значення k в ході виконання кластеризації.

Змінними, за якими шукається мінімум в (2.1) є координати центрів кластерів (x, y) C_j і кількість кластерів k .

В окремому випадку, коли координати елементів кластерів і їх центрів представлені їх значеннями (x, y) в прямокутній системі координат функцію, яка має ступінь близькості i -го елемента j -го кластера до центру j -го кластера можна представити у вигляді:

$$\hat{d}(a_{j,i}, C_j) = \sqrt{(x_{j,i} - x_j^{(C)})^2 + (y_{j,i} - y_j^{(C)})^2} \quad (2.2)$$

де $x_{j,i}$ і $y_{j,i}$ - координати i -го елемента j -го кластера в прямокутній системі координат (м),

$x_j^{(C)}$ і $y_j^{(C)}$ координати центру j -го кластера в прямокутній системі координат (м).

Координати центрів кластерів визначаються як:

$$y_j^{(C)} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} y_{j,i} \quad (2.3)$$

$$x_j^{(C)} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} x_{j,i} \quad (2.4)$$

де $x_{j,i}$ і $y_{j,i}$ координати i -го елемента j -го кластера в прямокутній системі координат (м);

m_j - кількість елементів в j -м кластері.

У загальному випадку, наприклад, при використанні ГІС системи, як цієї функції $d()$ може бути використана спеціалізована функція, що дозволяє обчислити відстань між двома точками на поверхні землі.

Формально алгоритм може бути представлений, як показано нижче. 1: Ініціалізувати безліч некластеризованих об'єктів:

$$A := \{a_1, a_2, \dots, a_n\};$$

3: взяти довільну точку $C_j \in A$ випадковим чином; 4: повторювати

5: утворити кластер - з центром в C_j

$$A_j := \{a_i \in A \mid d(a_i, C_j) < R_0\};$$

6: помістити центр кола в центр мас кластера:

$C_j^{(m)}$ визначається відповідно до виражень (2.3) і (2.4);

7: поки центр $C_j^{(m)}$ не стабілізується, повторювати починаючи з 4;

8: позначити всі об'єкти A_j як Групові: $A := A \setminus A_j$; (Виключити з подальшого розгляду кластер A_j)

9: Якщо у вибірці є некластеризованні об'єкти, $A \neq \emptyset$, то йти до 3:

10: Зупинка;

У наведеному алгоритмі величина R_0 - визначає максимально допустиме видалення елементів кластера від центру кластера (m). У цьому завданні ця величина може бути розрахована на основі вимог до затримки в такий спосіб:

$$R_0 = (T - \Theta) \tau. \quad (2.5)$$

В результаті виконання алгоритму всі A об'єктів вихідного безлічі будуть розподілені по k множин $A_j, j=1 \dots k$ (кластерам).

Координати центрів знайдених кластерів $C_1 \dots C_k$ визначаються згідно (2.3) і (2.4).

Відзначимо, що дана задача може вирішуватися як в лінійному, так і в метричному просторі. У першому випадку центр кластера може бути отриманий в будь-якій точці розглянутої області, у другому випадку центр кластера завжди буде збігатися з координатами одного з кластеризуючих об'єктів, тобто з координатами деякого населеного пункту.

Отримані результати стали основою для проведення досліджень не тільки в

області мереж і систем зв'язку п'ятого покоління, а й в економічних дослідженнях. В роботі [4] пропонується розглядати територію країни як набір взаємопов'язаних цифрових агломерацій, що формуються на базі обмежень по круговій затримки і відповідного їй радіусу кола, в межах якої можливе надання послуг тактильного Інтернету. Такий підхід до децентралізації економіки, що набув поширення в роботах вчених-економістів дозволяє стверджувати, що кластеризація мереж зв'язку на основі обмежень по величині кругової затримки в перспективі призведе до стирання цифрового розриву між окремими територіями України.

На рис.2.2, рис.2.3 і рис.2.4 наведені результати кластеризації для різних по щільності населення України. Максимальна щільність спостерігається в Київській області, в якості прикладу середньої по щільності розміщення населення взята Дніпровська область і, нарешті, регіони з невеликою щільністю представляє Харківська область.

Аналіз отриманих результатів показує наявність територій, які не потрапляють в так звані цифрові агломерації. При цьому, чим менше щільність населення, тим таких територій більше. Це ставить ще одну досить складну з точки зору мереж і систем зв'язку завдання з пошуку рішень для недискримінаційного доступу до перспективних послуг зв'язку в районах з малою щільністю населення, яка виходить за рамки представленої магістерської роботи і вимагає ще свого рішення.

2.5 Мережі зв'язку 2030

Ще не до кінця завершені роботи по стандартизації мереж зв'язку п'ятого покоління 5G / IMT-2020 року, а в Секторі Стандартизації Телекомунікацій Міжнародного Союзу Електрозв'язку (МСЕ-Т) створена спеціальна група з дослідження і подальшої стандартизації мереж зв'язку 2030 яка повинна визначити основні характеристики і напрямки стандартизації таких мереж.

Для того, щоб заглянути в 2030 рік, треба, перш за все, проаналізувати основні тенденції в розвитку мереж зв'язку, які вже проявилися сьогодні при

роботах над концепцією і реалізацією мереж 5G / IMT-2020. Доповнивши цей аналіз відомими і прогнозованими рішеннями в області мереж зв'язку та суміжних галузей на середньострокову і довгострокову перспективу, можна отримати досить правдоподібну картину.

2.5.1 Основні фундаментальні зміни в розвитку мереж зв'язку в даний час

Надщільні мережі. Концепція Інтернету Речей, панівна в області мереж і систем зв'язку донині, привела і до появи мереж зв'язку п'ятого покоління, і до створення надщільних мереж зв'язку. Надщільність є одним з ознак не тільки мереж 5G / IMT-2020 року, але і всіх наступних. Дійсно, вимога 3GPP щодо забезпечення необхідного рівня якості обслуговування та якості сприйняття при розміщенні 1 млн терміналів на 1 кв. км принципово відрізняється від характеристик щільності мереж, що існували до теперішнього часу. Вельми складно уявити на 1 кв. км мільйон чоловік (по одній людині на 1 кв. м), в той час як 1 млн пристроїв на 1 кв. км не межа. Відповідно до прогнозів граничне число Інтернет речей становить 50 трильйонів, що може бути досягнуто саме в районі 2030 року. Тому, властивість надщільності призводить до розуміння того факту, що встановлення з'єднань для настільки близько розташованих пристроїв з використанням централізованих елементів мережі, в тому числі базової станції, є марнотратним по відношенню до обмежених (в будь-якому випадку) ресурсів мережі з'являється технологія взаємодії пристрій-пристрій D2D (Device-to- Device) без використання базової станції для реалізації послуг для Інтернету речей, сьогодні розглядається як перспективна і при взаємодії користувач-користувач. При цьому частка трафіку, замикається всередині технологій D2D, може становити десятки відсотків.

У надщільній мережі істотне значення при побудові мережевої архітектури грає кластеризація, що застосовується в багатьох задачах з аналізу і синтезу в умовах наявності великої і дуже великої кількості елементів системи. В області кластеризації в мережах зв'язку є значний доробок, отриманий в дослідженнях з побудови бездротових сенсорних мереж.

З урахуванням викладеного, можна очікувати, що в мережах зв'язку 2030 безпосередні взаємодії між близько розташованими людьми, роботами і

пристроями також будуть відігравати визначальну роль.

Мережі зв'язку з ультра малими затримками. Необхідність передачі тактильних відчуттів [65,66,90] привела до ще більш значних змін в області побудови мереж зв'язку, оскільки в цьому випадку треба було передавати інформацію з затримкою в 1мс, що в 100 разів менше, ніж в існуючих мережах. Концепція тактильного Інтернету [32,80] де-факто призводить до децентралізації мережі, оскільки фундаментальне обмеження по швидкості передачі світла, природно, непереборно. Такі мережі стали називати мережами зв'язку з ультра малими затримками, і їх застосування виявилось істотно ширше, ніж тільки передача тактильних відчуттів. Так, наприклад, при створенні безпілотних автомобілів і їх функціонуванні в мережі зв'язку затримки в 1мс є також необхідним Інтернет навичок. Розгромна замовна стаття в 2017 році концепція Інтернету Навичок також вимагає для своєї реалізації наявності мереж з ультра малими затримками. Інтернет Навичок як концепція дозволяє реалізувати в мережах зв'язку з ультра малими затримками нові класи послуг, що дозволяють використовувати мережу для придбання людьми і робототехнічними пристроями нових навичок. При цьому стає можливим передавати найкращу практику навичок навіть через покоління [7]. Навички можуть бути накопичені як індивідуальні (наприклад, видатні робочі, інженери, вчені, діячі культури), так і усереднені по кожній із професій.

Літаючі мережі. Ще одним фундаментальним зміною в розвитку мереж зв'язку стало об'єднання літаючого і наземного сегментів мереж в єдину мережу [41]. Для мереж розподілу і збору інформації досить давно використовувалися і супутники, і літаки, і, останнім часом, безпілотні літальні апарати (БПЛА). Але тільки з появою літаючих сенсорних мереж на основі близько знаходяться до земної поверхні безпілотних літальних апаратів відбулася інтеграція літаючого і наземного сегментів, коли БПЛА стали тимчасовими головними вузлами для кластерів наземної мережі. Слід зазначити, що невелика висота прольоту БПЛА в таких мережах, яка вимірюється десятками метрів, робить їх придатними для використання в мережах зв'язку з ультра малими затримками.

2.5.2 Перспективні технології для мереж зв'язку 2030

Виходячи з аналізу фундаментальних змін в розвитку мереж зв'язку, можна стверджувати, мережі зв'язку 2030 будуть надщільними мережами з ультрамалих затримками, що забезпечують скорочення цифрового розриву за рахунок децентралізації мережі. Разом з тим, ці мережі придбають і ряд нових характеристик за рахунок розвитку технологій в області мереж і систем зв'язку і в суміжних галузях [8,75]

Телеприсутність. Персоналізація мережі. Одним з найбільш перспективних програм для мереж 2030 є широке використання і поширення аватарів для відтворення та здійснення дій людини, який ними керує (телеприсутність). У цьому випадку може знадобитися забезпечити затримку в мережах навіть менше 1мс.

Крім того, при збільшенні популяції аватарів і їх функціональному вдосконаленні виникнуть ситуації, коли безліч аватарів конкретного користувача будуть управлятися користувачем або через головний аватар, або будь-яким іншим доступним способом. Ці мережі аватарів можуть стати одним з найважливіших джерел трафіку в нових мережах 2030 з новими типами взаємодій: Human-to-Avatar (H2A), Avatar-to-Human (A2H) і Avatar-to-Avatar (A2A). Ще раз підкреслимо, що всі ці взаємодії вимагають побудови мереж з ультрамалих затримками.

Взаємодія користувача з його аватарами призводить до якоїсь персоналізації мережі. Дійсно, аватар являє собою належний користувачеві термінал мережі, досить розумний і віддалений від користувача на досить велику відстань, що вимірюється кілометрами. У цьому випадку ресурси мережі використовується користувачем для взаємодії з його ж терміналом або терміналами.

Послуги телеприсутності не обмежуються тільки відтворенням і здійсненням дій користувача. При використанні голографічних додатків і аватарів буде можливо, наприклад, дивитися футбольний матч не по телевізору, а як голографічну модель під будь-яким кутом.

Приклади взаємодій з аватарами в мережі наведені на рис.2.5

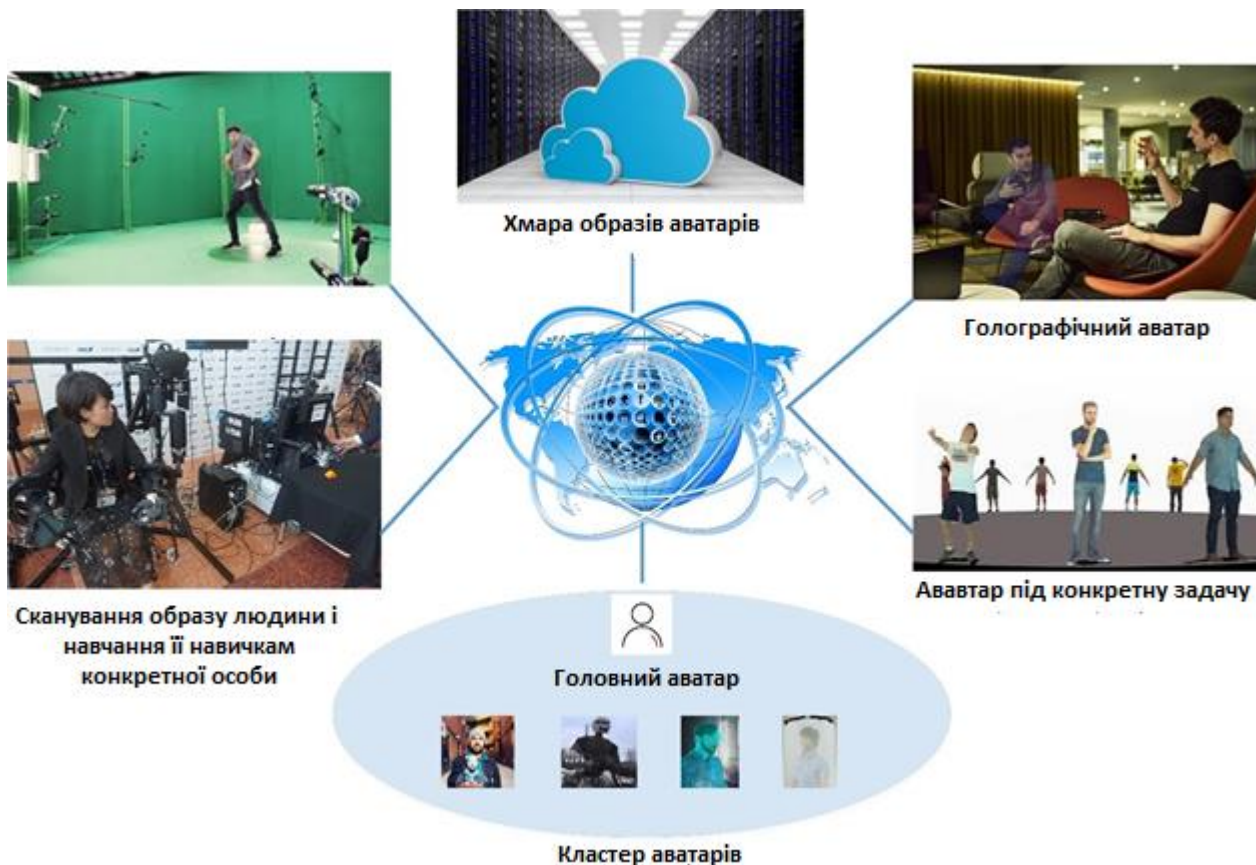


Рисунок 2.5 - Взаємодії з аватарами в мережі зв'язку в 2030 році

Наномережі. До 2030 року різні застосування наномереж і наноречей [30] повинні будуть знайти широке застосування. Наноречі збільшать ще більше щільність мереж. Прогрес в області спектроскопії вже призвів до того, що доступними стали інфрачервоні мікро-спектрометри, які вже можуть бути вбудовані в смартфони. Тому кожному користувачеві щодня стає доступним аналіз продуктів та інших предметів, що представляють інтерес, для оперативного підтвердження якості. Ця можливість забезпечується отриманням спектрограми і швидким аналізом у відповідному хмарі. Можна стверджувати, що такі послуги будуть широко використовуватися і створять новий значний трафік на мережі зв'язку.

Застосування малогабаритних інфрачервоних спектрометрів уможливило використовувати феромони для прийому інформації. Для передачі інформації вже використовуються синтезовані феромони, а прийом до сих пір міг здійснюватися

тільки особинами живого світу. Під час академічного семінара МСЕ-Т "Калейдоскоп-2014" було запропоновано використовувати феромони для взаємодії "Від серця до серця" He2He (Heart-toHeart), що в найближчі 10 років не виглядає з точки зору мереж зв'язку нездійсненою можливістю.

Літаючі мережі. У деяких роботах для реалізації вимог мереж зв'язку 2030 були запропоновані рішення на основі конвергенції наземних і супутникових мереж. Переваги супутникових мереж в частині покриття, на жаль, нівелюються недоліками з точки зору величини затримки. Висота орбіти низькоорбітальних супутників становить, як правило, 700-1500 км. В даний час розглядаються проекти, де мінімальна висота зменшується до 350 кілометрів. Але все одно для мереж з ультра малими затримками це занадто багато. Такі висоти орбіти для супутників зв'язку призводять до принципово непереборним перешкодам в реалізації мережевих послуг з ультра малими затримками. Через велику відстань до супутника можна надавати послуги мереж, толерантних до затримок, але не для повсякденних завдань людей і роботів, включаючи аватарів, які принципово не можуть бути реалізовані через великі затримки. Більш реалістичними для побудови мереж 2030 є сценарії використання літальних апаратів на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) або навіть використання прив'язних БПЛА, які можуть функціонувати при висотах, вимірюваних десятками і сотнями метрів [41]. Це особливо важливо для територій з низькою щільністю населення і важкодоступних районів.

Структура мережі зв'язку з ультра малими затримками в 2030 році приведена на рис.2.6. Крім розглянутих вище існуючих і нових додатків мережі на малюнку зображені також медичні мережі, доповнена реальність [45,46,91,92], промислові гуманоїди і додатки для підтримки концепції Індустрії 4.0. Ці додатки також вимагають для свого сталого функціонування значень затримки величиною не більше 1мс.

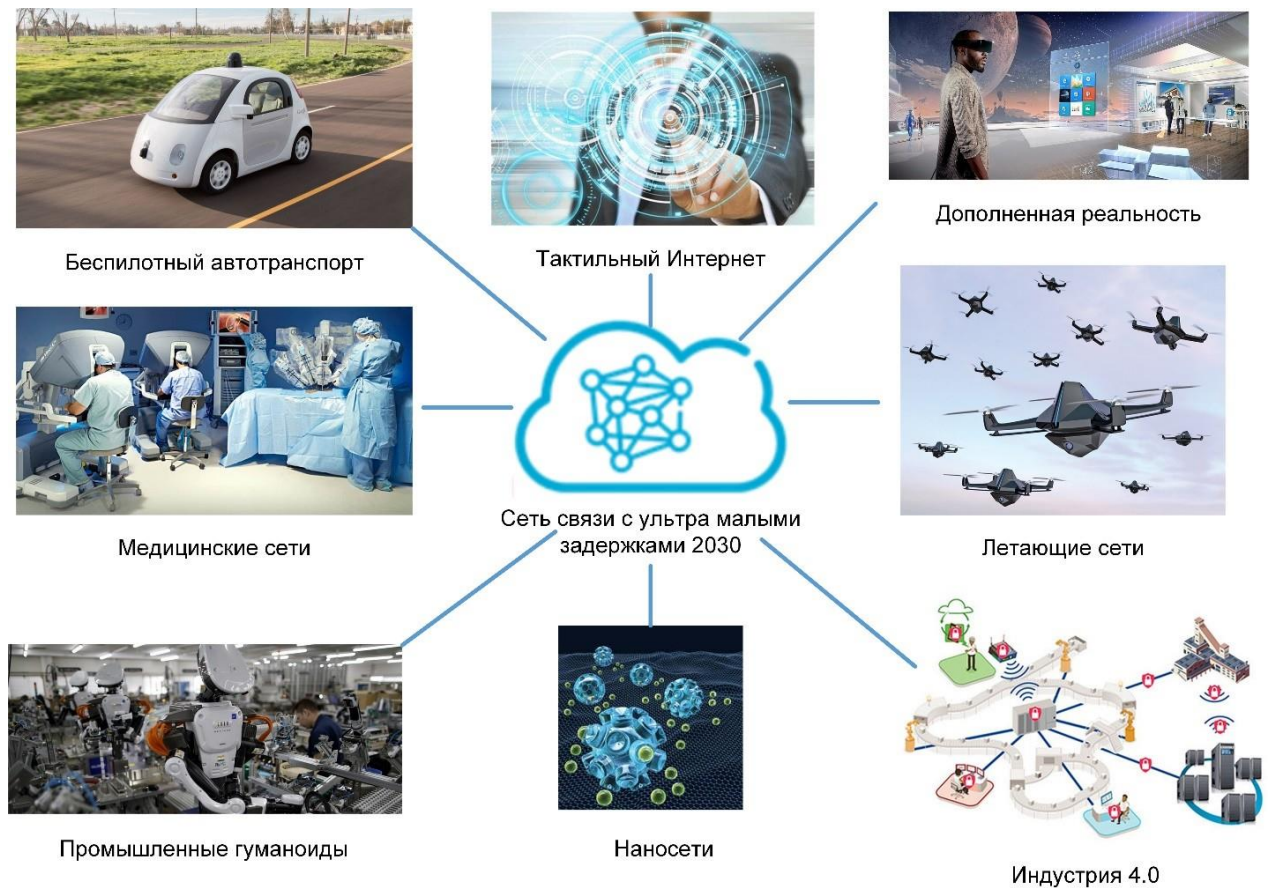


Рисунок 2.6 - Мережа зв'язку з ультра малими затримками в 2030 році

2.5.3 Нові технології для мереж зв'язку 2030

Багато характеристики мереж зв'язку 2030 будуть визначатися новими технологіями, які знайдуть широке впровадження для реалізації цих мереж. Штучний інтелект буде керувати потоками трафіку, квантові комп'ютери дозволять терміналам користувача виконувати безліч нових завдань при взаємодіях з близько розташованими користувачами, роботами, пристроями, нанотехнології нададуть безпрецедентні послуги для користувачів медичних мереж і т.д. Але з точки зору мереж зв'язку як таких мережі зв'язку 2030 будуть занадто щільні з ультрамалими затримками, персоналізованими для реалізації телеприсутності, з інтеграцією наземного і літаючого сегмента, який функціонує на малих висотах, взаємодіючими з наносвіту, а також в повній мірі реалізували концепцію Індустрії 4.0 і надавачами послуг мережі роботам-гуманоїда на виробництві.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Подальший розвиток мереж зв'язку і реалізація послуг тактильного Інтернету при впровадженні мереж зв'язку п'ятого покоління призводить до децентралізації мережі на основі вимог щодо забезпечення затримки величиною не більше 1мс.

2. Для впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління з наданням послуг тактильного Інтернету в якості одного з варіантів розглядається побудова багаторівневої системи хмарної інфраструктури. При цьому потрібно розробка нової регуляторної бази.

3. Децентралізація мережі на основі впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління з наданням послуг тактильного Інтернету призведе до деглобалізації економіки і принципового зниження цифрового розриву.

4. Дослідження в області мереж зв'язку 2030 враховують фундаментальні зміни, що відбулися з мережами зв'язку в період формування концепції мереж зв'язку п'ятого покоління, стандартизації мереж і систем 5G / IMT-2020 і досвіду тестування фрагментів цих мереж.

5. Основні фундаментальні зміни, які відбулися з мережами зв'язку на етапі робіт по 5G / IMT-2020 року - поява надщільних мереж і мереж з ультра малими затримками. Обидва цих нових властивості не тільки збережуться для мереж зв'язку 2030 а й придбають нові додатки, що визначають розвиток мереж на наступному після 5G / IMT-2020 етапі.

6. Надщільні мережі при створенні мереж зв'язку 2030 поповняться елементами наносвіту, а мережі зв'язку з ультра малими затримками дозволять реалізувати телеприсутність як в формі роботів аватарів, що належать користувачам і виконують їх команди з максимальним відповідністю тактильним відчуттям конкретного користувача, так і вигляді голографічного телеприсутності, наприклад, на спортивних заходах.

7. Низькоорбітальні супутникові мережі зв'язку, які не можуть надавати користувачам послуги мереж з ультрамалих затримками внаслідок

фундаментальних обмежень по швидкості світла, можуть бути використані в мережах зв'язку 2030 для надання користувачам послуг мереж, толерантних до затримок.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАФІКУ ДЛЯ НАДЩІЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИСТРІЙ-ПРИСТРІЙ D2D

3.1 Основні характеристики технології D2D

Все більша увага в даний час приділяється проблемам створення цифрової економіки. Як зазначено в [5], створення цифрової економіки багато в чому залежить від рівня розвитку мереж зв'язку. В останні десятиліття мережі зв'язку зазнали істотних змін в своєму розвитку. Досить широкого поширення набули самоорганізовані мережі [30], додатки яких у вигляді бездротових сенсорних мереж, мереж автомобільного транспорту, медичних мереж і т.п. вже знайшли застосування, в тому числі і на мережах зв'язку загального користування. Однак найбільш принципові зміни, аж до фундаментальних кількісних і якісних характеристик мережі, відбудуться при масштабному впровадженні мереж зв'язку п'ятого покоління 5G.

З одного боку, при впровадженні мереж і систем 5G відбувається фантастичне зростання числа пристроїв, досягаючи відповідно до рекомендацій 3GPP 1млн на 1кв.км. Такі кількісні характеристики призводять до появи надщільних мереж. З іншого боку, при впровадженні мереж і систем 5G в 100 разів посилюються вимоги до затримок, при цьому затримка не повинна перевищувати 1мс. Ці кількісні характеристики призводять до появи мереж зв'язку з ультрамалими затримками.

І надщільні мережі, і мережі зв'язку з ультрамалими затримками відображають загальний процес перетворення мережі, що виражається, в першу чергу, в її децентралізації [5]. Ультрамалі затримки, як це зазначено в [5], вимагають децентралізації мережі для надання послуг тактильного інтернету. Це концептуальний розвиток мережі підтримується все більш широким застосуванням граничних обчислень, наприклад, при побудові багаторівневої системи хмар [1].

Занадто щільні мережі зі свого боку вимагають розвитку взаємодій пристрій-пристрій (D2D), що дозволяє в ряді випадків для надання послуг використовувати ресурси мережі тільки на рівні терміналів і / або базових станцій. Проводячи аналогію з побудовою ТМЗК, коли внутрішньо станційне навантаження складало в великих містах 16% [49], можна припустити, що з використанням D2D-технології в мережах 5G буде обслуговуватися велика частина трафіку користувачів.

При цьому в мережах 5G будуть активно застосовуватися методи як внутрішньосмугової, так і позасмугової кластеризації користувачів, що дозволить підвищити якість надання послуг і ефективність використання мережевих ресурсів [97]. Зокрема, передбачається широке застосування взаємодій виду пристрій-пристрій (D2D) як за участю базових станцій мережі зв'язку, так і без їх участі. У ряді випадків такий вид взаємодій дозволяє істотно розширити зону обслуговування мережі і підвищити якість зв'язку, в тому числі для взаємодій машина-машина M2M [51,52,53,98,99]. При використанні позасмугових засобів (неліцензійних частот) для організації D2D-з'єднань, як правило, використовуються стандарти групи IEEE 802.11 (WiFi-direct).

Поширення пристроїв цієї групи стандартів надзвичайно широке. Щільність користувальницьких терміналів пропорційна щільності населення. Можна припустити, що використання середовища поширення такими пристроями, отже, і потенційні можливості організації D2D- зв'язків при використанні WiFi-direct залежать від щільності населення.

У магістерській роботі розглянуто вплив абонентської щільності на потенційні можливості застосування D2D-технології для децентралізації мережі при використанні WiFi-direct.

Можливість використання взаємодії типу пристрій-пристрій (D2D - Device-to-Device) була визначена в документах 3GPP [83]. Дана технологія представлена для мереж LTE і перспективних мереж 5G в частині обслуговування трафіку інтернету речей. Основні цільові призначення D2D- технологій - це прямі з'єднання між пристроями, що знаходяться у відносній близькості один до одного (мережі рівня персональних мереж PAN).

Застосування D2D-технологій потенційно суттєво розширює можливості організації мереж зв'язку. Поряд з організацією прямих зв'язків з різними пристроями (моніторами, принтерами, телевізійними приймачами і т.д.), D2D взаємодії можуть бути використані для організації кластерів і транзиту трафіку через один з пристроїв, вибране як головного (транзитного) вузла кластера [22, 48]. В [69,97] доведено, що застосування D2D-кластеризації підвищує ефективність використання радіочастотного ресурсу мережі. Застосування кластеризації і транзитних пристроїв дозволять в ряді випадків розширити зону зв'язку мережі або підвищити якість обслуговування (QoS) трафіку.

Потенційно, при досить високій щільності вузлів мережі, застосування D2D взаємодій дозволяє організувати маршрути доставки повідомлень, тобто ad hoc мережі. При ряді припущень потенційні можливості організації зв'язків між вузлами можна описати теоремою Ердеша-Рен'ї для випадкового графа [55]. Як приклад наведено дві моделі 400 вузлів, розташованих в квадраті 500x500 м (рис.3.1, а і б).

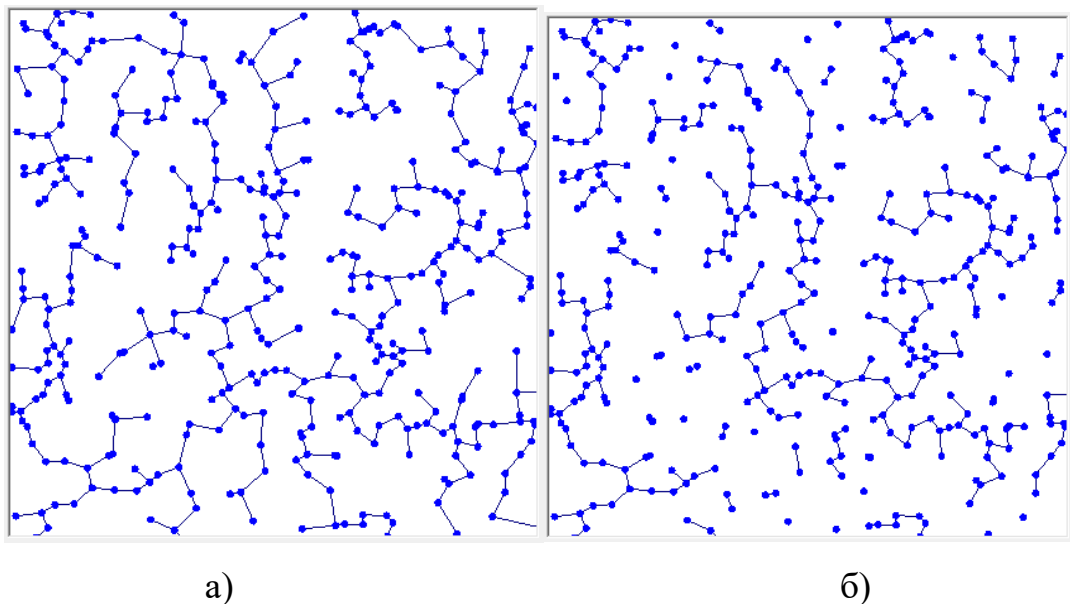


Рисунок 3.1 - Моделі мережі у вигляді зв'язного і незв'язного графів

Зробимо припущення про те, що довжина шляху в мережі не має обмежень з точки зору довжини (числа транзитів). Вибір маршруту в мережі являє собою

завдання оптимізації, в якій серед усього можливого безлічі маршрутів вибирається той, який найбільшою мірою відповідає заданому критерію. Найбільш поширені завдання пошуку найкоротших шляхів, де під довжиною розуміється сума вагових коефіцієнтів, присвоєних ребрах графа.

У мережі бездротового зв'язку довжина ребра може характеризуватися, наприклад, затримкою передачі пакета між відповідними вузлами. Затримка, в свою чергу, залежить від швидкості передачі даних (ПД) і їх обсягу (без урахування часу очікування). Швидкість ПД залежить від індексу MCS [50], тобто від рівня сигналу або відношення сигнал / шум. Останнє більш точно характеризує можливість прийому сигналу. Під шумом розуміються будь-які сигнали, що приймаються разом з корисним сигналом. Як правило, це природні шуми, створювані в навколишньому середовищі і в самому радіоприймальному пристрої, і сигнали штучної природи, такі як індустриальні перешкоди і перешкоди (інтерференція) від аналогічних приймально-передавальних пристроїв, що знаходяться на порівняно малій відстані.

З огляду на те, що для організації D2D-зв'язків часто застосовується технологія Wi-Fi, вплив перешкод від сусідніх пристроїв набуває особливого значення, так як в сучасній міській інфраструктурі ця технологія використовується досить широко. У даній ситуації ступінь впливу перешкод визначається кількістю пристроїв (їх щільністю на розглянутій території) і активністю використання стандартів WiFi в розглянутій інфраструктурі.

3.2 Щільність і активність терміналів

Організація D2D-зв'язків в неліцензованих діапазонах частот, як правило, передбачає використання стандартів сімейства IEEE 802.11 (Wi-Fi-direct), які сьогодні мають дуже широке поширення як для організації корпоративних, громадських, так і приватних мереж. Проникнення даної технології настільки велике, що з достатньою впевненістю можна вважати, що кожна людина, квартира або приватний будинок потенційно мають у своєму розпорядженні пристроєм, що

є елементом мережі Wi-Fi. З огляду на використання єдиного середовища для передачі сигналів, одночасне застосування цих пристроїв призводить до їх взаємних впливів. Найбільш істотні з них - внутрішньоканальні і міжканальні перешкоди.

В даний час для стандарту Wi-Fi припускають частотне розділення каналів для зниження взаємних впливів сусідніх точок доступу: 13 каналів - в діапазоні 2,4 ГГц і 14 - в діапазоні 5 ГГц. Однак існуючий канальний поділ в повній мірі не виключає взаємних впливів, що походять з-за збільшення (в ряді випадків) смуги переданого сигналу до 40 МГц при частотному розносі каналів 20 МГц. Це призводить до виникнення міжканальних перешкод. Виключити їх (майже повністю) можна тільки при використанні каналів, рознесених не менше ніж на 40 МГц, наприклад, для діапазону 2,4 ГГц це - 1-й, 6-й і 11-й канали. ці канали найбільш часто використовуються. Дана ситуація призводить до різної мовірності використання каналів.

Вплив міжканальних перешкод може бути дуже великим, проте для спрощення завдання обмежимося розглядом тільки внутрішньоканальних перешкод. Тому далі при згадці перешкод будемо мати на увазі саме внутрішньоканальні перешкоди. При збільшенні числа сусідніх пристроїв і / або ймовірності їх активного стану (передачі сигналу) природно зростає ймовірність накладання сигналів на корисний сигнал, тобто збільшуються перешкоди і знижується SINR. Можна припустити що, все це призводить до зниження QoS і, як наслідок, до зменшення зони зв'язку при D2D взаємодіях.

Для дослідження даного припущення розглянемо два випадки, характерних для міської та сільської місцевості. Наприклад, якщо розглядати територію міста, то найбільша щільність абонентських терміналів і джерел перешкод, відповідно, знаходиться в межах багатоквартирних будинків (не розглядаємо такі об'єкти надвисокої щільності користувачів, як стадіони). У подібному випадку середня відстань між джерелами визначається розмірами середнього житлового приміщення (квартири) і за вибірковими оцінками становить приблизно 8 м, а щільність користувачів 0,016 пристроїв / м² (в межах будівлі).

Якщо розглядати сільську місцевість, то відстань між терміналами та потенційними джерелами перешкод визначається середньою відстанню між житловими будівлями (приватними будинками). Вибірковий аналіз карт місцевості показав, що типове значення відстані між приватними житловими будинками становить приблизно 31 м, а щільність користувачів (будівель) - приблизно 0,001 пристроїв / м². Далі будемо розглядати ці два значення як типові

3.3 Модель каналу

Вважаючи, що потужність шуму постійна, опишемо якість каналу між вузлами i і j за допомогою відношення сигнал / перешкоди плюс шум SINR:

$$SINR_{ij} = 10 \lg \frac{P_{ij}^{(s)}}{P_j^{(I)}} \quad (3.1)$$

де $P^{(I)} = \sum P^{(j)}$; k - кількість джерел перешкод в зоні зв'язку j -го вузла;

$P_r^{(j)}$ - потужність сигналу в точці j -го вузла від r -го джерела перешкод;

$$P_r^{(j)} = P_r - A(d_{jr}); \quad (3.2)$$

P_r - потужність r -го джерела перешкод; d_{jr} - відстань від точки прийому до r -го джерела перешкод;

$$P_{ij}^{(s)} = P_i - A(d_{ij}); \quad (3.3)$$

P_i - потужність джерела сигналу в точці передачі; $A(d_{ij})$ - модель згасання сигналу від відстані; d_{ij} - відстань між вузлами i і j

Тоді досяжна швидкість ПД в каналі між i і j вузлами складе:

$$b_{ij} = \varphi(\text{SINR}), \quad (3.4)$$

де $\varphi(\text{SINR})$ - залежність швидкості передачі від відношення сигнал /перешкоди плюс шум, що визначається стандартом як номер схеми модуляції і кодування (MCS).

Під пропускною спроможністю каналу будемо розуміти досяжну швидкість передачі, пропорційну відношенню сигнал / перешкода плюс шум в точці прийому. Особливість залежності пропускної здатності каналу від відношення сигнал / перешкода плюс шум полягає в тому, що стандарт IEEE 802.11 [79] передбачає, що сигнал сусідньої станції, рівень якого вище деякого значення ($P_0 = 80$ дБм) розглядається як заняття каналу. Передавач в таких умовах не передає дані і відбувається їх затримка в буфері. При меншому рівні сигналу він інтерпретується як шум (перешкода) і дані передаються.

Однак ця оцінка проводиться на передавальній стороні, на стороні приймача рівень перешкод (сигналів від сусідніх станцій) може мати будь-яке значення.

Таким чином, всі джерела перешкод умовно можна розділити на дві групи: джерела, які призводять до заняття каналу (їх не слід враховувати щодо SINR), і джерела, що створюють перешкоди, рівень яких нижче порогового, і їх слід враховувати в цьому відношенні. Джерела перешкод в точці як передачі, так і прийому одні і ті ж, відмінність сигналу перешкоди обумовлено різними умовами поширення між джерелом перешкоди і відповідною точкою (прийому або передачі).

Розглянемо модель, наведену на рис. 3.2. Вона описує деякий інтервал часу, коли один з вузлів мережі (Tx) є передавачем, а другий (Rx) приймачем. На вході кожного з цих вузлів присутній сигнал перешкоди, створований джерелами I_1, \dots, I_k .

Допускаючи адитивний характер перешкод, потужність сигналів перешкоди в точках передачі і прийому визначається як:

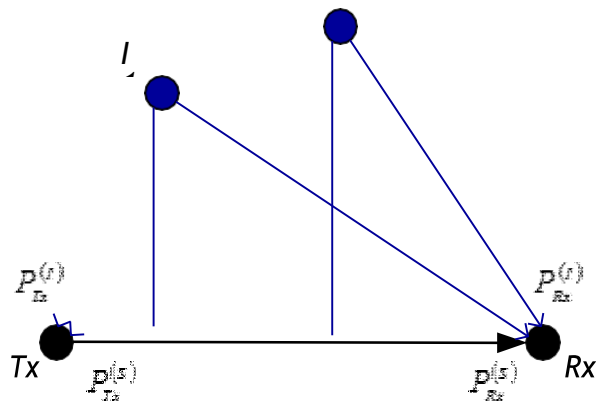


Рисунок 3.2 - Модель впливу перешкод

$$P_{Tx}^{(I)} = \sum_{i=1}^k a_i(P_i^{(I)}, \mathbf{v}_i^{(Tx)}) \quad (3.5)$$

$$P_{Rx}^{(I)} = \sum_{i=1}^k b_i(P_i^{(I)}, \mathbf{v}_i^{(Rx)}) \quad (3.6)$$

де $a(P^{(I)}, \mathbf{v}^{(Tx)})$ і $b(P^{(I)}, \mathbf{v}^{(Rx)})$ функції, що описують залежність потужності перешкоди від i -го джерела на вході відповідного пристрою від умов поширення сигналу, характеризуються (в загальному випадку) безліччю параметрів відповідно. Зокрема, зробимо припущення про те, що ці залежності можуть бути описані однією функціональною залежністю (моделлю загасання)

$$a(P^{(I)}, \mathbf{v}) = b(P^{(I)}, \mathbf{v}) = a(P^{(I)}, \mathbf{v}), \quad i = 1 \dots k, \quad (3.7)$$

де $P^{(I)}$ потужність джерела перешкоди; \mathbf{v}_i - умови розповсюдження сигналу від даного джерела перешкоди.

Зробимо також припущення про те, що умови поширення можуть бути описані відстанню до джерела перешкоди і характеристиками перешкод на шляху поширення сигналу за допомогою моделі загасання [50].

Будемо вважати також, що стан джерела перешкоди випадково, тому він

активний лише частку часу, яка визначається параметрами трафіку і ефективністю використання часового ресурсу каналу. Можна використовувати різні методи опису цього процесу. В даному випадку будемо вважати, що середнє значення частки часу активного стану відомо. Тоді, з урахуванням наявності механізму аналізу стану каналу, середня потужність перешкоди на вході приймача.

$$\hat{P}_{Rx}^{(I)} = \sum_{i=1}^k I_i \eta_i a(P_i^{(I)}, \mathbf{v}_i^{(Rx)}) \quad (3.8)$$

де $I_i = \begin{cases} 1, & a(P_i^{(I)}, \mathbf{v}_i^{(Tx)}) < P_0 \\ 0 & \end{cases}$ індикаторна (характеристична) функція,

характеризує приналежність і-го джерела перешкоди до групи джерел, які слід враховувати при розрахунку SNIR.

Миттєве значення потужності перешкоди:

$$\hat{P}_{Rx}^{(I)}(t) = \sum_{i=1}^k I_i S(t)_i a(P_i^{(I)}, \mathbf{v}_i^{(Rx)}) \quad (3.9)$$

де $S(t)_i = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}$ - випадкова характеристична функція, описує стан і-го джерела

перешкоди. Фактично, вид $S(t)$ визначається трафіком, виробленим і-м джерелом перешкоди. Якщо допустити, що тривалість активного стану джерела перешкоди - випадкова величина, що має експоненціальне розподіл, то агрегований в точці прийому процес також буде мати експоненціальне розподіл часу активного стану, тобто являти собою найпростіший потік. Більш того, якщо розподілу ймовірностей окремих джерел перешкод мають розподілу, відмінні від експоненціального, то відповідно до теореми [16], при досить великій їхній кількості (практично, більше

3) властивості агрегованого потоку будуть прагнути до властивостей найпростішого потоку. будемо думати, що загасання сигналу відбувається згідно моделі, рекомендованої [27] для застосування всередині приміщень (ITU-R тисячі двісті тридцять вісім) [54]:

$$L(d) = 20 \lg(f) + N \lg(r) + P_f(n) - 28 \quad (3.10)$$

де r - відстань (м); f - частота (МГц); N - коефіцієнт втрат потужності. n - кількість перешкод; проходження через перешкоди (дБ).

3.4 Результати імітаційного моделювання

З урахуванням (3.9) і моделі загасання (3.10) побудована імітаційна модель. На рис. 3.3а наведені результати імітаційного моделювання перешкод в точці прийому для пуассоновського поля джерел при щільності 0,016 пристроїв / м² і використання каналного ресурсу $\rho = 0,01$.

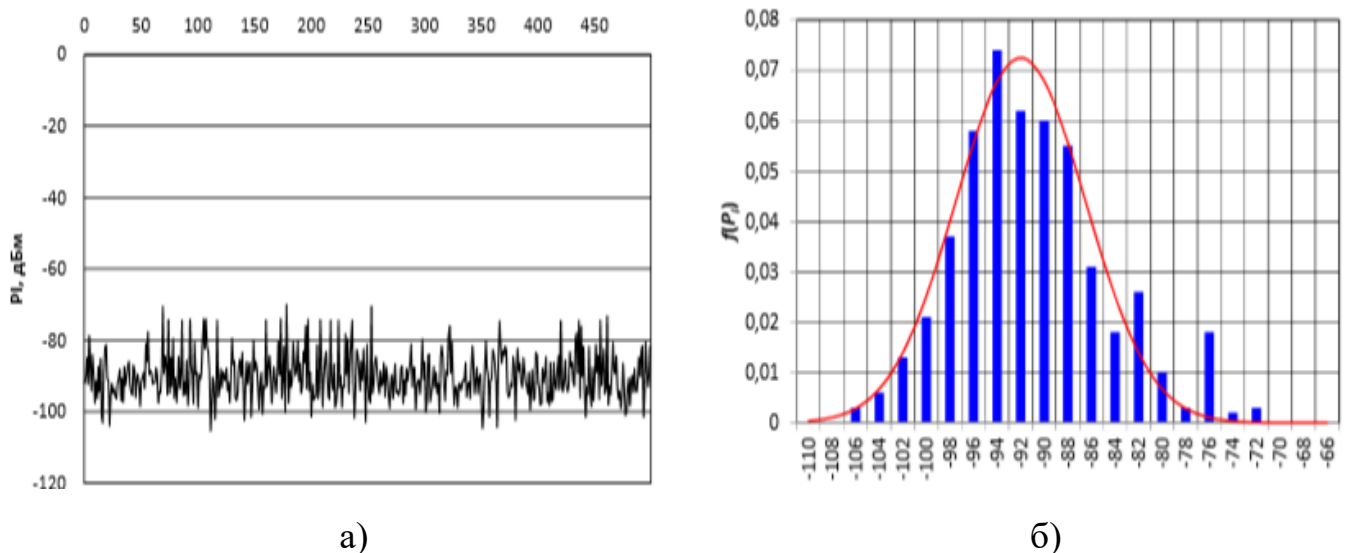


Рисунок 3.3 - Потужність перешкоди в точці прийому і її щільність ймовірності (імітаційне моделювання)

При зазначених умовах середня потужність сигналу перешкоди на вході

приймача склала близько -92 дБм. Щільність ймовірності потужності перешкоди, також наведена на рис. 3.3б, досить близька до нормального розподілу.

За допомогою імітаційної моделі була досліджена залежність потужності перешкоди в точці прийому від щільності пристроїв при різній інтенсивності використання каналу (різному трафіку) [18]. На рис. 3.4 представлена отримана в результаті моделювання залежність, при середньому використанні каналу 0,01, 0,1 і 0,5 і зміні щільності пристроїв від 0,0005 до 0,02 пристроїв / м². При моделюванні потужності всіх джерел вважаються однаковими і рівними 20 дБм, все джерела випадковим чином розміщені в прямокутній області площею 40 000 м².

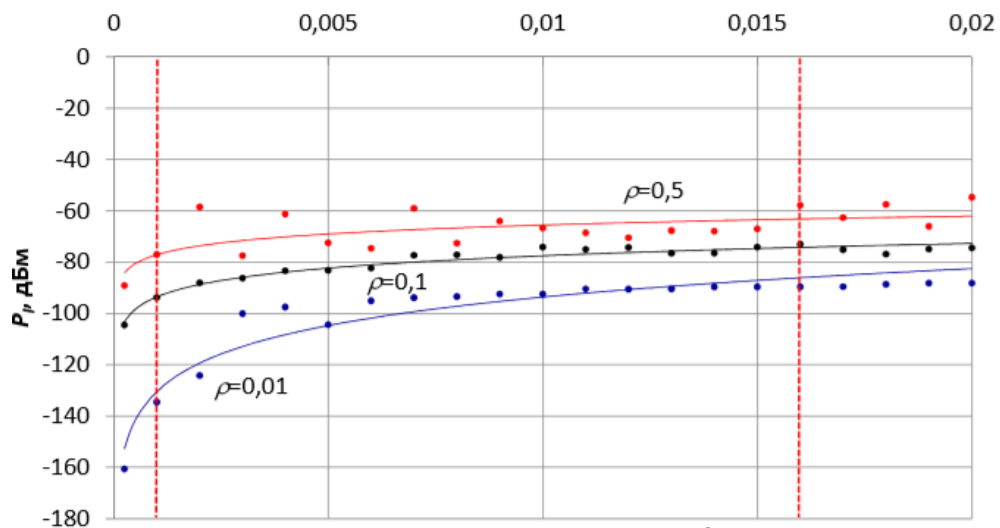


Рисунок 3.4 - Залежність потужності сигналу перешкоди в точці прийому від щільності пристроїв при різному використанні каналу

Отримані залежності досить добре можуть бути описані логарифмічним законом виду:

$$P_I = a \lg(d) - b \quad (\text{дБм}) \quad (3.11)$$

де a і b - константи. У табл. 3.1 наведені значення a і b для різного використання каналного ресурсу ρ .

Апроксимація результатів моделювання дозволила отримати просту емпіричну функцію, що дозволяє встановити залежність потужності перешкоди від щільності терміналів і інтенсивності Таблиця 3.1 - Параметри апроксимації (3.10)

Таблиця 3.1

Параметри апроксимації (3.10)

Використання каналу ρ	значення a	значення b
0,01	16,0	19,9
0,10	6,9	45,5
0,50	5,0	42,4

Апроксимація результатів моделювання дозволила отримати просту емпіричну функцію, що дозволяє встановити залежність потужності перешкоди від щільності терміналів і інтенсивності трафіку.

$$P_I = 3.8 / \rho^{0.3} \lg(d) - 6.8 \lg(\rho) - 53.1 \text{ (дБм)}, \quad (3.12)$$

де d - щільність терміналів / м²; ρ - інтенсивність використання каналу.

На рис. 3.5 наведено приклад залежності швидкості ПД для характерних значень щільності пристроїв 0,016 і 0,001 (1 / м²) при використанні стандарту IEEE 802.11n. У прикладі взята модель загасання сигналу (10) для багатоквартирного будинку в типових умовах міської забудови (нижня крива) і для типового випадку розміщення приватних будівель в заміській місцевості (верхня крива). Ступінчастий характер залежності визначається набором схем модуляції і кодування (MCS), певним в обраному стандарті. Для демонстрації виграшу (в відстані) на малюнку виділена різниця в відстані між користувачами при рівні досяжної швидкості 39 Мбіт / с. Вона становить приблизно 49 м. Ця величина дуже суттєва, так як в деяких випадках перевершує досяжну дальність зв'язку в умовах

міста. Гранична ж дальність зв'язку перевершує в умовах низької щільності аналогічну величину для високої щільності пристроїв більш ніж на 150 м (при тих же умовах моделі).

Як видно з отриманих результатів, для типових значень, характерних для щільності терміналів міській та сільській місцевості, різниця потужності сигналу інтерференції становить близько 45 дБ (при малому використанні каналного ресурсу 0,01) і близько 20 дБ (при відносно високому - 0,1 ... 0,5). Фактично, це означає, що аналогічні результати будуть мати місце і для відношення SINR. Це дозволяє істотно збільшити зону зв'язку і QoS трафіку. Приклади численних оцінок демонструють відчутний виграш в швидкості ПД і дальності зв'язку в умовах низької щільності терміналів.

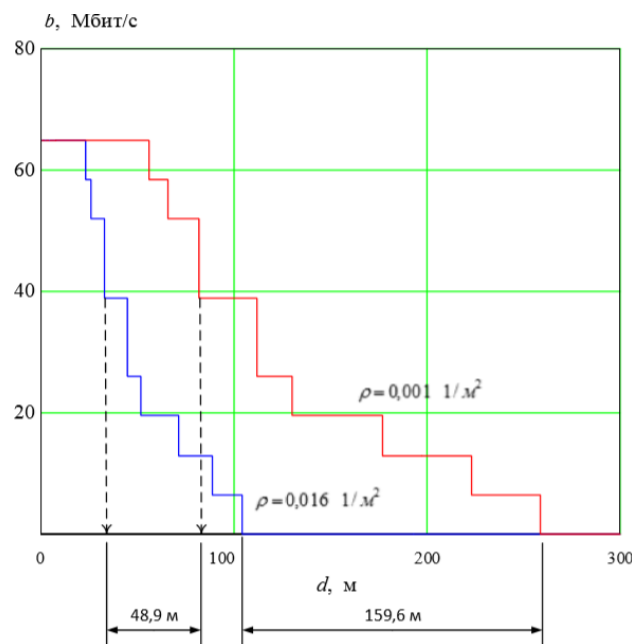


Рисунок 3.5 - Залежність досяжної швидкості ПД для стандарту IEEE 802.11n

3.5 Маршрутизація трафіку в мережі бездротового зв'язку, побудованої із застосуванням D2D технологій

Перспективні мережі зв'язку (5G) є гетерогенними, що виражається у використанні різних технологій на рівні мереж доступу, і застосування різних

методів побудови самих мереж. Наприклад, застосування технологій D2D, як внутрішньосмугових, так і позасмугових, в мережах 5G, дає додаткові можливості в частині підвищення ефективності використання мережевих ресурсів. Як було показано в [6,94,97], застосування Позасмугова технології D2D дає потенційну можливість, за певних умов, організації мережі досить великого масштабу.

Спільне використання D2D технологій дає можливість побудови ad hoc мережі, на базі абонентських терміналів, що підтримують дану функціональність. Якість функціонування такої мережі може бути описано основними параметрами, критичними для реалізації певних послуг. Якщо цільовою послугою є доставка даних від «речей» (досить коротких повідомлень не критичних до затримки, можливо, що допускають втрати), то основним показником може бути ймовірність доставки повідомлення (пакета). Очевидно, що ця ймовірність істотно залежить від структури мережі, як фізичної, так і логічної [93]. Якщо зміна фізичної структури можливе лише з залученням додаткових ресурсів, то зміна логічної структури забезпечується застосовуваними протоколами маршрутизації.

Ефективність маршрутизації трафіку можна оцінити якістю обраних маршрутів. При цьому критерій вибору повинен враховувати ті властивості мережі, які найбільшою мірою відбиваються на якості маршруту.

Якість каналу між двома сусідніми вузлами залежить від ряду факторів, що впливають на поширення радіосигналу і його обробку в радіоприймальному пристрої. В першу чергу, це фактори, що впливають на відношення сигнал / шум (шум + перешкода), такі як відстань, що визначає загасання сигналу в середовищі поширення і перешкоди, які мають місце в точці прийому [26,60,61]. В умовах мережі високої щільності слід очікувати, що найбільша частка перешкод буде створюватися сусідніми вузлами мережі (внутрішньоканальні перешкоди) [19]. Таким чином, при маршрутизації трафіку в бездротової мережі слід визначити критерій, що враховує, по крайній мірі ці основні чинники.

3.5.1 Формулювання завдання

Характер взаємного впливу вузлів мережі бездротового зв'язку, що використовують один і той же частотний канал, може проявлятися двояко.

Розглянемо ситуацію коли, деякий вузол (передавач) мережі повинен передати дані іншому вузлу мережі (приймача), що знаходиться в його зоні зв'язку. Інші вузли мережі також можуть обмінюватися даними. Сигнали, вироблені передавачами цих вузлів, матимуть місце в точках розміщення розглянутих вузлів. Будемо називати їх сторонніми сигналами, а сигнали, вироблені передає вузлом корисними.

По перше, якщо потужність стороннього сигналу (Перешкоди) в точці розміщення передавача корисного сигналу досить велика, то передавач корисного сигналу розцінює стан середовища як зайняте і очікує її звільнення. У цьому випадку відбуваються втрати за часом, тобто зростає навантаження на канал.

По-друге, якщо потужність перешкоди в цій точці досить мала, то передавач виробляє передачу корисного сигналу, а сигнал від іншого джерела в точці прийому створює перешкоду і знижує відношення сигнал / (шум + перешкода). В такому випадку, зниження відношення сигнал / шум, призводить до вибору більш низькій швидкості передачі даних в каналі.

Як можна помітити, в обох випадках, наявність стороннього сигналу призводить до зменшення пропускної здатності каналу між розглянутими вузлами. Таким чином, при побудові маршруту слід прагнути до збільшення потужності корисного сигналу, зменшення енергії сторонніх сигналів, в точці прийому, що можна висловити через відношення SINR.

$$b_{ij} = \varphi(\text{SINR}), \quad (3.13)$$

де $\varphi(\text{SINR})$ - залежність швидкості передачі від співвідношення сигнал / шум, обумовлена стандартом як номер схеми модуляції і кодування (MCS).

Типова залежність для стандарту IEEE 802.11n [79] приведена на рис.3.6.

Для зручності обчислень ступінчасту функцію можна апроксимувати безперервною функцією. В даному випадку використана S-крива виду

$$\tilde{b}_{ij} = \frac{b_m}{1 + e^{\frac{x-x_0}{b_0}}} \quad (3.14)$$

де x_0 – точка напівперегиби (дБ), b_0 – нахил кривої (дБ).

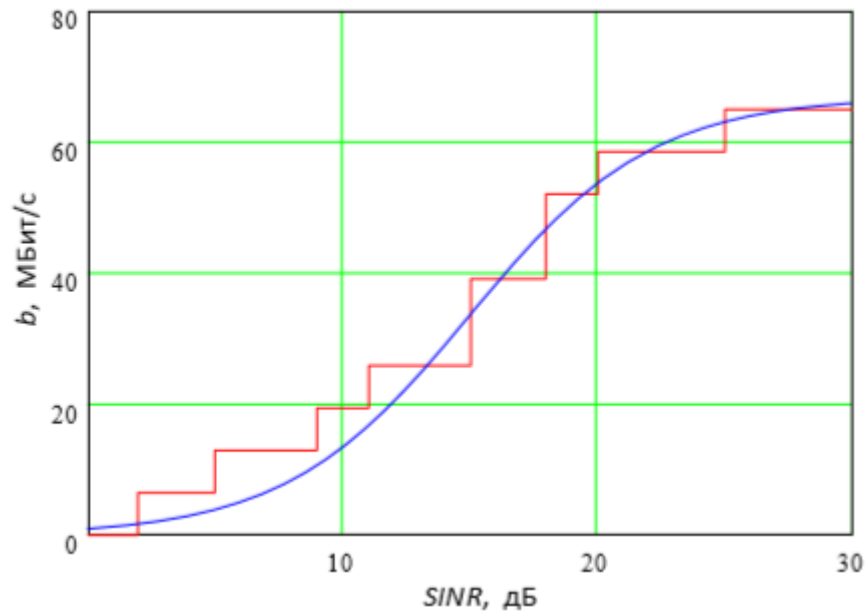


Рисунок 3.6 - Залежність пропускної здатності від відношення SINR сигналу на вході приймача (IEEE 802.11n)

Відношення $SINR$ є визначальним, проте, в ньому враховуються лише потужності, тобто миттєві або середні значення і не враховується трафік, вироблений вузлами мережі, який в кінцевому підсумку, визначає ступінь взаємовпливу. Наприклад, мале гіпотетичне (без урахування трафіку) значення $SINR$ ще не говорить про низьку якість каналу. Якщо враховуються в цих вузлах не виробляють трафіку, то фактичне значення потужності перешкоди дорівнюватиме нулю.

3.5.2 Модель маршруту

Пропускна здатність маршруту визначається пропускною спроможністю його «найгіршої» ділянки. Таким чином, ділянка маршруту, що має найменший стосунок $SINR$ визначає його максимальну пропускну здатність.

Розглянемо модель мережі у вигляді графа заданих безліччю вершин V і дуг $AG(V, A)$, в якому вершини відповідають вузлам мережі, а дуги зв'язків між ними. Зв'язки між вершинами характеризують властивості каналів, які в загальному випадку, не симетричні. Якщо граф зв'язний, то між будь-якою парою вершин s і t може існувати один або більше шляхів, в загальному випадку безліч шляхів \square_{st} . Кожен шлях в графі (маршрут в мережі зв'язку) P між вершинами s і t містить деяке число ділянок k , кожен з ділянок описується відповідною дугою $Pst = \{a_{si}, a_{ij}, \dots, a_{m}, k\}$. Кожна з дуг a_{ij} порівнювати чисельне значення a_{ij} , що відбиває його пропускну здатність. Зокрема, можна вважати $a_{ij} = b_{ij}$.

Таким чином, завдання вибору маршруту в даному випадку можна сформулювати як задачу оптимізації, яка полягає у виборі маршруту з максимальною пропускну спроможністю, яка визначається ділянкою з мінімальною пропускну спроможністю, тобто

$$P^{(\max)} = \max\{\min(a \in P)\} \quad (3.15)$$

Якщо прийняти модель пропускну здатності (3.14) як монотонну не спадаючу ступінчасту функцію від SINR [97], то в якості значення a_{ij} може бути вибрано і значення $SINR_{ij}$, в цьому випадку, якість маршруту буде визначатися ділянкою з мінімальним значенням $SINR_{ij}$. Це твердження може бути доведено, на основі властивостей монотонної неубуваючої функції і прийнятих припущень.

Доведемо, що вибір маршруту з максимальною пропускну спроможністю за критерієм максимуму мінімального її значення для всіх ділянок маршруту еквівалентний вибору маршруту за критерієм максимуму мінімального значення SINR для всіх ділянок маршруту.

Умови.

Нехай маршрут складається з k ділянок $Pst = \{a_{si}, a_{ij}, \dots, a_{m}, k\}$, кожен з яких характеризується величиною пропускну здатності b , залежність якої від величини SINR, описується неубуваючою монотонною функцією $b_{ij} = f(SINR)$. При цьому

пропускна здатність маршруту рівна $B_{ij} = \min\{b \in P\}$

Доведення. Якщо мінімальна пропускна здатність для всіх ділянок маршруту дорівнює $\min\{a, a_r, g_t, j\} = a^{(\min)}$, що означає що ця величина найменша з усіх значень пропускних спроможностей $a^{(\min)} \leq (\forall a \in P)$, а значення пропускної здатності може бути визначено як $a_{i,j} = f(SINR)$ визначається, як $f(SINR_{mm} \leq (\forall f(SINR) \in P)$, в силу того, що f монотонна незгасаюча функція.

Для вирішення даного завдання пошуку маршруту з максимальною пропускною здатністю можуть бути використані алгоритми з теорії графів.

В якості вихідного параметра можна використовувати величину SINR. Алгоритм вибору маршруту може бути різний, в залежності від застосовуваного протоколу маршрутизації. Як приклад розглянемо застосування алгоритму, заснованого на застосуванні тримісної операції [29] виду:

$$SINR_{ij} = \max\{SINR_{ij}, \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})\} \quad (3.16)$$

де $SINR_{ij}$ це відношення сигнал / (шум + перешкода) на вході приймача вузла при прийомі сигналу від вузла i , яке визначається наступним чином:

$$SINR_{ij} = \lg \frac{P_{ij}}{P_N + P_I} \text{ дБ} \quad (3.17)$$

де P_{ij} потужність сигналу, що передається i -м вузлом на вході j -го вузла з урахуванням загасання сигналу в середовищі поширення (Вт);

P_n - потужність шуму на вході j -го вузла (Вт);

P_i - потужність інтерференції на вході j -го вузла (Вт).

У мережі відносно високої щільності $P_I \gg P_N$, тому зробимо припущення, і будемо далі думати, що:

$$SINR_j \approx \lg \frac{P_j}{P_{I(j)}} \quad (3.18)$$

де P_{ij} - сумарна потужність інтерференції, виробленої вузлами мережі на вході j -го вузла.

Припустимо, що гіпотетична сумарна потужність сигналів інтерференції, може бути отримана, простим підсумовуванням потужностей сигналів від відповідних вузлів при припущенні, що всі вони одночасно передають ці сигнали:

$$P_{I(j)} = 0,001 \sum_{k=1}^n 10^{\frac{P_k - A(d_{jk})}{10}} \text{ Вт, } k \neq i, j \quad (3.19)$$

P_k потужність сигналу на виході передавача k -го вузла (дБм);

$A(d)$ - затування сигналу, виробленого k -м вузлом в струмі розміщення j -го вузла (дБ);

d_{jk} - відстань між k -м і j -м вузлами (м).

В якості залежності затування від відстані може бути обрана модель, в найбільшій мірі відповідна до реальних умов розповсюдження сигналу.

Вважаючи, що більшість користувачів D2D зосереджені всередині приміщень, опишемо загасання сигналу моделлю, рекомендованою [54] для застосування всередині приміщень (ITU-R 1238)

$$A(d) = 20 \lg(f) + N \lg(d) + P_f(n) - 28 \text{ дБ} \quad (3.20)$$

де d – відстань (м);

f - частота (МГц);

N – коефіцієнт втрати потужності;

n – кількість перешкод;

$P_f(n)$ – параметр втрати потужності при проходженні через перешкоду(дб).

3.5.3 Комплексний метод вибору маршруту

Величина потужності, як було зазначено вище, є гіпотетичною. Вона відображає лише потенційно можливу потужність перешкоди, за умови, що всі вузли мережі, що створюють перешкоду, одночасно знаходяться в стані передачі. Зрозуміло, що практично, ймовірність такої ситуації прагне до нуля. Однак, дана модель корисна, так як дає можливість знайти маршрути, найменш схильні до перешкод.

Використовуючи для вибору маршруту критерій (3.16) ми вважаємо, що величина SINR є визначальною величиною, рівною мірою критичною для всіх ділянок маршрутів. Таке твердження справедливе, в тому випадку, коли активність всіх вузлів мережі строго однакова і визначається трафіком, виробленим ними. Дійсно, сигнал перешкоди має місце лише в тому випадку, коли відповідний вузол передає дані, а ймовірність цього ρ_i визначається інтенсивністю виробленого трафіку a_i

$$\rho_i = a_i b_i \quad (3.21)$$

де b_i - пропускна здатність каналу (біт / с);

a_i - інтенсивність трафіку (біт / с).

Таким чином, в різномірній мережі, при наявності даних про інтенсивність трафіку, величина ρ_i характеризує ступінь впливу перешкоди, виробленої відповідним вузлом на пропускну спроможність ділянки маршруту. Енергія сигналу, виробленого i -м вузлом мережі за час Δt дорівнює $e_i = \rho_i P_i \Delta t$, тоді величину ρ_i можна розглядати як середню потужність сигналу, виробленого i -м вузлом мережі P_i . У такому випадку вираз (3.17) можна модифікувати з урахуванням впливу трафіку, замінивши P_k на їх середні значення $P_k = \rho_k P_k$. Тоді результуюче значення відношення сигнал / (шум + перешкода), отримане згідно (3.15) або (3.16) також потрібно буде розглядати як середнє значення $SINR_{ij}$.

Використовуючи цей показник в задачі вибору маршруту, результат вибору маршруту з найбільшою пропускну здатністю буде визначатися як відношенням сигнал / (шум + перешкода), так і трафіком, виробленим вузлами мережі.

Друга модель є більш загальною, тому що в разі, коли всі значення інтенсивності трафіку рівні $\rho_i = \rho_i = 1 \dots n$, застосування першої моделі, її застосування еквівалентно.

Корисність першої моделі полягає в тому, що вона демонструє той випадок, коли слід враховувати тільки вплив *SINR* і не слід враховувати трафік. На практиці, це може мати місце тоді, коли величина трафіку невідома і її доводиться прийняти рівною для всіх вузлів мережі, або коли інтенсивність трафіку настільки висока, що слід орієнтуватися виключно на мінімум впливу сусідніх вузлів мережі. Варто відзначити, що в разі, коли інтенсивність трафіку вузлів мережі мала, і їх впливом можна знехтувати, то вираз (3.16) для *SINR* втрачає сенс і його слід замінити виразом для потужності корисного сигналу $P_{ij} \approx 10 \lg P_{ij}/0,001$ дБм і далі вирішувати завдання пошуку маршруту тільки з урахуванням цих значень.

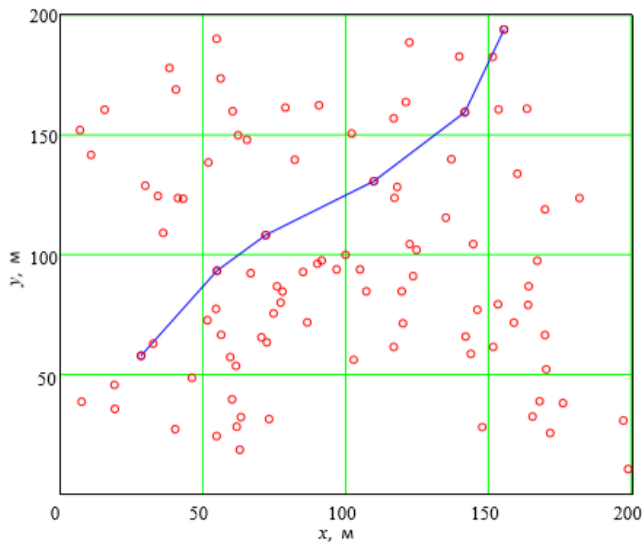
Для дослідження маршрутів була побудована імітаційна модель, що описує маршрутизацію в мережі, розміщеної в двовимірному просторі в зоні обслуговування, що представляє квадрат зі стороною 200 м. У зоні обслуговування вузли мережі розміщені випадковим чином, тобто координати x і y вузлів мережі, являють собою незалежні випадкові числа з рівномірним законом розподілу. Вважаємо, що кожен з вузлів мережі може бути пов'язаний з кожним вузлом. При дослідженні вибираються випадкові пари вузлів і будуються маршрути між ними.

На рис. 3.7 наведені результати імітаційного моделювання вибору маршруту між двома вузлами мережі відповідно до критерію мінімальної відстані а) і максимуму пропускну здатності, з урахуванням перешкоди б).

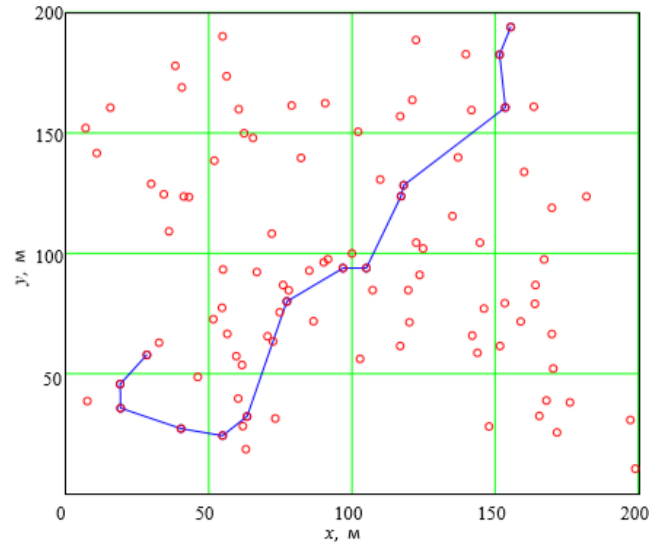
Видно, що протяжність маршруту, побудованого за другим критерієм суттєво більше (в першому випадку 4 транзитних вузла, в другому 12 транзитних вузлів).

На рис. 3.8 наведені приклади вибору маршруту між двома вузлами мережі відповідно до критерію максимуму пропускну здатності, з урахуванням

інтерференції а) і максимуму пропускної здатності, з урахуванням інтерференції і інтенсивності трафіку б).



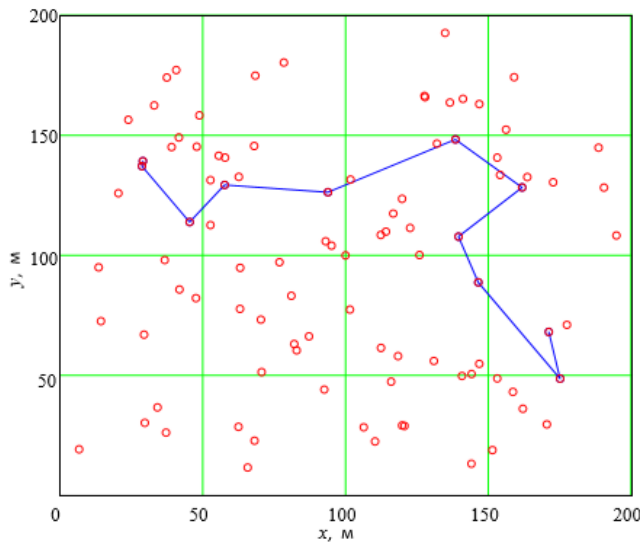
а)



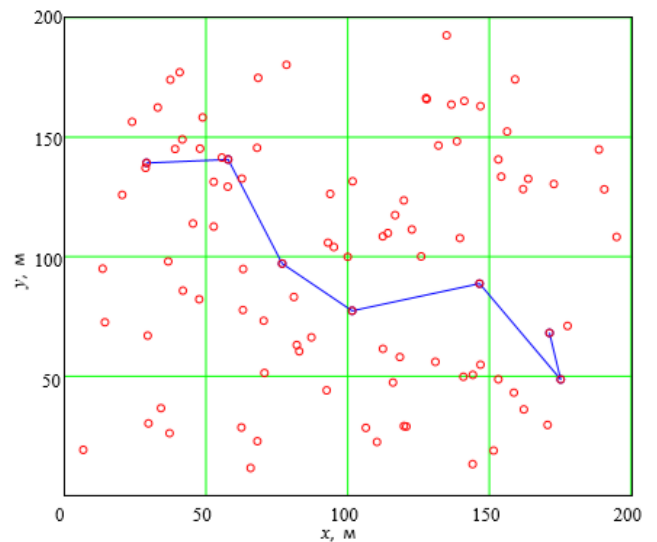
б)

Рисунок 3.7 - Приклади вибору маршрутів за критеріями довжини (відстані)

а) і максимуму пропускної здатності б)



а)



б)

Рисунок 3.8 - Приклади вибору маршрутів з урахуванням і без урахування інтенсивності трафіку

З наведених прикладів видно, що прийняття в розрахунок інтерференції, виробленої сигналами вузлів мережі, істотно впливає на вибір маршруту. Аналіз результатів імітаційного моделювання показав, що в порівнянні з маршрутом, обраним за критерієм відстані (найкоротшим в сенсі відстані), в середньому збільшується кількість транзитів (стрибків). Це пояснюється вибором ділянок з максимальним відношенням SINR, величина якого обернено пропорційна відстані між передавальними і приймальними вузлами. Збільшення кількості транзитів, в загальному, є фактором, що негативно впливає на якість маршруту, тому, його доцільно враховувати при пошуку рішення. Розглянемо комплексний критерій вибору маршруту по максимуму пропускної здатності і мінімуму кількості транзитів.

Так як одночасне застосування двох критеріїв на кожному кроці процедури пошуку маршруту неможливо сформулюємо умову для переваги одного з них. Ймовірно, можна припустити, що суворе застосування критерію (3.16) не завжди виправдано. Наприклад, якщо різниця між $SINR_{ij}$ і $\min(SINR_{ik}, SINR_{kj})$ мала то вибір додаткового транзиту через k -й вузол не виправданий.

$$SINR_{ij} = \begin{cases} \max\{SINR_{ij}, \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})\}, & |SINR_{ij} - \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})| > \varepsilon_0 \\ SINR_{ij} \end{cases} \quad (3.22)$$

Для вибору цієї величини будемо виходити з таких міркувань. Збільшення кількості транзитних вузлів у маршруті збільшує трафік, вироблений в мережі (використання середовища поширення), отже, і потужність перешкоди для інших вузлів мережі, зменшуючи тим самим для них відношення SINR. Будемо вважати, що рішення про вибір додаткового транзитного вузла доцільно лише тоді, коли вигравш, який виражається через ε_0 перевищує зниження величини SINR для інших вузлів. в (3.22) застосування описаного методу можна, можливо описати алгоритм.

Вхід: Зважений граф $G(V, E)$

вихід: Масив мінімальних значень $\text{sinr}[i][j]$, масив маршрутів $\text{next}[i][j]$


```

масив довжин дуг dist [i] [j]
let dist be anxn масив довжин найкоротших шляхів ( $\infty$  infinity)
let sinr be anxn масив значень мінімальних значень SINR
let next be anxn | масив номерів вершин найкоротших шляхів
procedure opt-rout ()
for each edge (u, v)
  dist [u] [v]  $\leftarrow$  d (u, v) // довжина ребра,
  d(U, v) sinr [u] [v]  $\leftarrow$  sinr (u, v) // величина  $\sinr(U, v)$  next [u] [v]  $\leftarrow$  v
// номер вершини в маршруті
for k from 1 to n // Основний цикл
for i from 1 to n
for j from 1 to n
if  $\sinr[i][j] - \min(\sinr[i][k] + \sinr[k][j]) < \epsilon_0$ 
then
   $\sinr [i][j] \leftarrow \min(\sinr[i][k] + \sinr[k][j])$  next[i][j]  $\leftarrow$  next[i][k]

```

На рис.3.9 наведені результати імітаційного моделювання маршрутів за критеріями довжини а), максимуму пропускної здатності б) і комбінованого критерію в) і г). Найкоротший маршрут містить мінімальну кількість транзитів (4 транзитних вузла). Маршрут, обраний з урахуванням пропускної здатності (при припущенні рівності інтенсивності трафіку всіх вузлів) наведено на рис. 3.9б, він містить 30 транзитних вузлів. Результати, отримані при використанні комбінованого критерію, наведені на малюнках в) і г), вони містять 18 і 10 транзитних вузлів, відповідно. Різниця між двома останніми результатами полягають у тому, що в першому випадку (рис.3.9в) критична величина $\epsilon_0 = 2$ дБ а в другому випадку (рис. 3.9г) $\epsilon_0 = 5$ дБ.

Отримані результати показали, що застосування простих критеріїв вибору маршруту по одному з параметрів дають приватні рішення, які можуть виявитися, практично, малоприматними через занадто великої кількості транзитів.

Запропонований метод вибору маршруту з застосуванням комбінованого критерію (3.22) дає можливість знайти компроміс між довжиною маршруту

(кількістю транзитів) і якістю маршруту.

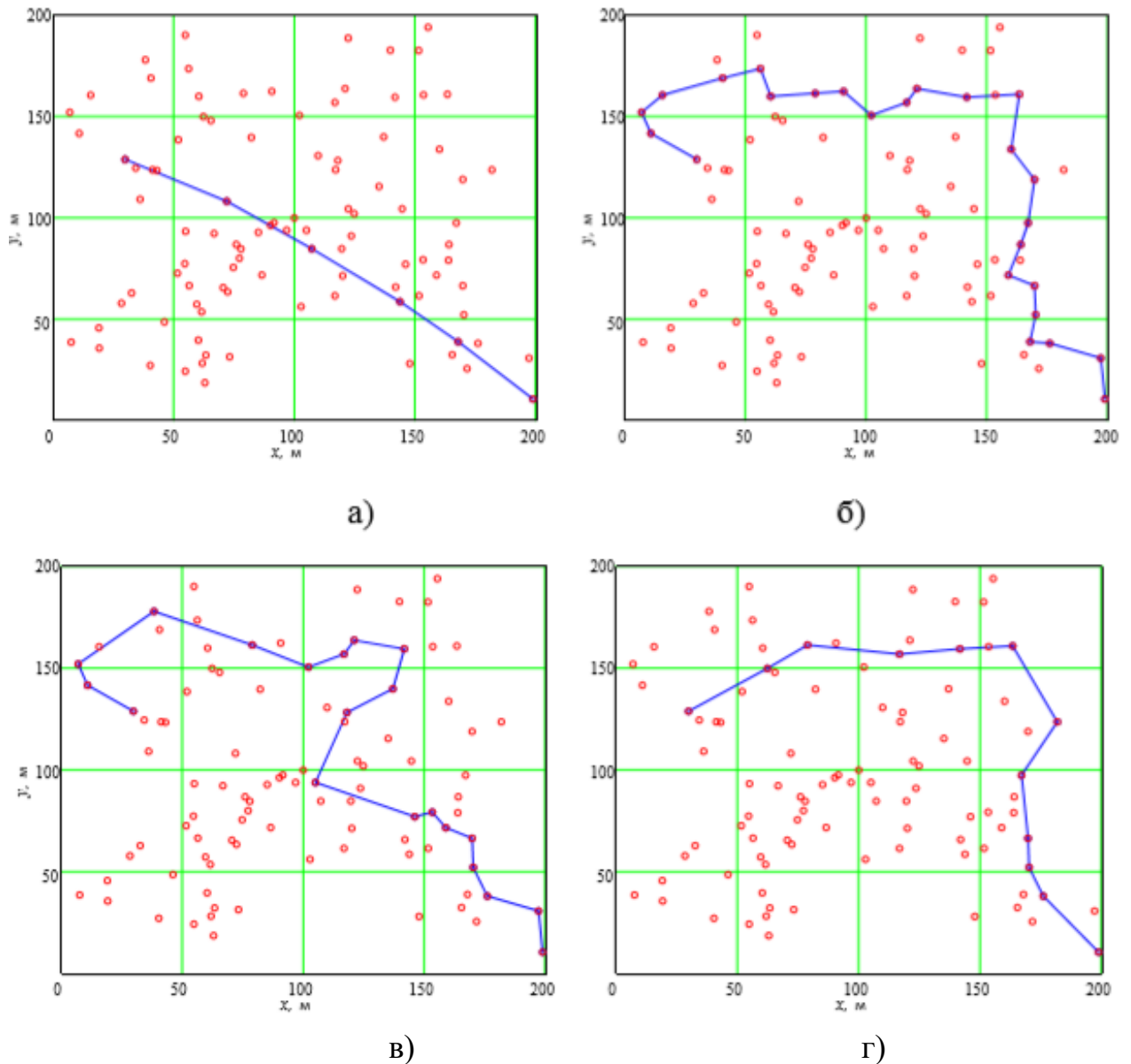


Рисунок 3.9 - Приклади вибору маршрутів за критеріями довжини - а, максимуму пропускної здатності - б і комбінованого критерію - в і г

Як було зазначено вище, параметри обраного маршруту впливають на мережу зв'язку. Кожен з транзитних вузлів маршруту обслуговує вироблений ним трафік, а транзитний трафік. Один вузол може брати участь в декількох маршрутах, отже, величина обслуговується ними трафіку буде визначатися кількістю маршрутів, в яких він виконує роль транзитного вузла. Будемо вважати, що всі вузли виробляють трафік рівний інтенсивності a_0 , опишемо величини трафіку, то

обслуговується вузлом відношенням a/a_0 , де a - загальний трафік, який обслуговується вузлом мережі.

На рис.3.10 наведені результати дослідження за допомогою імітаційного моделювання залежності відносної величини трафіку, що обслуговується вузлом від величини виграшу ε_0 .

Опишемо цей вплив на мережу середньою величиною трафіку, що обслуговується вузлом мережі.

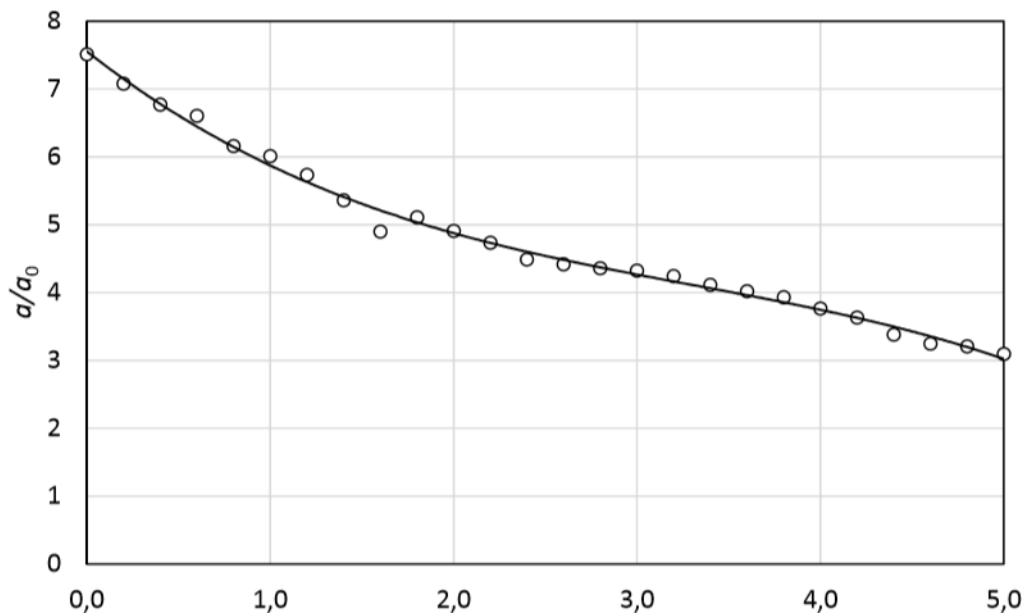


Рисунок 3.10 - Залежність відносної величини навантаження на вузол мережі від величини виграшу ε_0

З результатів, наведених на рис.3.10 видно, що зі збільшенням величини ε_0 відносна величина трафіку, що обслуговується вузлом зменшується. Це пов'язано зі зменшенням довжини маршруту. Ці дані можна інтерпретувати як те, що в середньому, кожен з вузлів мережі обслуговує від 3 при $\varepsilon_0 = 5\text{Б}$ до 7,5 при $\varepsilon_0 = 0$ дБ потоків трафіку.

Потужність перешкоди, отже, і величина $SINR$ і характеристики маршруту, згідно з наведеними вище міркувань залежать від взаємного розташування вузлів мережі, яке в свою чергу визначається конкретною реалізацією мережі, тобто може

бути найрізноманітнішим. Для прийнятої в імітаційній моделі пуассонового поля для опису мережі зручно використовувати абонентську щільність, тобто кількість терміналів на одиницю площі. У такому випадку потужність перешкоди і довжина маршруту будуть залежати від щільності вузлів мережі. На рис.3.11 наведено залежності, отримані в результаті імітаційного моделювання.

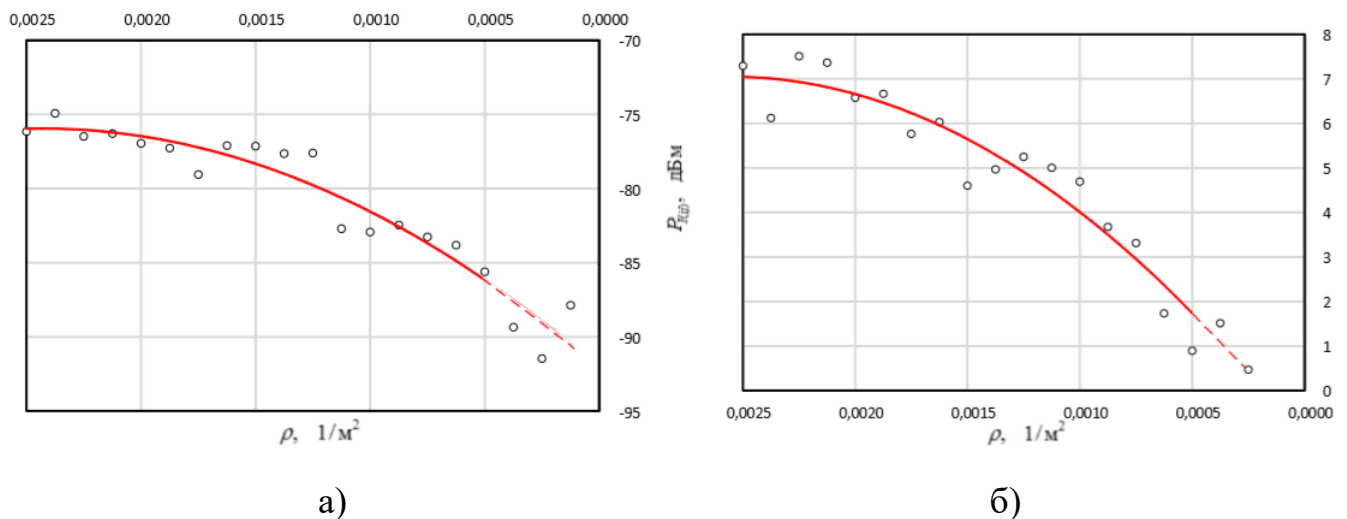


Рисунок 3.11 - Зміна потужності інтерференції зі зміною щільності вузлів мережі

Отримані залежності показують, що зі зменшенням щільності користувачів зменшуються, як середня потужність перешкоди, так і середня довжина маршруту. З урахуванням наведених вище міркувань ці результати хвили очікувані. Вони підтверджують те, що в умовах мережі щодо низької щільності, організація маршрутів може бути ефективним засобом побудови мережі.

Права частина кривих на малюнках 3.11а і 3.11б (при щільності менше 0,005 $1 / m^2$) має, скоріше, теоретичний сенс, тому що при занадто малій щільності терміналів відстані між ними зростають настільки, що ймовірність побудови маршруту, при випадковому розподілі вузлів, прагне до нуля. Практично, побудова маршрутів в такому випадку доцільно лише в конкретних випадках, тобто при не випадковому виборі положення вузлів мережі.

Наведена вище гіпотетична модель мережі передбачає, що кожен з вузлів

може виконувати функції транзитного вузла, проте в реальному мережі це не завжди так. Тому, предметом подальших досліджень може бути дослідження методів вибору транзитних вузлів на параметри функціонування мережі.

3.6 Висновки до розділу 3

1. Застосування технологій D2D дозволяє істотно розширити можливості бездротової мережі зв'язку використовуючи mesh-структуру за рахунок вивантаження частки трафіку з базової мережі та децентралізації його обслуговування.

2. За допомогою імітаційного моделювання була встановлена емпірична залежність потужності перешкоди від щільності пристроїв і інтенсивності трафіку, що обслуговується ними.

3. Визначено, що для типових значень щільності користувачів і пристроїв в міському середовищі і в сільській місцевості різниця потужності перешкод може становити від 20 до 45 дБ, що забезпечує істотний вигравш в якості і дальності зв'язку в сільській місцевості по відношенню до міських умов.

Отримані результати показують, що D2D-технології в умовах низької щільності користувачів і пристроїв мають навіть більшу ефективність за рахунок низького рівня інтерференції, і як наслідок, підвищення QoS і досяжною дальністю зв'язку

4. Потенційні можливості D2D технологій дозволяють об'єднати в мережу значна кількість пристроїв, якщо останні мають функціональні можливості маршрутизації трафіку.

5. Теоретично, існуюча абонентська щільність терміналів дозволяє побудувати мережу з високою ймовірністю зв'язності, що дає потенційну можливість доставки даних, використовуючи тільки ресурси кінцевих пристроїв.

6. Маршрутизація трафіку в мережі бездротового зв'язку, побудованої із застосуванням D2D може реалізовуватися на основі різних алгоритмів і критеріїв вибору маршрутів.

7. Найбільш універсальним критерієм вибору маршруту є пропускна здатність, яка пов'язана з відношенням сигнал / (шум + перешкода).
8. Вибір маршруту з урахуванням впливу внутріканальних перешкод тільки на ділянки маршруту призводить до збільшення його довжини (числа транзитів).
9. Запропоновано комплексний критерій і метод вибору маршрутів з урахуванням впливу внутрішньоканальних перешкод як на елементи маршруту, так і на елементи всієї розглянутої мережі.
10. Запропонований метод дозволяє отримати компромісне рішення, яке враховує як якість обраного маршруту, так і ступінь впливу цього рішення на якість функціонування мережі.
11. Результати імітаційного моделювання підтвердили, що в мережі з відносно низькою щільністю користувачів організація маршрутів з використанням D2D технологій може забезпечити побудову мережі досить великого масштабу.

РОЗДІЛ 4

МЕТОД ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ D2D З ВИКОРИСТАННЯМ ДОДАТКОВИХ МАРШРУТИЗАТОРІВ

4.1 Позасмугова кластеризація

Побудова перспективних мереж зв'язку п'ятого покоління 5G [5] передбачає широке використання таких методів підвищення ефективності функціонування мережі, як внутрішньосмугова і позасмугова маршрутизація. У ряді робіт [6,61,97] розглянуті питання, пов'язані із застосуванням внутрішньосмугової кластеризації. В роботі [60] показана ефективність застосування позасмугової кластеризації як засобу підвищення ефективності використання мережевих ресурсів. У даній роботі також розглянемо проблеми, пов'язані із застосуванням позасмугової кластеризації і технологій зв'язку пристрій-пристрій (D2D), і запропонуємо метод побудови мережі зв'язку на базі технологій D2D з використанням додаткових маршрутизаторів.

Позасмугова кластеризація в даний час реалізується з використанням технологій Wi-Fi direct, які дозволяють реалізувати канал зв'язку з найближчими пристроями «безпосередньо», тобто минаючи базову станцію мережі рухомого зв'язку. Така можливість у перспективних мережах розглядається як додаткова функціональність абонентських терміналів, що дозволяє створювати мережі з використанням тільки горизонтальних зв'язків. Подібні можливості можуть знайти застосування в умовах відмов обладнання мережі оператора зв'язку, в надзвичайних ситуаціях, при перевантаженнях мережі, а також в нормальних умовах з метою вивантаження трафіку з мережі рухомого зв'язку [102,103].

Наприклад, в роботах [95,100] робиться аналіз потенційних можливостей побудови мережі в умовах високої щільності абонентських терміналів. Ці можливості забезпечують високу ймовірність побудови горизонтальних зв'язків в мережі значного масштабу.

Природно, що існують фізичні обмеження, які не дозволяють побудувати

мережу довільного масштабу. Розмір мережі обмежений, перш за все, ресурсами загального середовища поширення. Однак, в ряді випадків, при відносно малій інтенсивності трафіку, а також при вирішенні питань організації протоколів маршрутизації, можлива побудова мережі досить великого масштабу.

Як було зазначено вище, побудова таких мереж дає додаткові можливості в забезпеченні надійності зв'язку між абонентами, а також дає можливість організувати збір і доставку даних з пристроїв Інтернету речей.

4.2 Кооперативні мережі

Розглядаючи таку мережу як самоорганізовану, виникає ряд питань, пов'язаних з використанням ресурсів абонентських терміналів. Природно, що при побудові такої мережі можуть брати участь тільки термінали тих користувачів, які прийняли відповідні умови і дозволили використання їх терміналів. Таке використання, потенційно, несе ряд негативних для користувача моментів, таких як додаткові витрати енергії, а також додаткові загрози безпеки особистих даних. При цьому кількість потенційних користувачів буде набагато менше, ніж загальна кількість користувачів мережі, що тягне за собою зменшення щільності терміналів-вузлів мережі, а, отже, і потенційних можливостей організації горизонтальних зв'язків.

Ця проблема в свій час стала перешкодою на шляху широкого впровадження так званих кооперативних мереж. Теорія кооперативних мереж була вельми популярна на етапі розробки і впровадження систем тривалої еволюції LTE [56]. До розробки та впровадження систем LTE зона базової станції представляла собою радіальну мережу. Добре відомо, що така структура не тільки сама ненадійна, але і сама неефективна як по енергоспоживанню, так і в питаннях забезпечення необхідної якості обслуговування і якості сприйняття, особливо для користувачів, що знаходяться на кордоні зони обслуговування.

До моменту розробки та впровадження систем тривалої еволюції зона базової станції вже перестала бути однорідною і придбала всі риси гетерогенності. Дійсно,

в зонах базової станції, найчастіше і одночасно, функціонували бездротові сенсорні мережі WSN, мережі транспортних засобів VANET, медичні мережі MBAN і т.д. Якщо який-небудь з об'єктів цих мереж опинявся ближче до базової станції, то теоретично його можна було б використовувати в якості транзитного вузла, зменшуючи при енергоспоживанні терміналів мережі і покращуючи якість обслуговування за рахунок скорочення граничних відстаней між об'єктами. Відомо, що пропускна здатність на маршруті визначається як пропускна здатність найгіршого ділянки. У такій гетерогенній мережі довжина найгіршого ділянки зменшувалася в порівнянні з безпосереднім з'єднанням між терміналом мережі і базовою станцією. Крім того, мережа переставала бути радіальною, переходила в розряд mesh мереж. При цьому могла бути забезпечена і істотна найкраща надійність мережі. Однак широкого поширення кооперативні мережі не отримали по ряду організаційно-технічних причин.

Традиційно в рамках досліджень по кооперативним мереж розглядалися три варіанти кооперації. Найбільш простим варіантом була установка додаткових ретрансляторів в зоні базової станції, наприклад, в місцях поганої радіовидимості або на кордонах зони охоплення базовою станцією. Однак цей варіант масово не міг застосовуватися в силу суттєвих витрат на установку додаткового обладнання, включаючи його розміщення. У необхідних випадках цей варіант використовувався і використовується, але масовим він не став по згаданій вище причині.

Другий варіант кооперації був пов'язаний якраз з згадуваними вже гетерогенними мережами, коли в якості додаткових ретрансляторів могли бути використані головний вузол або базова станція бездротової сенсорної мережі, автомобіль мережі транспортних засобів, базова станція медичної мережі. Однак, як правило, ці елементи мережі належать різним операторським і провайдерським компаніям і знайти компромісний варіант їх спільного використання з терміналами стільникових мереж виявилось не так просто.

Найпривабливішим представлявся третій варіант створення кооперативних мереж. У цьому випадку в якості кооператорів виступали самі термінали

користувачів мережі, які перебували ближче до базової станції, ніж термінал, запитуваний послугу кооперативної мережі для отримання кращої якості обслуговування, та ще й при менших витратах енергії. Було запропоновано досить велика кількість моделей, побудованих, в основному, на положенні про те, що термінал-кооператор отримує якісь бали за рахунок надання функції кооперації і додаткової витрати енергії, які він може потім використовувати в якості платежів за обслуговування, сам запитуючи кооперативне обслуговування при знаходженні, наприклад, поблизу кордону зони обслуговування базової станції.

При всьому при цьому дослідні роботи в області кооперативних мереж дозволили виявити їхні переваги і недоліки і використовувати позитивний досвід в дослідженнях з побудови мереж зв'язку п'ятого покоління. Як вже вище зазначалося, мережі зв'язку п'ятого покоління є сильно гетерогенними, надщільними і з ультрамалими затримками. Властивість надщільності якраз добре поєднується з теорією кооперативних мереж, коли треба знайти відповідний для кооперації вузол мережі. Особливо це помітно на прикладі мереж зв'язку D2D. Дійсно, переходячи від розгляду D2D як тільки взаємодії до створення D2D мереж необхідно забезпечити транзитні функції для окремих вузлів мережі D2D. Тільки в цьому випадку ми отримаємо мережу D2D, причому число транзитних вузлів в одному з'єднанні, строго кажучи, не обмежена. Тим не менш корисно згадати досвід по розробці і спробам широкого впровадження кооперативних мереж. Дійсно, використовувати термінали користувачів мережі для додаткової маршрутизації в будь-якому випадку недоцільно, оскільки не існує добре відпрацьованих процедур взаємного обліку споживання енергії та надання послуг з кращими параметрами. З іншого боку, використання в якості додаткових маршрутизаторів стандартних терміналів мережі є надзвичайно привабливим і внаслідок можливості використання одних і тих же протоколів, процедур ідентифікації, аутентифікації і т.д.

Мало того, введення адекватних додаткових маршрутизаторів в мережу дозволить при необхідності забезпечити і функції законного перехоплення трафіку.

У зв'язку з викладеним досягти бажаної мети можливо, в першу чергу,

шляхом введення в мережу додаткових вузлів - терміналів, які візьмуть на себе небажані для користувачів функції. Так, якщо функції маршрутизації і транзитних вузлів будуть виконувати тільки вводяться вузли, то термінали користувачів не будуть нести додаткових витрат енергії. В якості таких вводяться вузлів можуть бути використані стандартні термінали мереж зв'язку, що належать або самому оператору зв'язку, або провайдеру, який здійснює свою діяльність на територіях спортивних центрів, торгових центрів і т.п.

4.3 Модель мережі

Зі сказаного вище випливає, що для забезпечення функціонування мережі навіть при досить високій щільності користувачів бажано мати кошти, які гарантовано або з достатнім ступенем впевненості забезпечать можливість побудови маршрутів між терміналами користувачів. Будемо виходити з припущення, що можливість маршрутизації трафіку через термінали користувачів підтримується тільки деякою часткою цих терміналів. При цьому в мережу можливо ввести додаткові вузли - маршрутизатори, які не виробляють власного трафіку, а їх основною функцією є транзит трафіку, виробленого терміналами користувачів. Будемо вважати, що маршрутизатори не мають необмеженого запасу енергії, фактично дані допущення припускають створення деякої додаткової мережевої інфраструктури, яка дозволяє розширити можливості мережі за рахунок введення додаткових вузлів. З огляду на те, що функціонально додаткові вузли аналогічні абонентським терміналам, їх введення може бути досить дешевим рішенням для забезпечення функціональних можливостей мережі.

Основними завданнями в такому випадку є завдання вибору місця розташування і кількості маршрутизаторів (транзитних вузлів).

Будемо вважати, що в деякій зоні обслуговування, що представляє двовимірну область, розміщені nT терміналів користувачів, які можуть бути вузлами мережі. У цій же області може бути розміщено nM додаткових вузлів - маршрутизаторів. Загальна кількість вузлів в зоні обслуговування $n = nT + nM$, а

частка маршрутизаторів становить $\eta = n_M/n$.

У задачі будемо враховувати такі фактори як відстані між вузлами d_{ij} , потужності переданих сигналів P_i , загасання сигналу A_{ij} , вироблений трафік a_i . Будемо вважати, що передаючи сигнали, вузли створюють перешкоди іншим вузлам мережі, які впливають на якість прийому, яке характеризується відношенням сигнал / (шум плюс перешкода) SINR. Якщо потужність перешкоди на вході приймача більше деякої величини, то канал вважається зайнятим, в іншому випадку, перешкода впливає на якість каналу через величину SINR [19], що виражається в зменшенні швидкості передачі даних [97].

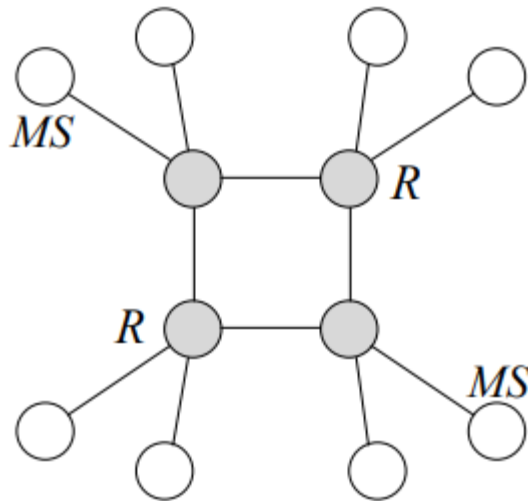


Рисунок 4.1 - Модель мережі

Вважаємо, що вузли мережі розміщені в зоні обслуговування випадковим чином, тобто утворюють пуассонівське поле. Координати вузлів (x_i, y_i) представляють собою незалежні випадкові числа, які мають рівномірний розподіл.

4.4 Вибір місця Розташування для розміщення транзитних вузлів

Зробимо припущення про те, що вузли мережі (термінали користувачів) випадково розподілені в зоні обслуговування. У зв'язку з цим в кожній з точок зони

обслуговування має місце різний рівень (Потужність) перешкод, створюваних вузлами мережі

$$P_{\text{int}}(x, y) = \sum_{i=1}^n \rho_i 10^{\frac{1}{10}(P_i^{(TX)} - A(d))} \quad (4.1)$$

де ρ_i - доля часу, на протязі якого i -й вузол передає дані. (використання каналу даним вузлом);

$P_i^{(TX)}$ - потужність передавача i -го вузла(дБм

$A(d)$ - затухання сигналу на відстані d від передавача (дБ), в данном випадку випадково прийнята модель;

d - відстань між i -м вузлом і точкою (x, y) (м).

На рис. 4.2 приведена ілюстрація рівня перешкод, що створюється сигналами вузлів мережі в кожній з точки зони обслуговування, згідно (4.1)

На рис.4.2а приведена структура моделі мережі, а на рис.4.2б розподіл потужності перешкод. Більш світлий відтінок відповідає меншій потужності перешкод.

Якщо ви вибрали місце транзитного вузла будемо прагнути до того, щоб умови прийому в цій точці були найкращими. Будемо вважати, що умови прийому визначаються величиною відношення сигнал / (перешкода + шум). Будемо називати це відношення $SINR$, вважаючи, що потужність перешкод значно перевищує потужність інших шумів. Це відношення може бути визначено для конкретного вузла. Якщо говорити про безліч вузлів, оскільки бажано, щоб транзитний вузол обслуговував трафік більш ніж одного вузла, то його значення буде випадковим і залежати від того як вибрати це безліч. Таким чином, вибір місця розташування транзитного вузла можна розглядати як задачу вибору безлічі вузлів (для яких він буде транзитним) за деяким критерієм.

В якості такого критерію доцільно використовувати величину $SINR$

- | | |
|----|----|
| а) | б) |
| а) | б) |

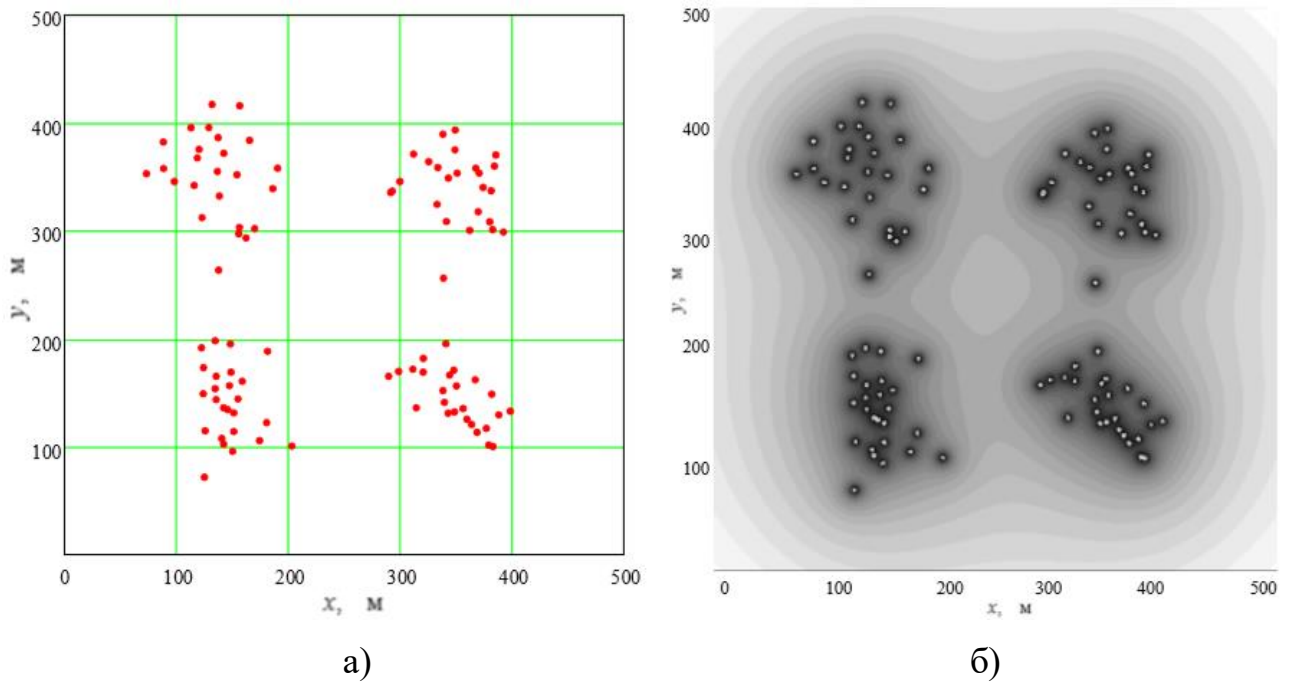


Рисунок 4.2 - Рівень перешкод, виробленої сигналами вузлів мережі

В якості такого критерію доцільно використовувати величину SINR. Наприклад умова:

$$SINR(x, y, i) \geq S_0 \quad (4.2)$$

Нехай в цільовій області є безліч з n вузлів (терміналів) $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$, тоді введення k транзитних вузлів будемо розглядати як розділяється ця множина на k підмножин N_1, N_2, \dots, N_k . Для вирішення подібних завдань можуть бути використані методи кластерного аналізу [9,10].

Розглянемо можливість застосування для вирішення даного завдання методу FOREL [28], який полягає в почерговому знаходженні центрів кластерів (центрів «мас»), які можна розглядати як шукані позиції розміщення транзитних вузлів. У класичній інтерпретації алгоритм здійснює пошук екстремуму наступної цільової функції.

$$\min_{N_j} / \max_{N_j} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} d(n_i, C_m^{(j)}) \quad (4.3)$$

$C_m^{(j)}$ - центр j -го кластера;

$N_i^{(j)}$ - i -й елемент j -го кластера;

N_j - кількість елементів в j -м кластері;

N_j - безліч елементів j -го кластера;

k - кількість кластерів.

Мінімізація або максимізація вираження (4.3) залежить від виду функції

$d(n^{(j)}, C^{(j)})$. В даному випадку можна буде записати як

$$\max_{N_j} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} SNIR(x, y, i) \quad (4.4)$$

Обчислення центру мас кластера

$$C_m^{(x)} = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N SINR_i} \sum_{i=1}^N x_i SINR_i \quad (4.5)$$

$$C_m^{(y)} = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N SINR_i} \sum_{i=1}^N y_i SINR_i \quad (4.6)$$

В даних виразах $SINR_i$ - це відношення сигнал / (перешкода + шум) в даній точці (x, y) щодо вузла i .

$$SINR_i = P_i^{(TX)} - A(i, x, y) - 10 \lg(P_{\text{int}}(x, y)/0,001) \quad (4.7)$$

де $A(i, x, y)$ -затухання сигналу на ділянці між точкою (x, y) и i -м вузлом

мережі.

$P_{int}(x, y)$ потужність перешкод в точці (x, y) , згідно (1).

Алгоритм кластеризації може бути представлений таким чином.

1: Ініціалізувати безліч некластеризованих об'єктів:

$U = N$;

3: взяти довільну точку $C_m \in U$ випадковим чином;

4: повторювати

5: утворити кластер - з центром в C_m

$N_k := \{n_i \in U \mid SNIR(C_m, i) \geq S_0\}$;

6: помістити центр сфери в центр мас кластера

7: поки центр C_m не стабілізується, повторювати починаючи з 4;

8: позначити всі об'єкти N_k як Групові:

$U := U \setminus N_k$ виключити з подальшого розгляду кластер N_k)

9: Якщо у вибірці є некластеризовані об'єкти, $U \neq \emptyset$, то йти до 3:

10: Зупинка;

У загальному випадку задача (3) є завданням неопуклого програмування, тому, її рішення не дає глобального оптимуму. В результаті застосування запропонованого алгоритму отримуємо розбиття вихідного безлічі об'єктів N на деякий (випадкове) кількість підмножин N_k , яке можна розглядати як близьке до оптимального рішення задачі (4.4). Змінюючи початкові умови, які складаються у виборі початкової точки пошуку можна отримати різні рішення. Ця можливість може бути використана на практиці для отримання безлічі рішень, подальшого їх аналізу і вибору найбільш прийняттого за деякими додатковими критеріями, наприклад, кількістю елементів в кластерах, розподілу їх кількості та ін.

На рис. 4.3 наведені приклади розв'язання задачі вибору місця розташування для транзитних вузлів при різній величині S_0 . У моделі зона обслуговування прийнята як квадрат розміру 500x500 м. У зоні обслуговування випадковим чином розміщені 100 вузлів мережі. В даному випадку використано мультимодальное розподіл з чотирма локальними точками розсіювання. Знайдені рішення відзначені

покарбованими кружками, а вузли мережі точками.

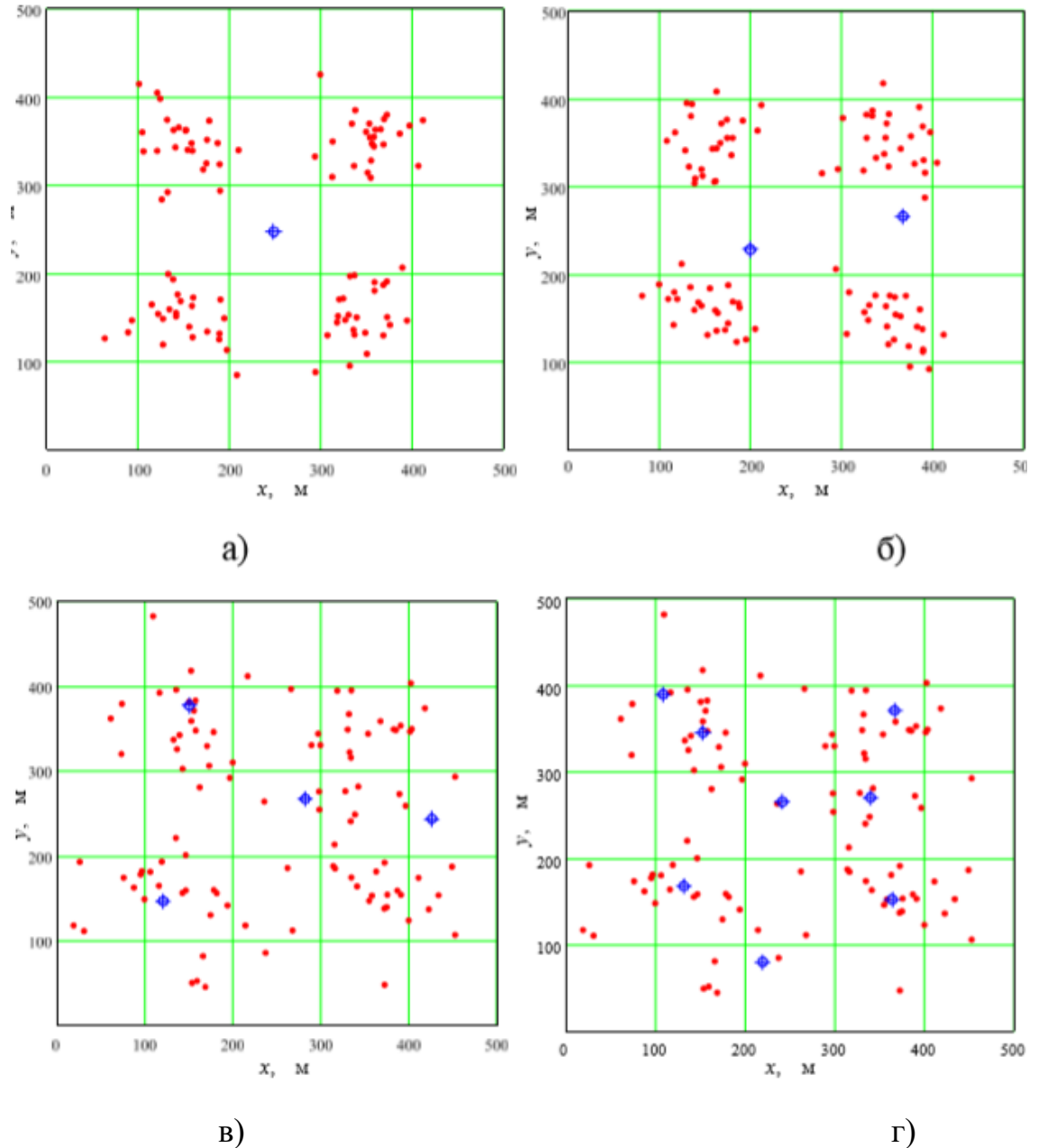


Рисунок 4.3 - Результати рішення задачі (3) модифікованим алгоритмом FOREL для різних порогових значень SNIR (а - 5 дБ, б - 7дБ, в - 8 дБ, г 10 дБ)

Наведений приклад демонструє те, що зі збільшенням порогового значення *SNIR* збільшується і кількість вводяться транзитних вузлів. Це цілком очікуваний результат, тому що збільшення цієї величини досягається наближенням транзитного вузла до вузлів мережі, отже, забезпечити виконання умови (2) можна тільки при більшій кількості груп вузлів (Кластерів). Однак, вибір самих позицій розташування не очевидний, тому що на нього також впливають перешкоди,

створювані всіма вузлами мережі.

На рис.4.4 наведено приклад порівняння вибору позицій транзитних вузлів без урахування перешкод (за критерієм мінімуму $RSSI > -60$ дБм) і з урахуванням перешкод (за критерієм $SINR > 8$ дБ)

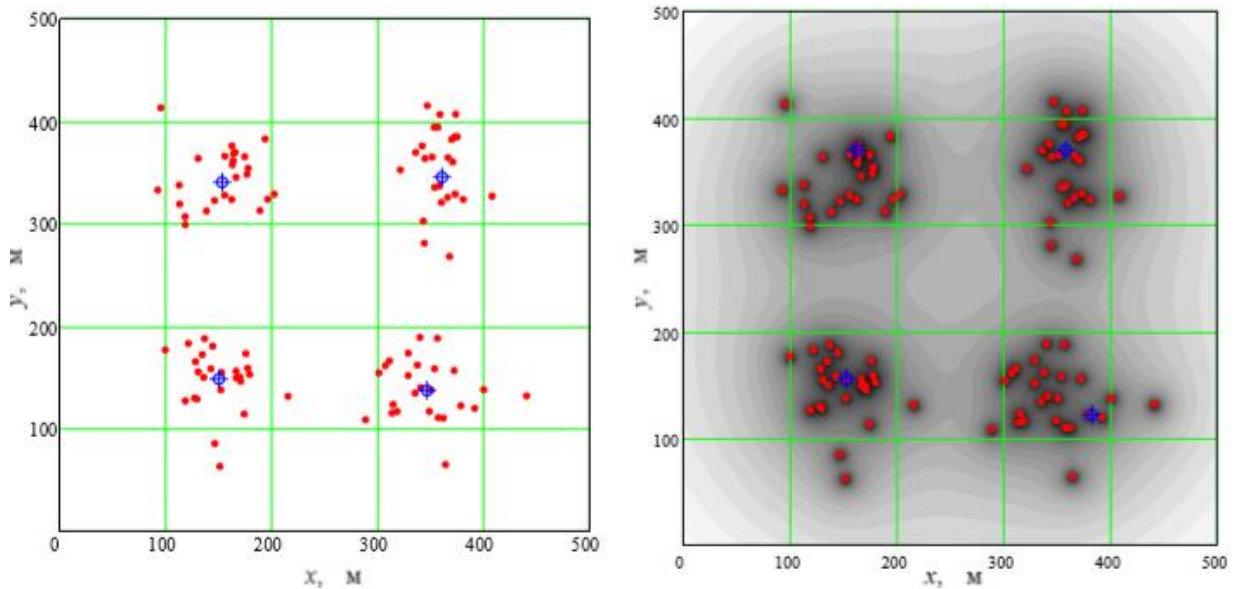


Рисунок 4.4 - Кластеризація без урахування перешкод- а) і з урахуванням перешкод -б)

Як видно з наведених малюнків, кількість транзитних вузлів однаково, але становище точок розміщення транзитних вузлів при обліку перешкод відрізняється. Також відрізняється і середня величина $SINR$ в кластері, з урахуванням перешкод вона в середньому більше на 3,8 дБ (в даному прикладі). Отже, в цьому випадку забезпечується більш висока пропускна здатність.

Залежність кількості кластерів (транзитних вузлів) від порогового рівня $SINR$ рівномірного розподілу терміналів в зоні обслуговування приведена на рис.4.5.

Як видно з наведеного рисунка, кількість транзитних вузлів, в даному прикладі, майже лінійно залежить від граничної величини $SINR$.

Очевидно, що вибір порогового значення $SINR$ при використанні даного методу визначає структуру мережі, що формується транзитними вузлами.

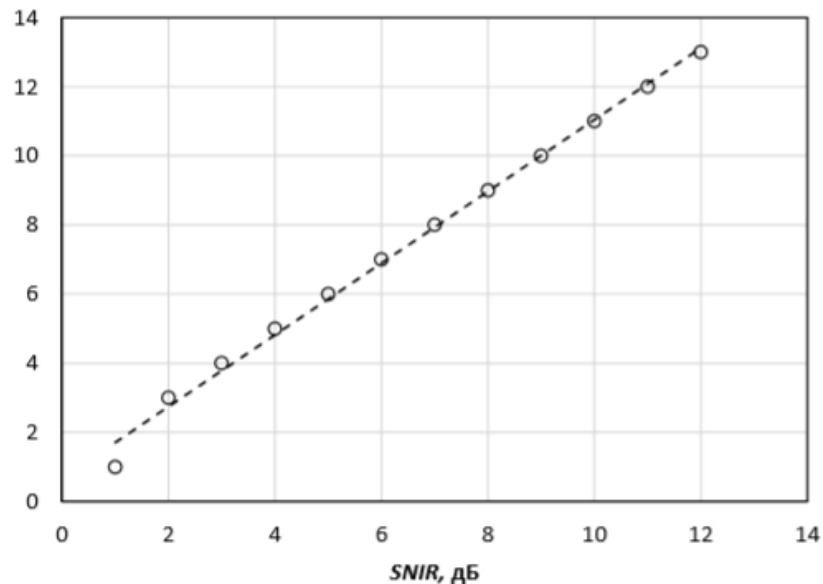


Рисунок 4.5 - Залежність кількості транзитних вузлів від порогової (Мінімальної) величини SINR

Вибір малих значень призводить до формування кластерів великого розміру і вибору малої кількості транзитних вузлів (рис.4.3). В цьому випадку навантаження на транзитний вузол буде проводитися вузлами відповідного кластера, а пропускна здатність каналу буде визначатися відповідним значенням $SINR$ [20,79].

Вибір великого значення $SINR$ призводить до збільшення кількості транзитних вузлів (рис.4.5), яке теоретично може досягти кількості терміналів.

Вибір малих значень $SINR$ дозволяє спростити структуру мережі, заощадивши транзитні вузли за рахунок якості обслуговування. Такий варіант застосовується у випадку малої інтенсивності трафіку, виробленого вузлами мережі. Наслідком встановлення високого значення дозволяє підвищити якість обслуговування за рахунок збільшення кількості транзитних вузлів (їх наближення до вузлів - джерел трафіку).

Ймовірно, що в більшості практичних випадків слід шукати компромісне рішення між якістю обслуговування і кількістю введених вузлів.

Слід зазначити, що досяжна величина $SINR$ обмежена фізичними параметрами мережі, такими як: потужність передавачів, кількість вузлів

(терміналів), інтенсивність трафіку, виробленого терміналами, характер розташування вузлів відносно один одного і можливо іншими факторами, які не розглянутими в даній моделі. При виборі порогового значення слід виходити з області досяжних значень.

На рис.4.6 наведені гістограми емпіричних розподілів SINR отриманих в результаті кластеризації з пороговою величиною 8 дБ пропонованим методом (рис.4.6а) і кластеризацією за величиною RSSI (без урахування інтерференції - рис.4.6 б).

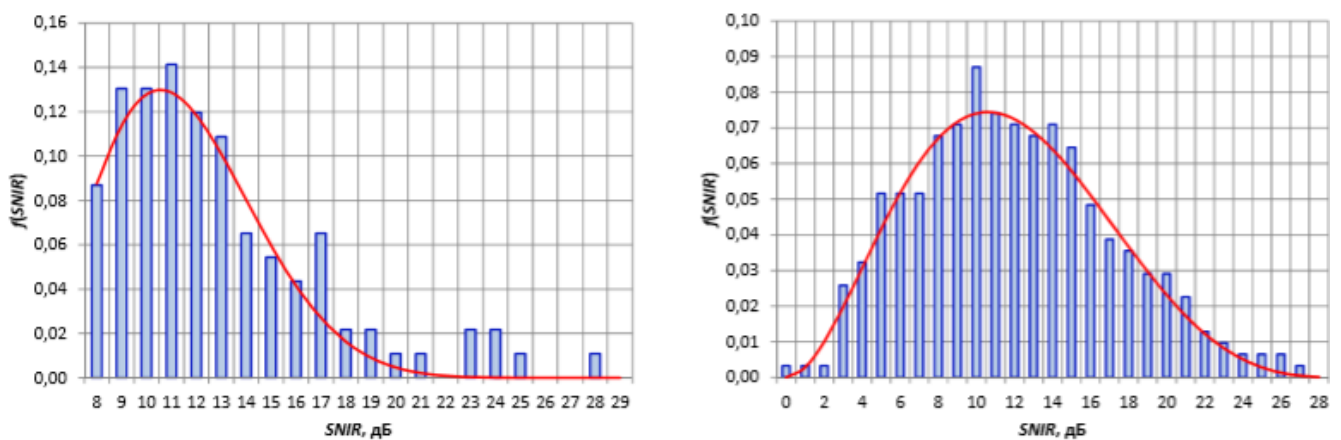


Рисунок 4.6 - Розподіл величини SINR для вузлів мережі при пороговому значенні 8 дБ - а), аналогічний розподіл при кластеризації по RSSI б)

Отриманий результат (Рис.4.6 а) обмежена знизу величиною порогового значення, а зверху величиною максимально досяжного значення яке визначається параметрами і конфігурацією мережі (в даному випадку 28 дБ). Середня величина склала 13,70 дБ, а середньоквадратичне відхилення 4,3 дБ. Розподіл, отримане в результаті кластеризації за величиною RSSI, має аналогічний характер, з тією різницею, що нижня його межа визначається параметрами мережі, як і верхня. Середня величина SINR в другому випадку становить 11,75 дБ, середньоквадратичне відхилення 5,8 дБ.

В даному випадку виграш, який дає пропонований алгоритм, становить близько 2 дБ для середнього значення і 1,5 дБ для середньоквадратичного

відхилення. Таким чином, рішення, отримане запропонованим методом, дозволяє отримати велику пропускну здатність (в середньому на 5 Мбіт / с для стандарту 802.11n) і менший її розкид для вузлів мережі в порівнянні з методом, що не враховує впливу перешкод. Також зауважимо, що при кластеризації без урахування перешкод реальне відношення SINR в ряді випадків не перевищує 2 дБ, що практично відповідає нульовій пропускну здатності, тобто відсутності зв'язку.

Отримані емпіричні розподілу досить точно можуть бути апроксимувати бета-розподілом [15] з урахуванням відмінностей їх параметрів.

Якщо ефективність введення транзитних вузлів представляти такими параметрами як відношення сигнал / (шум + перешкода) при обліку внутрішньоканальних перешкод, а також величиною пропускну здатності, то можна стверджувати, що пропонуваній метод має істотно більшу ефективність у порівнянні з подібними методами, що не враховують внутрішньоканальних перешкод.

Порівняльною оцінкою ефективності може бути величина SINR при рівній кількості транзитних вузлів. Для порівняння ефективності даного методу розглянемо модель з рівномірним розподілом вузлів в зоні обслуговування і оцінимо залежність середньої величини SINR для різної кількості транзитних вузлів, обраних з урахуванням і без урахування інтерференції. На рис.4.7 наведені отримані залежності.

Як видно з отриманих залежностей, ефективність запропонованого методу вище, ніж при кластеризації без урахування перешкод, причому більший вигравш має місце при відносно малій кількості транзитних вузлів. З ростом кількості транзитних вузлів вигравш знижується, але при реальних значеннях кількості вузлів він має істотне значення.

Кількість транзитних вузлів залежить від вибору граничної величини SINR, остання в свою чергу залежить від конфігурації мережі.

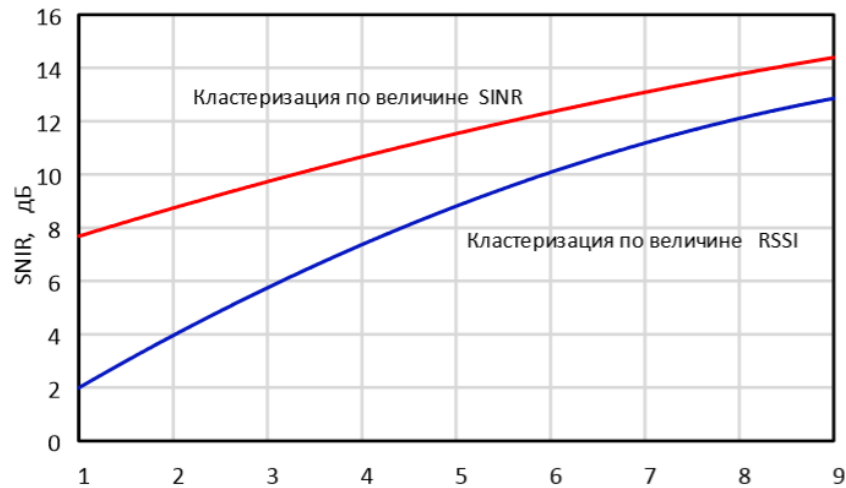


Рисунок 4.7 - Залежність середньої величини SINR від кількості транзитних вузлів (рівномірний розподіл вузлів)

Зокрема, якщо розглядати рівномірний розподіл користувачів по території, то її можна пов'язати з щільністю користувачів (середньою кількістю на одиницю площі). На рис. 4.8 приведена залежність кількості транзитних вузлів від щільності користувачів при їх рівномірному розподілі по території, отримана в результаті імітаційного моделювання. Для наведеного прикладу, порогова величина SINR була обрана рівної 5 дБ.

Як видно з наведеного прикладу, при зменшенні щільності терміналів зменшується кількість транзитних вузлів, що пояснюється зниженням сумарної потужності перешкод. Мінімальна кількість транзитних вузлів буде залежати від граничної величини SINR і конфігурації мережі. Слід очікувати, що в реальній мережі, розміщеної на значній території, після досягнення мінімуму, кількість транзитних вузлів буде збільшуватися через необхідність забезпечення зв'язності мережі (зростання відстаней між вузлами).

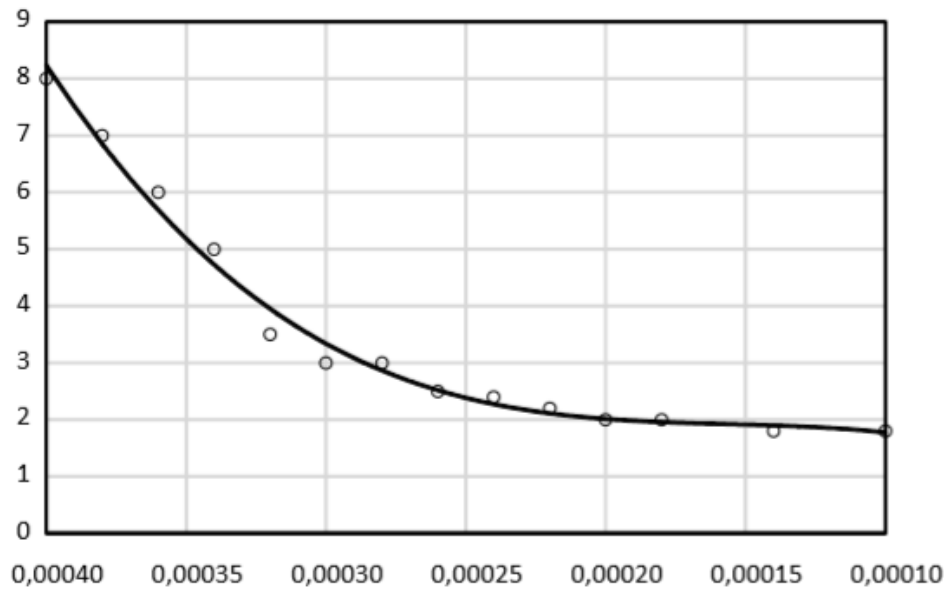


Рисунок 4.8 - Залежність кількості транзитних вузлів від щільності терміналів в зоні обслуговування

4.5 Висновки до розділу 4

1. Побудова мережі з використанням D2D технологій при обмеженні функціональності терміналів користувачів (заборону транзиту трафіку) може бути забезпечено введенням додаткових транзитних вузлів. Основним завданням побудови мережі в такому випадку є вибір точок розміщення і кількості що вводяться додаткових маршрутизаторів (транзитних вузлів).

2. Критерієм вибору місця розташування транзитних вузлів в умовах внутрішньоканальних перешкод є величина відношення сигнал / (шум + перешкода).

3. В якості методу вибору місця розташування і кількості транзитних вузлів може бути використаний модифікований алгоритм FOREL, в якому в якості метрики використовується величина SINR.

4. Отримані результати залежать від обраної порогової величини SINR і відрізняються кількістю транзитних вузлів і розміром кластерів, що обслуговуються цими вузлами.

5. Зміна граничної величини SINR дає можливість знайти компроміс між якістю обслуговування і кількістю введених вузлів, тобто домогтися найбільшої ефективності використання ресурсів.

6. Порівняльний аналіз запропонованого методу з методами, що не враховують внутрішньоканальних перешкод, довів його велику ефективність. При поданні ефективності величиною SINR і пропускною спроможністю, мінімальні виграші, отримані в результаті імітаційних експериментів склали 2 дБ і 5 Мбіт / с, відповідно.

7. При відносно малій щільності терміналів через меншу сумарну потужність перешкод для побудови мережі потрібна менша кількість транзитних вузлів.

РОЗДІЛ 5

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Програмний засіб Mathcad

Mathcad - програмний засіб, середовище для виконання на комп'ютері різноманітних математичних та технічних розрахунків, забезпечена простим в освоєнні і в роботі графічним інтерфейсом, яка надає користувачеві інструменти для роботи з формулами, числами, графіками та текстами. У середовищі Mathcad доступні більше сотні операторів та логічних функцій, призначених для чисельного і символічного розв'язування математичних задач різної складності.

Для автоматизації математичних, інженерно-технічних і наукових розрахунків використовуються різноманітні обчислювальні засоби - від програмованих мікрокалькуляторів до надпотужних супер ЕОМ. І, тим не менш, такі розрахунки для багатьох залишаються складною справою. Більше того, застосування комп'ютерів для розрахунків внесло нові труднощі: перш ніж почати розрахунки, користувач повинен освоїти ази алгоритмізації, вивчити один або декілька мов програмування, а також чисельні методи розрахунків. Положення суттєво змінилося після випуску спеціалізованих програмних комплексів для автоматизації математичних та інженерно-технічних розрахунків.

До таких комплексів відносяться пакети програм Mathcad, MatLab, Mathematica, Maple, MuPAD, Derive і ін Mathcad займає в цьому ряду особливе положення.

Mathcad є інтегрованою системою рішення математичних, інженерно-технічних і наукових завдань. Він містить текстовий і формульний редактор, обчислювач, засоби наукової і ділової графіки, а також величезну базу довідкової інформації, як математичної, так і інженерної, оформленої у вигляді вбудованого в Mathcad довідника, комплекту електронних книг і звичайних «паперових» книг.

Текстовий редактор служить для введення і редагування текстів. Тексти є коментарями, і вхідні в них математичні вирази не виконуються. Текст може складатися з слів, математичних символів, виразів і формул.

Формульний процесор забезпечує природний «багатоповерховий» набір формул у звичній математичній нотації (ділення, множення, квадратний корінь, інтеграл, сума і т.д.). Остання версія Mathcad повністю підтримує букви кирилиці в коментарях, формулах і на графіках.

Обчислювач забезпечує обчислення за складним математичним формулам, має великий набір вбудованих математичних функцій, дозволяє обчислювати ряди, суми, твори, інтеграли, похідні, працювати з комплексними числами, вирішувати лінійні і нелінійні рівняння, а також диференціальні рівняння та системи, проводити мінімізацію і максимізацію функцій, виконувати векторні і матричні операції, статистичний аналіз і т.д. Можна легко змінювати розрядність і базу чисел (двійкова, вісімкова, десятирична і шістнадцяткова), а також похибка ітераційних методів. Автоматично ведеться контроль розмірностей і перерахунок у різних системах вимірювання (СІ, СГС, англо-американська, а також призначена для користувача).

У Mathcad вбудовані засоби символічної математики, що дозволяють вирішувати завдання через комп'ютерні аналітичні перетворення.

Графічний процесор служить для створення графіків і діаграм. Він поєднує простоту спілкування з користувачем з великими можливостями засобів ділової та наукової графіки. Графіка орієнтована на вирішення типових математичних задач. Можливо швидка зміна виду і розміру графіків, накладення на них текстових написів і переміщення їх у будь-яке місце документа.

Mathcad є універсальною системою, тобто може використовуватися в будь-якій галузі науки і техніки - скрізь, де застосовуються математичні методи. Запис команд в системі Mathcad мовою, дуже близькою до стандартного мови математичних розрахунків, спрощує постановку і вирішення завдань.

Mathcad інтегрований з усіма іншими комп'ютерними системами рахунку.

Mathcad дозволяє легко вирішувати такі завдання як:

- введення на комп'ютері різноманітниматематичних виразів (для подальших розрахунків або створення документів, презентацій, Web-сторінок або електронних і звичайних «паперових» книг);
- проведення математичних розрахунків (як аналітичних, так і за допомогою чисельних методів);
- підготовка графіків (як двовимірних, так і тривимірних) з результатами розрахунків;
- введення початкових даних і виведення результатів у текстові файли або файли з базами даних в інших форматах;
- підготовка звітів роботи у вигляді друкованих документів;
- підготовка Web-сторінок і публікація результатів в Інтернеті;
- отримання різної довідкової інформації

Починаючи з 14-ї версії, Mathcad інтегрований з Pro / ENGINEER (а також і з SolidWorks). В основі інтеграції Mathcad і Pro / ENGINEER лежить двосторонній зв'язок між цими додатками. Їх користувачі можуть легко пов'язати будь-який файл Mathcad з деталлю і складанням Pro / ENGINEER за допомогою такої функції системи Pro / ENGINEER, як Фічер аналізу

Mathcad створює зручну обчислювальне середовище для найрізноманітніших математичних розрахунків і документування результатів роботи в рамках затверджених стандартів. Mathcad дозволяє створювати корпоративні та галузеві засоби сертифікованих розрахунків у різних галузях науки і техніки, що забезпечують єдину методологію для всіх організацій, що входять в корпорацію або галузь.

Mathcad 14

Остання версія Mathcad підтримує 9 мов, дозволяє вести більш потужні і ясні обчислення.

NEEDHAM (Массачусетс). 12 лютого 2007 РТС (на біржі Nasdaq: PMTC), компанія з розробки систем CAD / CAM / CAE / PLM, оголосила про випуск

Mathcad 14.0, самої останньої версії популярної системи автоматизації інженерно-технічних розрахунків.

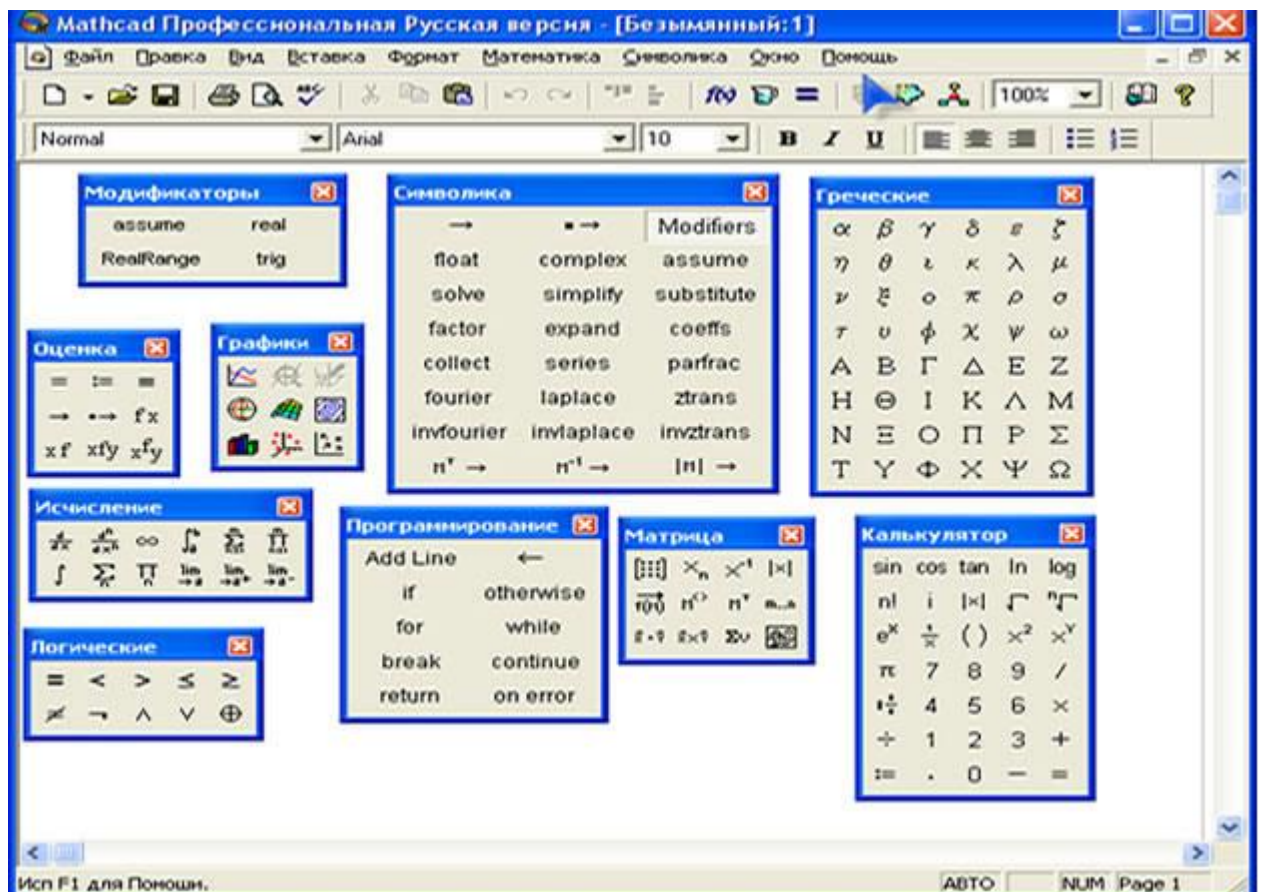


Рисунок 5.1 – Головне діалогове вікно Mathcad

Mathcad 14

Mathcad 14.0 значно розширює можливості користувачів у вирішенні постійно зростаючих обчислювальних завдань, покращує зв'язаність розрахункових документів протягом всього процесу розробки виробу.

У сучасних умовах глобального поділу процесу розробки виробу науково-технічні обчислення набувають вкрай важливе значення. Випускаючи Mathcad 14.0, РТС забезпечує повну підтримку кодування Unicode і в недалекому майбутньому запропонує даний продукт на дев'яти мовах. Новими серед них будуть такі мови, як італійська, іспанська, корейська і обидва китайських - традиційний і спрощений. Розширена підтримка мов в Mathcad 14.0 дозволить географічно розкиданих командам виконувати і документувати розрахунки на своєму місцевому мовою і в результаті підвищити продуктивність праці, завдяки збільшенню його швидкості і точності

Mathcad 14.0 також дозволяє виконувати більш складні розрахунки, зберігаючи їх ясність з допомогою нових функцій робочого аркуша WorkSheet (документа, відкритого в середовищі Mathcad), додаткових засобів оперативної числової оцінки і розширеного набору символів. Це допоможе користувачам при виведенні формул, відображенні обчислювального процесу та документального обґрунтування розрахунків. У кінцевому підсумку, спеціальні додаткові можливості дозволять користувачам працювати з більш широким діапазоном інженерно-технічних завдань.

В основі інтеграції Mathcad і Pro / ENGINEER лежить двосторонній зв'язок між цими додатками. Їх користувачі можуть легко пов'язати будь-який файл Mathcad з деталлю і складанням Pro / ENGINEER за допомогою такої функції системи Pro / ENGINEER, як Фічер аналізу. Базові величини, розраховані в системі Mathcad, можуть бути переведені в параметри і розміри CAD-моделі для управління геометричним об'єктом. Параметри з моделі Pro / ENGINEER також можна ввести в Mathcad для подальших інженерно-конструкторських розрахунків. При зміні параметрів взаємна інтеграція двох систем дозволяє динамічно оновлювати обчислення і креслення об'єкта.

Набірні панелі з'являються у вікні редагування документів при активізації відповідних піктограм - перша лінія піктограм управління системою. Використовуючи загальну набірну панель, можна вивести або всі панелі відразу або тільки ті, що потрібні для роботи.

5.2 Програмне забезпечення MathCAD для імітаційного моделювання транзитних вузлів мережі

У магістерській роботі програма MathCAD використовувалася для імітаційного моделювання та математичних розрахунків

За допомогою імітаційної моделі була досліджена залежність потужності перешкоди в точці прийому від щільності пристроїв при різній інтенсивності використання каналу (різному трафіку). На рис. 1 представлена отримана в

результаті моделювання залежність, при середньому використанні каналу 0,01, 0,1 і 0,5 і зміні щільності пристроїв від 0,0005 до 0,02 пристроїв / м².

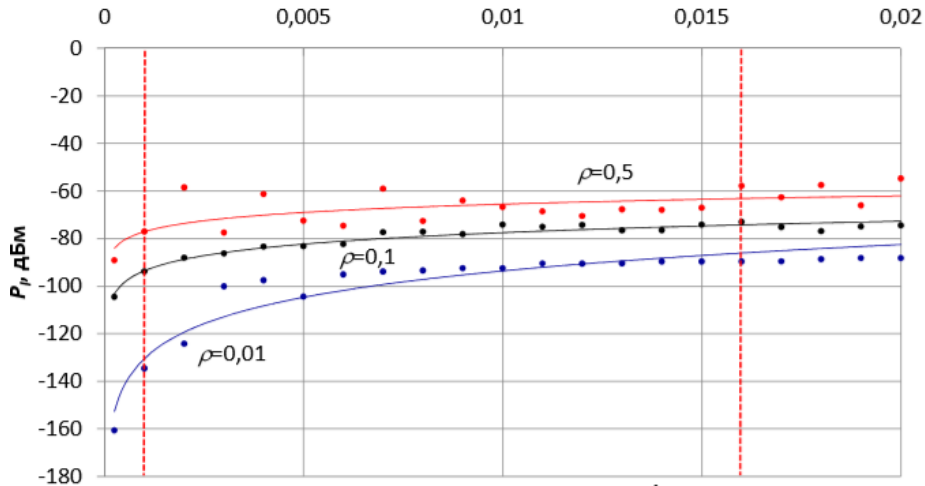


Рис. 5.2. - Залежність потужності сигналу перешкоди в точці прийому від щільності пристроїв при різному використанні каналу

Математичні розрахунки проводились також за допомогою програми MathCAD виду :

$$SINR_{ij} = \begin{cases} \max\{SINR_{ij}, \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})\}, & |SINR_{ij} - \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})| > \varepsilon_0 \\ SINR_{ij} \end{cases} \quad (5.1)$$

5.3 Висновки по розділу 5

Mathcad — система автоматизованого проектування, орієнтована на підготовку інтерактивних документів з обчисленнями і візуальним супроводженням, відрізняється легкістю використання і застосування для колективної роботи. Саме ця програма широко використовується для різного роду обчислень та візуалізації отриманих результатів.

РОЗДІЛ 6

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1. Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення науково-дослідних робіт

Економічне обґрунтування дипломної роботи магістра є суттю даного розділу, оскільки, дозволяє встановити доцільність проведення науково-дослідних робіт і економічно обґрунтувати доцільність застосування тих чи інших засобів.

Метою дипломної роботи магістра є дослідження методу розробки мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах надщільності та ультра малих затримок.

Як відомо, розробка надійної і ефективної системи вимагає значних затрат часу. Слід зауважити, що затрати часу залежать від кваліфікації розробника і його можливостей. Розробник повинен у достатній мірі володіти навиками програмування, вміти адекватно застосовувати математичний апарат, бути добре обізнаним з об'єктом дослідження.

Розробку даної системи можна поділити на такі етапи:

- 1) постановка задачі;
- 2) збір інформації по тематиці роботи наступне її опрацювання;
- 3) прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі;
- 4) аналіз математичної моделі та методів побудови спеціалізованих методів розробки мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах надщільності і ультра малих затримок;
- 5) розробка алгоритму програми для оцінювання якості мереж зв'язку;
- 6) налаштування середовища розробки і роботи вже готової програми;
- 7) написання програми;
- 8) написання і оформлення документації.

Для оцінки тривалості виконання окремих робіт використовують нормативи часу або попередній досвід. До таких нормативів відносять тривалість написання

операцій (команд), які в деяких підприємствах становлять: для одної операції - 0,5-1,6 год та 8 годин для п'яти операцій (тривалість зміни).

У разі їх відсутності звертаються до експертних оцінок по встановленню тривалості кожного етапу (стадії):

при трьох оцінках:

$$T_{ec} = (t_{min} + 4t_{н.й} + t_{max}) / 6, \quad (6.1)$$

при двох оцінках:

$$T_{ec} = (3t_{min} + 2t_{max}) / 5, \quad (6.2)$$

де T_{ec} – очікуване (середнє) значення тривалості виконання етапу (стадії); t_{min} , $t_{н.й}$, t_{max} – відповідно мінімальна, найбільш імовірна і максимальна оцінки тривалості виконання етапу (стадії).

Для визначення загальної тривалості проведення науково-дослідних робіт (розробки програмного продукту) доцільно дані витрат часу на виконання окремих стадій (етапів) звести у таблицю 6.1.

Витрати часу наукового керівника на виконання окремих стадій (етапів) при недостатній кількості інформації доцільно приймати в межах 5% сумарних витрат часу інженерів на виконання цих стадій (етапів).

Таблиця 6.1.

Основні етапи і час їх виконання у НДР

№ з/п	Етап	Середній час виконання етапу, год	
		інженер	керівник
1	2	3	4
1	постановка задачі	3	7

2	збір потрібної інформації і наступне її опрацювання	15	5
3	прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі	3	2
4	аналіз математичної моделі та методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління	15	8
5	розробка алгоритму програми для оцінювання якості мереж зв'язку	11	5
6	налаштування середовища розробки і роботи вже готової програми	3	1
7	написання програми	85	5
8	написання і оформлення документації	20	7
	разом	170	40

6.2. Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Відповідно до Закону України «Про оплату праці» заробітна плата – це «винагорода, обчислена, як правило, у грошовому виразі, яку власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу».

Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства. Заробітна плата складається з основної та додаткової оплати праці.

Основна заробітна плата нараховується на виконану роботу за тарифними ставками, відрядними розцінками чи посадовими окладами і не залежить від

результатів господарської діяльності підприємства.

Додаткова заробітна плата – це складова заробітної плати працівників, до якої включають витрати на оплату праці, не пов’язані з виплатами за фактично відпрацьований час. Нараховують додаткову заробітну плату залежно від досягнутих і запланованих показників, умов виробництва, кваліфікації виконавців. Джерелом додаткової оплати праці є фонд матеріального стимулювання, який створюється за рахунок прибутку.

Основна з/п складається із прямої з/п і доплати, яка при укрупнених розрахунках становить 25% – 35% від прямої з/п. При розрахунку з/п кількість робочих днів в місяці слід приймати – 21 дні/міс., що відповідає 168 год./міс. Розмір місячних окладів керівника та інженерів слід приймати згідно існуючих на даний час норм. Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$Z_{осн} = T_c \times K_z, \quad (6.3)$$

де T_c – тарифна ставка, грн.;

K_z - кількість відпрацьованих годин.

Посадові оклади (тарифні ставки) за розрядами Єдиної тарифної сітки визначаються шляхом множення окладу (ставки) працівника 1 тарифного розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. У разі коли посадовий оклад (тарифна ставка) визначені у гривнях з копійками, цифри до 0,5 відкидаються, від 0,5 і вище - заокруглюються до однієї гривні. У 2019 році посадові оклади (тарифні ставки) розраховуються згідно з Законом України «Про Державний бюджет України на 2019 рік».

Мінімальна зарплата в 2019 р. складає 4173,00 грн., в погодинному розмірі 25,13 грн., приймемо 80,00 грн. для інженера, для керівника – 130,00 грн.

Тарифні ставки: керівник проекту – 130,00 грн./год., інженер – 80,0 грн./год.

Основна заробітна плата становитиме:

$$Z_{осн} = T_{осн} \times K_{ГОД} \quad (6.4)$$

Керівник проекту:

$$Z_{осн} = 130,00 \text{ грн.} \times 40 \text{ год.} = 5200,00 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$Z_{осн} = 80,00 \text{ грн.} \times 170 \text{ год.} = 13600,00 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10 – 15% від суми основної заробітної плати:

$$Z_{дод} = Z_{осн} \times K_{додл}, \quad (6.5)$$

де $K_{додл}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам 0,1.

Керівник проекту:

$$Z_{дод} = 5200,00 \text{ грн.} \times 0,15 = 780,00 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$Z_{дод} = 12400 \text{ грн.} \times 0,10 = 1360,00 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці ($B_{оп}$) визначаються за формулою (6.6) і становлять:

$$B_{оп} = Z_{осн} + Z_{дод} \quad (6.6)$$

Керівник проекту:

$$B_{\text{ОП}} = 5200,00 + 780,00 = 5980,00 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$B_{\text{ОП}} = 13\,600,00 + 1360,00 = 14960,00 \text{ грн.}$$

Таким чином загальна сума становить 20940,00 грн. Крім того, слід визначити відрахування на соціальні заходи:

- податок на доходи фізичних осіб: 18% 3769,20 грн.;
- військовий збір 1,5% 314,10 грн.;
- єдиний внесок 22% 4606,80 грн..

У сумі зазначені відрахування становлять 41,5%. Отже, загальна сума відрахувань на соціальні заходи становитиме:

$$B_{\text{С.З.}} = \text{ФОП} \times 0,415 \quad (6.7)$$

$$B_{\text{С.З.}} = 20940,00 \text{ грн.} \times 0,415 = 8690,10 \text{ грн.,}$$

де ФОП – фонд оплати праці, грн.

Проведені розрахунки витрат на оплату праці зведемо у наступну табл. 6.2.

Таблиця 5.2.

Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна платя, грн.	Нарах. на ФОП, грн.	Всього витрати на оплату праці, грн.
		Тарифна ставка, грн.	К-сть відпрацьов. год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
1	2	3	4	5	6	7	8

1.	Керівник проекту	130	40	5200,00	780,00	2481,70	8461,70
2.	Інженер	80	170	13600,00	1360,00	8690,10	19300,60
Разом				18800,00	2140,00	11170,30	32111,30

6.3. Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на електроенергію 1-ці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_e = W \times T \times S, \quad (6.8)$$

де W – необхідна потужність, кВт;

T – кількість годин роботи обладнання;

S – вартість кіловат-години електроенергії.

Згідно з постановою НКРЕКП України від 05.10.2018 р. № 1177 вартість електроенергії становить 243,71 коп./кВт.год.

Потужність комп'ютера – 400 Вт з підключеним маршрутизатором, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 6.1 – 250 годин.

$$Z_e = 0,4 \times 210 \times 2.4371 = 204,71 \text{ грн.}$$

6.4 Розрахунок витрат на матеріали

Результати розрахунку затрат на матеріали зводяться в таблицю 6.3.

Визначення величини затрат на матеріал

Найменування матеріальних ресурсів	Одиниця виміру	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Затрати матеріалів, грн	Транспортно-заготівельні витрати, грн	Загальна сума витрат на матеріали, грн
Папір А4-80	пачка	1	100,00	100,00	-	100,00
Ватман	шт.	9	10,00	90,00	-	90,00
Заправка картриджа для лазерного принтера	шт.	1	90,00	90,00	-	90,00
Плата за користування Інтернетом	Грн.	1	180,00	180,00	-	180,00
Разом						460,00

6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Характерною особливістю застосування основних фондів у процесі виробництва є їх відновлення. Для відновлення засобів праці у натуральному виразі необхідне їх відшкодування у вартісній формі, яке здійснюється шляхом амортизації.

Амортизація – це процес перенесення вартості основних фондів на вартість новоствореної продукції з метою їх повного відновлення.

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації дорівнює 60 % (квартальна – 15 %).

Для визначення амортизаційних відрахувань застосовуємо формулу:

$$A = \frac{B_e \cdot H_a}{100} \quad (6.9)$$

де A – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.,

B_e – балансова вартість комп'ютера, на початок звітного періоду, грн..

H_a – норма амортизації, %.

$$A = \frac{22000,00 \cdot 15\%}{100\%} = 3300,00 \text{ грн.}$$

6.6 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління підприємства (фірми) та створення необхідних умов праці.

Накладні витрати можуть становити 20% від суми основної та додаткової заробітної плати працівників:

$$H_e = V_{O.П.} \cdot 0,2, \quad (6.10)$$

$$H_e = 19620,00 \text{ грн.} \cdot 0,2 = 3924,00 \text{ грн.}$$

де H_e – накладні витрати, грн.,

$V_{O.П.}$ – суми основної та додаткової заробітної плати працівників, грн..

6.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідних робіт

Результати проведених вище розрахунків зведемо у табл. 6.6. Собівартість (C_B) науково-дослідних робіт розрахуємо за формулою:

$$C_B = V_{O.П.} + V_{C.З.} + 3M.В. + 3e + T_B + A + H_e, \quad (6.11)$$

$$C_B = 19620,00 + 8142,30 + 460,00 + 231,52 + 3300,00 + 3924,00 = 35677,82 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.6.

Кошторис витрат на науково-дослідних робіт

Зміст витрат	Сума, грн.	В % до загальної суми
1	2	3
Витрати на оплату праці (основну і додаткову заробітну плату)	20940,00	58,01
Відрахування на соціальні заходи	8142,30	22,83
Матеріальні витрати	450,00	1,26
Витрати на електроенергію	204,71	0,6
Амортизаційні відрахування	3 300,00	9,25
Накладні витрати	3924,00	10,00
Собівартість	36765,82	100

6.8 Розрахунок ціни науково-дослідних робіт

Ціну науково-дослідних робіт можна визначити за формулою:

$$Ц = \frac{C_B \cdot (1 + P_{рен}) + K \cdot B_{н.і.}}{K} \quad (6.12)$$

$P_{рен.}$ – рівень рентабельності, 30 %;

K – кількість замовлень;

$B_{н.і.}$ – вартість носія інформації, грн.

Таким чином ціна рівна 46518,17 грн.

Визначимо величину прибутку:

$$П = Ц - Cв \quad (6.13)$$

Згідно формули 6.13 отримаємо 10840,35 грн.

6.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Економічна ефективність (E_p) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = П / Cв, \quad (6.14)$$

де $П$ – прибуток;

$Cв$ – собівартість.

$$E_p = 10850,35 / 35765,82 = 0,29$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень (T_p):

$$T_p = 1 / E_p \quad (6.15)$$

$$T_p = 1 / 0,30 = 3,44 \text{ р.}$$

Про доцільність розробки програми можна сказати при врахуванні наступних критеріїв:

Техніко-економічні показники НДР

№ п/п	Показник	Значення
1	Собівартість, грн	35765,82
2	Плановий прибуток, грн	10850,35
3	Ціна, грн	46518,17
4	Економічна ефективність	0,29
5	Термін окупності, рік	3,44

6.10 Висновки по розділу 6

У результаті проведення розрахунків можна зробити висновок: розробка матиме оптимальну економічну ефективність 0,3 і термін окупності становитиме 3,44 року.

Варто зазначити, що дані розрахунки носять номінальний характер і основна їх мета оцінити приблизну вартість дослідження та створення даного продукту. Номінальний характер розрахунків зумовлений тим, що даний програмний продукт має дослідницьке призначення.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Охорона праці

7.1.1 Охорона праці при роботі з комп'ютерною технікою

У всіх розвинених країнах існують сотні документів, які регламентують вимоги не тільки до комп'ютерів, а й до організації робочих місць з їх використанням. Безконтрольне ж використання комп'ютерної техніки може призвести до негативного впливу на здоров'я користувачів комп'ютерів. Всесвітня організація охорони здоров'я ще в 1989 р. в офсетній публікації № 99 «Відеодисплейні термінали та здоров'я користувачів» дійшла висновку про те, що робота з використанням персональних комп'ютерів супроводжується зоровим і нервово-емоційним напруженням, негативними зрушеннями в кістково-м'язовій системі людини.

Електронно-обчислювальна машина (ЕОМ; *далі* — комп'ютер) — обладнання з необов'язковими додатковими пристроями (пристрої для друку, сканери, модеми, блоки безперервного живлення та інші спеціальні периферійні пристрої).

Відеодисплейний термінал (ВДТ; *далі* — монітор) — частина електронно-обчислювальної машини, що містить пристрій для візуального відображення інформації;

Периферійні пристрої (*далі* — ПП) — сукупність необов'язкових додаткових пристроїв, які використовуються в процесі діяльності оператора ЕОМ (клавіатура, маніпулятор «миша», дискова система, звукова система, модем, мікрофон, принтер, сканер тощо).

На підприємстві, де експлуатується комп'ютерна техніка, створюється служба охорони праці згідно з Типовим положенням про службу охорони праці, затвердженим наказом Держнаглядохоронпраці України від 15 листопада 2004 р. № 255.

Нормативна база Перелік нормативно-правових актів, які регулюють це питання, досить широкий. Наприклад, ст. 21 Кодексу законів про працю України визначає обов'язки роботодавця щодо забезпечення працівникам комфортних та безпечних умов праці, а ст. 13 Закону України «Про охорону праці» закріплює це право з позиції охорони праці. Більшість нормативних актів — акти підзаконного рівня - правила, інструкції, державні санітарні правила і норми (ДСанПІН) тощо, якими врегульовуються окремі моменти щодо власне конструкції комп'ютерної техніки, особливостей облаштування приміщень для роботи з нею та ряду інших вимог.

Як основні можна назвати:— Наказ Держгірпромнагляду України «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» від 26 березня 2010 р. № 65; — Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98, затвержені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10 грудня 1998 р. № 7; — Примірні інструкція з охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, затверджена наказом Міністерства доходів і зборів України від 5 вересня 2013 р. № 443.

Особливості охорони праці при роботі з комп'ютером

Комп'ютерне обладнання повинні підключатися до електромережі лише за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення.

У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їх конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Не допускається підключати комп'ютерну техніку до звичайної двопровідної електромережі, зокрема з використанням перехідних пристроїв.

7.1.2 Джерела випромінювання НВЧ і їх дія на організм людини

Надвисокочастотні електровакуумні прилади (магнетрони, клістри, лампи біжучої хвилі, лампи зворотної хвилі і т. д.) міліметрового, сантиметрового і дециметрового діапазону, які є джерелом НВЧ-енергії, знайшли широке застосування в радіоастрономії та зв'язку (телеметрії, радіолінійних і космічних систем зв'язку, телебаченні, радіоуправлінні). Для тих чи інших галузей застосування апаратури НВЧ використовують різні піддіапазони частот.

При експлуатації і випробуваннях генераторів НВЧ-енергії джерелом випромінювань є: генератор електромагнітних коливань, випромінювальні системи – антена або еквівалент антени, відкритий кінець хвилеводу. Крім того, випромінювання НВЧ енергії можуть проникати через нежорсткість фланцевих з'єднань НВЧ-тракту, через хвиле-коаксіальні переходи, через місця катодних виводів генеруючих приладів, конструктивні отвори в елементах хвильового тракту, через вікна агрегатів, установок і нещільності дверей установок, де знаходяться джерела НВЧ енергії.

В даний час в різних галузях науки і техніки широко застосовуються електромагнітні випромінювання (ЕМП) різних видів.

Кожний тип випромінювання має особливості фізичного характеру і біологічної дії. Ступінь негативної дії електромагнітних полів НВЧ залежить від інтенсивності опромінення, часу його дії, відстані до джерела, довжини хвилі і індивідуальних особливостей людини. Надвисокочастотна енергія, яка падає на поверхню тіла людини, частково відбивається, а поглинена енергія проходить у поверхневі тканини на глибину 2-3 см. Ступінь відбивання від поверхні тіла людини залежить від товщини жирового складу в ділянці, що опромінюється. Такі органи, як головний і спинний мозок мають незначний жировий шар, а очі – зовсім його не мають і, як результат, ці органи, в першу чергу, зазнають найбільшого впливу.

Довготривала і систематична дія НВЧ-енергії на працівників з інтенсивністю, що перевищує граничнодопустимі величини, призводить до функціональних змін в організмі. Ці зміни проявляються в порушенні складу нервової та серцево-судинної

системи: з'являється головний біль, дратівливість, порушується сон, гальмується пульс, підвищується тиск; при опроміненні очей можлива катаракта (помутніння кришталика ока). Дія на організм людини НВЧ високої інтенсивності пов'язана в основному з тепловим ефектом і призводить до підсилення кровотоку в органах, що запобігає їх надлишковому перегріванню.

Біологічна активність електромагнітних полів (ЕМП) збільшується зі зменшенням довжини хвилі; найвища активність ЕМП – в області НВЧ. Так, наприклад, у початковій фазі спостерігається підвищене збудження, а потім зниження біоелектричної активності мозку, порушення умовно-рефлекторної діяльності, погіршення роботи серцевого м'язу. Функціональні порушення в ранній стадії, які викликані біологічною дією електромагнітних полів, зникають, якщо заборонити використання НВЧ випромінювання або поліпшити умови праці. Вивчаючи умови праці в галузі, гігієністи прийшли до висновку, що робітники розробники НВЧ-приладів і установок, в більшій мірі зв'язані з мікрохвильовим опроміненням, яке при певних умовах може викликати професійне захворювання.

7.1.3 Основні фактори, що визначають ступінь небезпеки ураження електричним струмом

Дія електричного струму на організм людини може бути тепловою (опік), механічною (розрив тканин), хімічною (електроліз) і біологічною (скорочення м'язів, параліч дихання і серця).

Наслідки ураження людини електричним струмом залежить від ряду фізичних факторів: електричного опору тіла людини, величини і роду струму, тривалості дії, шляху протікання струму, частоти струму, величини напруги, стану навколишнього середовища, стану людини. Опір тіла людини залежить від стану шкіри (товщини, вологості) і навколишнього середовища (вологості і температури). Розрахунковий опір людини прийнято вважати 1000 Ом.

Змінний струм промислової частоти 50-60 Гц сильніше вражає людину ніж постійний, тому що густина струму буде більша за рахунок ємнісних складових в електричному опорі людини і амплітудне значення змінного струму більше, ніж постійного. При збільшенні частоти, починаючи 1000 Гц, Небезпека ураження

зменшується, струм високої частоти викликає тільки опік, але не вражає внутрішні органи, тому що має місцевий поверхневий ефект. Важливе значення на результат ураження людини має тривалість дії струму. Час, протягом якого електричний струм може викликати смертельний результат не перевищує долі секунди. Безпечний час дії знаходиться в межах 0,01с для змінного струму частотою 50-60 Гц, а для постійного струму – 0,02-0,05 с.

На результат ураження впливає також шлях струму в тілі людини. Найбільш небезпечний шлях вздовж осі тіла, наприклад, рука-нога, рука-рука. Результат ураження залежить від фізичного та психічного стану людини. Величина напруги прикладеної до тіла людини залежить від фізичного і психічного стану людини. Величина напруги, прикладеної до тіла людини залежить від виду дотику: одно- або двополюсного. Але треба зауважити, що напруга порядку 127-500 В, яка застосовується в силових і освітлювальних електроустановках є небезпечною для людини. В електроустановках напругою понад 1000 В однополюсний дотик при будь-якому режимі нейтралі дуже небезпечний, тому що через тіло людини утворюється електрична мережа через землю і нейтраль джерела живлення або через ємність мережі відносно землі і через опір ізоляції інших фаз. Безпека робіт з електроустановками залежить від електричної схеми і виробничих параметрів електроустановки, номінальної напруги, навколишнього середовища і умов експлуатації. Електроустановки можуть розташовуватися в закритих приміщеннях, які поділяються на три категорії: з підвищеною небезпекою, особливо небезпечні і без підвищеної небезпеки.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю в них однієї з наступних умов, які створюють підвищену небезпеку:

- сирості, вологості (відносна вологість повітря вища за 75 %) або струмопровідного пилу;
- струмопровідних підлог (металевих земляних, залізобетонних, цегляних);
- високої температури (вищої за 35 0 С);
- можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій споруд, технологічних апаратів, механізмів, які мають з'єднання з землею з одного боку і

металевим корпусом обладнання з другого боку.

Для зменшення небезпеки ураження електричним струмом рекомендується застосувати малу напругу (не більше 36 В). Приміщення особливо небезпечні характеризуються наявністю однієї з таких умов:

- особливої вологості (близької до 100 %);
- хімічно активне середовище;
- не менше двох ознак підвищеної небезпеки.

У цих умовах рекомендовано застосовувати напругу не більше 12 В.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Джерела і характеристики електромагнітних полів на робочому місці користувачів комп'ютерів

Під робочим місцем з комп'ютерною технікою розуміють відокремлену ділянку загального робочого приміщення (кабінету, залу, цеху і т.п.), обладнану необхідним комплексом технічних засобів обчислювальної техніки, і в межах якої постійно або тимчасово перебуває користувач (оператор) у процесі своєї трудової діяльності.

На робочих місцях з комп'ютерною технікою можна виділити два види просторових полів: поля, що створюються власне персональним комп'ютером (ПК) і поля, породжені іншими джерелами, що оточують робоче місце.

Сучасна комп'ютерна техніка є енергонасиченим апаратом зі споживанням до 200-250 Вт, що містить декілька електро- і радіоелектронних пристроїв з різними фізичними принципами дії. Тому вона створює навколо себе поля із широким частотним спектром і просторовим розподілом, такі як:

—електростатичне поле (виникає за рахунок наявності електростатичного потенціалу на екрані електронно-променевої трубки, на РКЕ таке поле відсутнє);

—змінні низькочастотні електричні поля;

—змінні низькочастотні магнітні поля.

Потенційно можливими шкідливими факторами можуть бути також:

- електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону;
- електромагнітні поля, створювані сторонніми джерелами на робочому місці з комп'ютерною технікою.

Джерелами змінних електричних і магнітних полів у ПК є вузли, у яких присутня висока змінна напруга, і вузли, що працюють з великими струмами. Рівні напруженості електромагнітних полів за електричними складовими та густиною магнітних потоків (індукції) у цих піддіапазонах регламентуються чинним в Україні нормативним актом ДСанПіН 3.3.2.007-98 та загальноєвропейським стандартом MPR II, відомим під назвою „шведський стандарт”. Ці ж діапазони розглядаються в універсальному рекомендаційному стандарті ТСО'99.

Джерелами ЕМВ є не тільки дисплеї, сконструйовані на основі ЕПТ, але і рідкокристалічні та плазмові монітори, високочастотні перетворювачі джерела живлення портативних комп'ютерів.

Не підтвердилася і розповсюджена, помилкова думка про повну безпеку портативних персональних комп'ютерів типу “Note Book”. Такі персональні комп'ютери повністю безпечні за рівнем електростатичного потенціалу (через відсутність у них високої напруги постійного струму). Однак, через наявність у їх складі високочастотних перетворювачів джерела робить їх не повністю безпечними.

Джерелом ЕМВ на робочому місці з ПЕОМ може бути безпроводний зв'язок Wi-Fi. У спеціалізованій літературі користувачами персональних комп'ютерів обговорюється не тільки його функціональні можливості, а і безпечність для персоналу. Потужності випромінювачів модулів обміну інформацією у таких приладах досить низька (30...50 мВт), але вони працюють на надвисоких частотах (1,8...2,4 ГГц) і випромінювання поширюється в усі боки від антени, що також може дати негативні наслідки як для користувачів, так і для деяких електронних приладів, якими обладнане робоче місце користувача персонального комп'ютера.

В деяких європейських країнах, наприклад Швеції, використання безпроводного зв'язку Wi-Fi в учбових закладах заборонено, в інших країнах (Великобританії, Німеччині, Франції) ввели обмеження на його використання із

Електромагнітні поля, породжені сторонніми (що не входять до складу ПЕОМ) джерелами, називають іноді *фоновими полями*. Характер цих полів, їхній просторовий розподіл і рівні визначаються фізичними особливостями джерел, положенням їх стосовно робочого місця.

Пристрої запису/зчитування інформації з інтегрованих мікросхем мають досить великі робочі струми (до 150 мА) та здійснюють індуктивне живлення безконтактних мікросхем і обмінюються інформацією з ними та контактними схемами на робочих частотах 125 кГц та 13,56 МГц. Такі прилади є джерелами середньочастотних електромагнітних полів зі складними просторовими конфігураціями полів.

Інтенсивними джерелами електромагнітних полів є живлячі кабелі, силові щити і особливо транзитні силові кабелі та потужні розподільчі пристрої.

Джерелами фонових низькочастотних полів є також інші технічні засоби, у тому числі побутові (кондиціонери, вентилятори, пилососи, кухонна техніка), а також масивні не заземлені металеві предмети (ґрати, стелажі і т.п.).

Особливої уваги потребують випадки появи екстремальних електричних і магнітних полів сторонніх джерел, що можуть не тільки багаторазово перевищувати гігієнічні вимоги, але і порушують нормальну роботу ПК та іншої, з'єднаної з нею техніки. Так, наприклад, магнітне поле промислової частоти 50 Гц із напругою більше тисячі нанотесла (1 мкТл) викликає помітну для очей просторову і тимчасову нестабільність (тремтіння і мерехтіння) зображення на екрані дисплея ПЕОМ із частотою, що дорівнює різниці між частотою кадрової розгортки дисплея і частотою 50 Гц.

Для забезпечення нормальної електромагнітної обстановки в приміщеннях з комп'ютерною технікою варто виконувати наступні поради:

1. Приміщення повинно бути віддаленим від сторонніх джерел електромагнітних полів, що створюються могутніми трансформаторами і електроустановками, електричними розподільними щитами, кабелями електроживлення з потужним енергоспоживанням, радіопередавальними пристроями й ін.

2. Якщо на вікнах приміщення є металеві ґрати, то вони повинні бути заземлені.

3. Групові робочі місця, що характеризуються значною скупченістю комп'ютерної й іншої оргтехніки бажано розміщати на нижніх поверхах будинків.

У самих приміщеннях під час організації і плануванні розташування робочих місць необхідно керуватися наступними правилами:

Повинне бути забезпечене заземлення (або трипровідна мережа з третім, з'єднаним із землею проводом), що підводиться безпосередньо до кожного робочого місця.

Вкрай небажаними є варіант організації електроживлення за допомогою однієї лінії живлення, що обходить приміщення по всьому периметру, і наявність замкненого по периметру контуру заземлення. За подібних схем живлення й організації заземлення може різко зрости магнітна складова поля в діапазоні частот виміру 5 Гц...2 кГц.

Проводи живлення бажано прокладати в екрануючих металевих оболонках, або трубах.

Місця групового підключення ПК доцільно оснащувати екранованими щитками із достатньою кількістю розеток і розміщеними з урахуванням найбільшої рівновіддаленості їх від робочих місць користувачів ПК й інших співробітників, що постійно працюють у приміщенні.

Доцільно до кожного групового місця підключати не більш 2 – 3-х користувачів ПК.

Виконання перерахованих вище вимог може забезпечити зниження в десятки і сотні раз загального електромагнітного поля в приміщенні. Для правильної організації робочих місць з ПК варто враховувати наступні поради:

– дисплей і системний блок ПК (як основні джерела імпульсних електричних, магнітних та електростатичних полів розміщувати в межах робочого місця на максимально віддаленій відстані від користувача;

– забезпечити надійне заземлення (з періодичним контролем) системного блоку і джерел живлення ПК (якщо є технічна можливість, доцільно заземлити

системний блок не тільки через контакт заземлення, триконтактної вилки живлення, але і шляхом з'єднання окремим провідником корпусу системного блоку з контуром заземлення в приміщенні);

– забезпечити найбільше віддалення користувача від мережних розеток і проводів електроживлення (не рекомендується використання різноманітних подовжувачів; використання двопровідних подовжувачів, переносок і мережних фільтрів, а також подібних пристроїв із триконтактними розетками і вилками живлення, але з незадіяним на шину заземлення контактом заземлення; використання таких пристроїв можна допустити тільки в тому випадку, якщо є окремо виконане заземлення системного блоку ПК);

Особливого підходу вимагає організація робочого місця з великою кількістю периферійних пристроїв – коли користувач в силу обставин оточений різною оргтехнікою. Щоб звести до мінімуму внесок самих периферійних пристроїв у загальний рівень електромагнітних полів на робочому місці необхідно виконати надійне заземлення кожного з них, а також переконатися у справності заземлювальної шини.

На рисунках 6.1 – 6.2 показані рекомендовані і не рекомендовані варіанти компонування робочого місця, з точки зору електромагнітної безпеки.

Найбільш оптимальним є планування, коли повністю розділена зона місцезнаходження користувача ПК і зона, де розташовані кабелі електроживлення технічних засобів робочого місця, включаючи розетки мережного електроживлення (рисунок 6.1).

Менш оптимальним є планування, коли поруч з користувачем розташовані мережні кабелі електроживлення робочого місця. Дане планування небажано використовувати, якщо на робочому місці встановлена велика кількість технічних засобів зі значним енергоспоживанням. У такому випадку по мережних кабелях електроживлення течуть значні струми, і користувач ПЕОМ знаходиться в зоні впливу магнітних полів промчастоти 50 Гц.

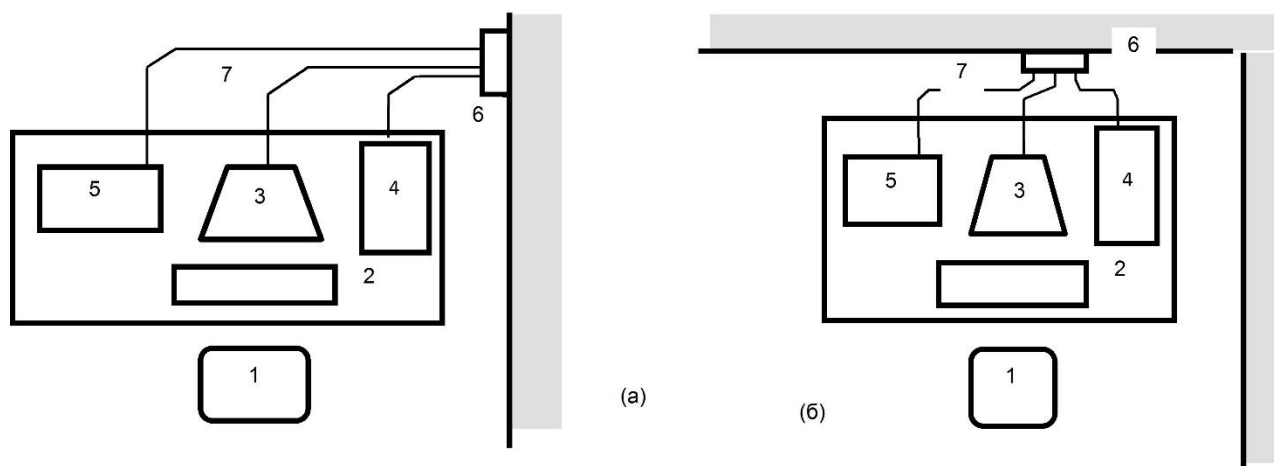


Рисунок 6.1 та 6.2 – Рекомендовані компонування робочого місця. 1 – робоче місце оператора; 2 – клавіатура; 3 – дисплей; 4 - системний блок ПЕОМ; 5 – принтер; 6 - розетки живлення; 7 – мережні кабелі живлення блоків ПЕОМ; 8 – металева заземлена труба

За відсутності можливості іншої організації робочого місця можна рекомендувати спосіб зниження рівня полів за рахунок розташування кабелів електроживлення в металевій (сталевий) заземленій трубі (рисунок 6.3).

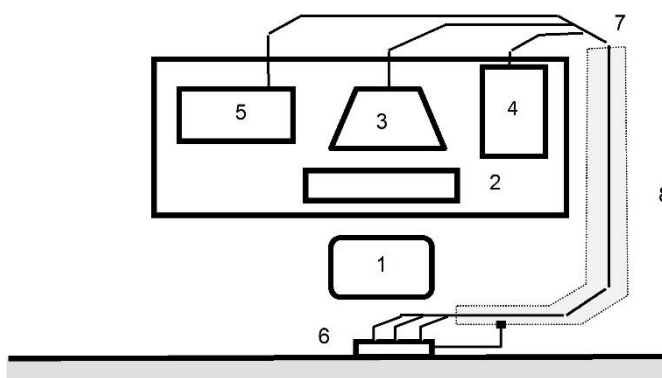


Рисунок 6.3 – Рекомендована модернізація робочого місця

Розміщення й організація в приміщенні із декількома робочими місцями з ПК. При визначенні допустимої кількості робочих місць у приміщенні перш за все слід враховувати вимоги ДСанПіН 3.3.2. 007-98 про необхідність забезпечення

площі на одне робоче місце з ВДТ або ПЕОМ не менше 6-ти м², і об'єму – не менше 20 м³. Схеми розміщення робочих місць повинні враховувати допустимі відстані між робочими столами з ВДТ (відстань між бічними поверхнями відеотерміналів має бути не меншою за 1,2 м; відстань між тильною поверхнею одного відеотермінала та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м).

Відхилення від загальних вимог до площі й об'єму робочих приміщень з ПК, які вже експлуатуються можна допустити лише у випадку, якщо на робочих місцях забезпечені вимоги ДСанПіН 3.3.2. 007-98, зокрема за рахунок використання сучасних технічних засобів зі створення мікроклімату й інших факторів оптимальних умов праці.

Основні принципи розміщення в приміщенні значної кількості робочих місць з ПК наступні:

1) автономне розміщення окремих робочих місць, їх автономне електроживлення, що дозволяє оперативно відключати ті робочі місця, які не експлуатуються в конкретний момент, з метою зменшення загального електромагнітного фону в приміщенні, а також оптимально виконати схему електроживлення;

2) вибір найбільш безпечних схем розміщення робочих місць; що забезпечують:

– максимально можливу віддаленість від кожного користувача мережних елементів і апаратури сусідніх робочих місць;

– розміщення апаратури і користувача з урахуванням їх розташування на сусідніх робочих місцях;

7.3 Висновки по розділу 7

Питання охорони праці є дуже важливим і має неабияке значення для українського суспільства, надто сьогодні, коли більшість підприємств намагається оптимізувати виробничі витрати і не приділяють належної уваги створенню безпечних і нешкідливих умов праці. Тому дуже важливим є створення служб або

структурних підрозділів охорони праці на всіх рівнях вертикалі державного управління, а також функціонування системи управління охорони праці на кожному підприємстві.

РОЗДІЛ 8

ЕКОЛОГІЯ

8.1 Електромагнітне забруднення та вплив його на довкілля та здоров'я людини.

Електромагнітне забруднення – вид фізичного забруднення, що виникає унаслідок змін електромагнітних властивостей середовища, спричинених перевищенням рівня електромагнітного фону. Такий фон створюють електромагнітні коливання – взаємозалежні коливання електричних і магнітних полів, які утворюють єдине електромагнітне поле і поширюються у вигляді електромагнітних хвиль. Їх існування передбачив 1832 англійський фізик М. Фарадей. 1865 його співвітчизник Дж. Максвелл теоретично довів, що електромагнітні коливання не локалізовані у просторі, а поширюються у вакуумі зі швидкістю світла в усіх напрямках від джерела електромагнітного випромінювання. Залежно від довжини хвилі випромінювання поділяють на класи, що відрізняються особливостями фізичного характеру і біологічної дії. Електромагнітні хвилі радіочастот називаються струмами високої частоти (СВЧ) – це випромінювання, що мають діапазон хвиль від кількох кілометрів до одиниць міліметрів; серед них радіохвилі довгі (10–3 км), середні (3 км – 100 м) і короткі (100–10 м) за частот. характеристикою відносять до високих частот (ВЧ), ультракороткі (10–1 м) – до ультрависокої частоти (УВЧ), а коротші (дециметрові 1 м – 10 см; сантиметрові 10–1 см; міліметрові 1 см – 1 мм) – до надвисокої частоти (НВЧ).

Поширення електромагнітних хвиль радіочастот пов'язане з появою електричних і магнітних полів. У діапазоні ВЧ–УВЧ у зв'язку з великою довжиною хвилі напруженість електричних і магнітних полів у робочій зоні можна вимірювати окремо. Інтенсивність електричних поля виражають у вольтах на 1 м (В/м), магнітних поля – в амперах на 1 м (А/м). У діапазоні НВЧ коротші хвилі формують єдине електромагнітне поле, інтенсивність якого оцінюють за густиною потоку енергії і виражають у ватах, міліватах (1/1000 Вт) або мікроватах (1/1 000

000 Вт) на 1 см². Частотний діапазон вимірюють у герцах Гц, кілогерцах кГц (1000 Гц) або мегагерцах МГц (1 000 000 Гц). Джерела Е. з.: з радіохвилями ВЧ – радіо, медицина, а також радіотехнічні об'єкти, телевізійні та радіолокаційні станції, термічні цехи, телевізори, дисплеї, печі НВЧ, холодильники, кабіни автомашин, мобільний радіорелейний зв'язок, станції радіолокації і радіопеленгації, персон. комп'ютери, радарні установки тощо.

Гранично допустимий рівень напруженості електричних поля – 25 кВ/м. За нормами перебування в електричних полі напруженістю до 5 кВ/м допускається упродовж робочого дня; допустимий час перебування в електричних полі напруженістю 5–20 кВ/м може бути реалізовано одноразово або за кілька разів упродовж робочого дня; при напруженості 20–25 кВ/м час перебування персоналу в електричних полі не повинен перевищувати 5–10 хв. Як гранично допустимі рівні для населених місць прийнято такі значення напруженості електричних поля: всередині житл. будинків – 0,5 кВ/м; на тер. житл. забудови – 1 кВ/м; у насел. місцевості поза зоною житл. забудови, тобто у міській зоні в межах її перспектив. розвитку на 10 років, приміських, зелених, курорт. зонах, на землях селищ міського типу, у межах селищ. зони цих пунктів, а також на тер. садів і городів – 5 кВ/м; на ділянках перетину повітряних ліній з автомобільними дорогами I–IV категорій – 10 кВ/м; у місцевості, недоступній для транспорту й с.-г. машин, і на ділянках, спеціально загороджених для унеможливлення доступу населення – 20 кВ/м. [2]

Табл. 1. Гранично допустимі рівні напруженості електричних і магнітних полів під час роботи з джерелами ВЧ і УВЧ

Електрична складова, В/м			Магнітна складова, А/м		
Частотний діапазон	Довжина хвиль, м	Гранично допустимий рівень	Частотний діапазон	Довжина хвиль, м	Гранично допустимий рівень
<i>I – високі частоти – довгі, середні і короткі хвилі</i>					
60 кГц – 3 МГц	5000–100	50	60 кГц – 1,5 МГц	5000–200	5
3–30 МГц	100–10	20			
<i>II – ультрависокі частоти – ультракороткі хвилі</i>					
30–50 МГц	10–6	10	30–50 МГц	10–6	0,3
50–300 МГц	6–1	5			

У ГОСТ 12.1.006-76 встановлено гранично допустимі рівні напруженості електричних і магнітних полів під час роботи з джерелами ВЧ і УВЧ (Табл. 1) і густини потоку енергії у процесі роботи з джерелами НВЧ – диференційовано для випромінювань, що мають постійні й змінні характеристики (Табл. 2).

Табл. 2. Гранично допустимі рівні густини потоку енергії у процесі роботи з джерелами НВЧ

Густина потоку енергії		Час перебування	Примітка
Вт/м ²	мкВт/см ²		
<i>I. При постійних характеристиках випромінювання</i>			
До 0,1	До 10	Робочий день	
Від 0,1 до 1,0	Від 10 до 100	Не більше, ніж 2 год.	В інший час – густина потоку ≤ 0,1 – Вт/м ² (10 мкВт/см ²)
Від 1,0 до 10,0	Від 100 до 1000	Не більше, ніж 20 хв.	За умови користування захисними окулярами, в інший час – густина потоку ≤ 0,1 – Вт/м ²
<i>II. Від обертових і сканувальних антен</i>			
До 1,0	До 100	Робочий день	
Від 1,0 до 10,0	Від 100 до 1000	Не більше, ніж 2 год.	В інший час – густина потоку ≤ 0,1 – Вт/м ² (100 мкВт/см ²)

Проміжні частоти електромагнітних поля 50 Гц при тривалій дії можуть спричиняти функціональні порушення в центральній нервовій та серцево-судинній системах, у складі крові. Біологічна активність електромагнітних хвиль радіочастот зростає зі зменшенням довжини хвилі, найвищою вона є в області НВЧ. Тривала хронічна дія радіохвиль помір. інтенсивності, що не мають вираженого теплового ефекту, також впливає на центральну нервову і серцево-судинну системи. Оздоровчі заходи слід здійснювати згідно з Єдиними санітарними правилами під час роботи з джерелами випромінювань електромагнітних поля радіочастот № 848-70 і ГОСТ 12.1.007-76 «Електромагнітні поля радіочастот. Загальні вимоги безпеки». Осн. засобами захисту персоналу є раціональне розміщення устаткування в приміщенні, заг. екранування установки і окремих її елементів, дистанційне керування апаратами, розміщеними в екранізованих кабінах. Під час

роботи з генераторами НВЧ застосовують спец. поглиначі, заповнені графітом, порошковим залізом тощо, а також екрани. Засобом індивід. захисту є спец. захисні окуляри – сітчасті або з покриттям скла тонким шаром металу. [1]

8.2 Аналіз впливу мережі 5G на довкілля та людину

В кінці 2017 року індустрія бездротових технологій створила стандарт 5G. 5 квітня цього року Південна Корея стала першою державою в світі, де мережа нового покоління не тільки почала працювати, а й стала доступна для населення. І саме це покоління мобільного зв'язку пов'язують з потенційними ризиками для здоров'я..

Це дійсно новий стандарт, основні особливості якого - найвищі швидкості передачі даних і найменші затримки передачі інформації. По-перше, збільшиться кількість пристроїв, і на додаток до вже існуючих з'являться тисячі нових антен. До того ж будуть змінюватися характеристики антен базових станцій, отже, є побоювання, якої шкоди вони можуть завдати людям. По-друге, будуть використовуватися частоти, які раніше не використовувалися для мобільного зв'язку. Нові та додаткові передавачі і високі частоти, вважають експерти, впливають на інтенсивність випромінювання. Про вплив високих частот на організм людини поки не так багато відомо.

Нещодавно близько 250 вчених з усього світу підписали петицію до Організації Об'єднаних Націй та Всесвітньої організації охорони здоров'я.

В зверненні вчених зазначається: «Ефекти включають в себе підвищений ризик розвитку раку, клітинний стрес, збільшення шкідливого впливу вільних радикалів, генетичних ушкоджень, структурні і функціональні зміни репродуктивних систем, порушення пам'яті, неврологічні розлади і негативні наслідки для загального самопочуття людей.[3]

Численні контрольовані наукові дослідження 2G, 3G і 4G технологій показали, що стрес, пошкодження сперматозоїдів і яєчок, нейропсихіатричні ефекти, включаючи зміни електричної активності в головному мозку,

пошкодження клітинної ДНК і перевантаження кальцієм можуть виникати у людей внаслідок впливу ЕМП. В даний час комахи і так на межі зникнення через використання різних пестицидів фермерами і досягнень в області технологій. Новий стандарт зв'язку стане «бомбою уповільненої дії». Дослідники з швейцарської організації «Pro Natur» з'ясували, що випромінювання впливає на вусики комах, підвищуючи температуру всього тільця. Можливо, в найближчому майбутньому бджіл і членистоногих безхребетних взагалі не залишиться. Це обернеться справжнім крахом цивілізацій. Нове покоління зв'язку буде працювати на частоті 120 ГГц, тоді як існуючі стандарти працюють на 6 ГГц. Частоти понад 10 ГГц використовуються комахами.

8.3 Висновки по розділу 8

Отже, 5G здатне змінити фізіологію і поведінку членистоногих. Вчені закликають влади країн, де планується запуск технології, пред'явити операторам підвищені вимоги до екологічного контролю.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі отримано такі основні результати:

1. За результатами аналізу концепцій Інтернету Речей, тактильного Інтернету та Інтернету Навичок встановлено, що мережі зв'язку п'ятого покоління є надщільними мережами з ультра малими затримками, що вимагає розробки нових методів їх побудови.

2. Для реалізації вимог по надщільності і ультра малих затримок потрібне застосування нових технологій, таких як програмно конфігуровані мережі SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільні граничні обчислення MEC, взаємодії пристрій-пристрій D2D.

3. Крім зміни власне методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, потрібні зміни методів ідентифікації, тестування та інших, супутніх забезпечення сталого функціонування мереж зв'язку п'ятого покоління технологій. У роботі запропоновано для ідентифікації в надщільних мережах використовувати технологію ідентифікації на основі архітектури цифрових об'єктів DOA.

Для досліджень, тестування та верифікації мереж зв'язку п'ятого покоління в роботі запропонована нова структура модельної мережі, використовувана для досліджень характеристик тактильного Інтернету та Інтернету Навичок.

4. Розроблено методику кластеризації мережі зв'язку, що відрізняється тим, що кластеризація здійснюється в умовах надання послуг мереж з ультра малими затримками, що призводить як до децентралізації мережі, так і створює передумови для децентралізації економіки в цілому.

5. Розроблено модель мережі зв'язку 2030 року, що відрізняється від відомих уявлень тим, що в основі побудови такої мережі лежать мережі зв'язку з ультра малими затримками. Занадто щільні мережі при створенні мереж зв'язку 2030 поповняться елементами наносвіту, а мережі зв'язку з ультра малими затримками дозволять реалізувати телеприсутність як в формі роботів аватарів, що належать користувачам і виконують їх команди з максимальним відповідністю

тактильним відчуттям конкретного користувача, так і вигляді голографічного телеприсутності, наприклад, на спортивних заходах.

6. Встановлено, що D2D-технології в умовах низької щільності користувачів і пристроїв мають навіть більшу ефективність за рахунок низького рівня перешкод, і як наслідок, поліпшення QoS і досяжною дальності зв'язку. Потенційні можливості D2D технологій дозволяють об'єднати в мережу значна кількість пристроїв, якщо останні мають функціональні можливості маршрутизації трафіку. Існуюча абонентська щільність терміналів дозволяє побудувати мережу з високою ймовірністю зв'язності, що дає потенційну можливість доставки даних, використовуючи тільки ресурси кінцевих пристроїв.

7. Визначено невідома раніше залежність потужності перешкод від щільності розміщення вузлів мережі і величини трафіку і отримана емпірична формула для такої залежності.

8. Запропоновано метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, що відрізняється від відомих тим, що вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимуму пропускної здатності і мінімуму числа транзитів.

9. Запропоновано метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що відрізняється тим, що додаткові маршрутизатори є широко використовуються термінали мереж зв'язку.

10. Розроблено метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що представляють собою широко використовуються термінали мереж зв'язку, і методика вибору місця розташування і числа транзитних вузлів на основі модифікованого алгоритму FOREL, для якого в якості метрики використовується значення величини відношення сигнал / шум плюс інтерференція SINR, що дозволяє збільшити пропускну здатність мережі D2D як мінімум на 10-20%.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Атея, А.А. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета / А.А. Атея, А.И. Выборнова, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 26-30.
2. Атея А.А., Энергоэффективная граничная облачная система для 5G / Филимонова М.И.; Атея А.А.; Мутханна А.С.А.; Киричек Р.В. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 4. С. 78-84.
3. Атея, А.А. Архитектура сотовой системы 5G на базе MEC / Атея, А.А.; Мутханна, А.С.; Кучерявый, А.Е.; // В книге: Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ-2017) материалы молодежной научной школы. Российский университет дружбы народов; Под общей редакцией К. Е. Самуйлова, Е. А. Кучерявого, А. Н. Дудина. 2017. С. 23-29.
4. Блануца В.И. Территориальная структура цифровой экономики России: предварительная делимитация “умных” городских агломераций и регионов. Пространственная экономика, №2, 2018, стр.17-35.
5. Бородин, А.С. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики А.С. Бородин, // Электросвязь. – 2017. – № 5. – С. 45-49.
6. Бородин А.С. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств. / Бородин А.С., Кучерявый А.Е., Парамонов А.И. // Электросвязь. 2018. № 10. С. 40-45.
7. Бородин А.С. Интернет навыков / Бородин А.С., А. Е. Кучерявый, Е. А. Кучерявый, М.А. Маколкина, А. И. Выборнова, В. Д. Фам, А. Ястребова// Электросвязь. 2018. № 1. С. 55–65.
8. Бородин А.С. Сети связи 2030 / А.Е.Кучерявый, Р.В.Киричек // Электросвязь, №11, 2018, с.52-56.
9. Бородин А.С. Маршрутизация трафика в сети беспроводной связи, построенной на базе D2D-технологий / Бородин А.С., Парамонов А.И. // Электросвязь, №2, 2019, с. 38-44.

10.Бородин А.С. Метод построения сети связи на базе D2D-технологий с использованием дополнительных маршрутизаторов / А.С.Бородин, А.Е.Кучерявый,А.И.Парамонов // Электросвязь, №4, 2019, с.86-92.

11.Бородин А.С. Архитектуры промышленного Интернета Вещей. / Москаленко Т.А., Киричек Р.В., Бородин А.С. // Информационные технологии и телекоммуникации, т.5, №4, 2017, с.49-56.

12.Бородин А.С. Обзор и сравнительный анализ методов идентификации устройств Интернета вещей / Мартыанова А.И., Кулик В.А., Бородин А.С., Киричек Р.В. // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017, стр.219-221.

13.Бородин А.С. Метод регулирования воздушного движения БПЛА в умных городах и сообществах / Бондарев А.Н., Бородин А.С., Киричек Р.В. // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017, стр.186-188.

14.Бородин А.С. Подходы к исследованию методов идентификации устройств и виртуальных сущностей Интернета вещей на базе архитектуры цифровых объектов / Москаленко Т.А., Киричек Р.В., Бородин А.С. // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2017, стр.178-179.

15.Вадзинский Р.Н.Справочник по вероятностным распределениям / Вадзинский Р.Н. // М. 2001.-296 с.

16.Васильев А.Б. Тестирование сетей связи следующего поколения. / Васильев А.Б., Тарасов Д.В., Андреев Д.В., Кучерявый А.Е. // М.: ФГУП ЦНИИС, 2008, 140с.

17.Викулов, А.С. Исследование клиентского состава в сети беспроводного доступа / Викулов А.С., Парамонов А.И. // В сб. статей VI Междунар. науч.- техн. и науч.-метод. конф. «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (АПИНО 2017). – 2017. – С. 136-139.

18.Викулов, А.С. Анализ трафика в сети беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11 / Викулов А.С., Парамонов А.И. // Труды учебных заведений связи. –

2017. – Т. 3, № 3. – С. 21-27.

19.Викулов А.С., Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi- Fi с высокой плотностью пользователей / Викулов А.С., Парамонов А.И. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 1. С. 21-31.

20.Викулов А.С., Эффективность использования канала и метод оптимизации числа кадров в блоке A-MSDU для сети IEEE 802.11ac / Викулов А.С., Парамонов А.И. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2018. – № 4. – СС. 21-31.

21.Выборнова, А.И. Тактильный интернет: новые возможности и задачи / Выборнова, А.И.; Кучерявый, А.Е. // В сборнике: Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2016 Первый научный форум "Телекоммуникации: теория и технологии" 3Т-2016. 2016, Самара, С. 133-134.

22.Гимадинов, Р.Ф. Кластеризация в мобильных сетях 5G. Случай частичной мобильности / Гимадинов, Р.Ф., Мутханна, А.С., Кучерявый, А.Е. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. Т. 3. № 2. С. 44-52.

23.Голубев А.Н., Системы коммутации в конце XX – начале XXI века / А.Н. Голубев, А.Е. Кучерявый, А.С. Миков. // Проблемы разработки, внедрения и эксплуатации цифровых систем коммутации. Семинар РНТОРЭС, Пермь, 21- 23 апреля, 1997.

24.Гольдштейн Б.С. Функциональная архитектура АТСЦ-90 и ее программная реализация // Электросвязь, №4, 1997, с.11-26.

25.Гольдштейн Б.С., Сети связи пост-NGN / Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. // БХВ, С.Петербург, 2013.

26.Дао Ч.Н., Метод выбора стабильного маршрута в сети с подвижными узлами / Дао Ч.Н., Парамонов А.И // Электросвязь. 2018. № 8. С. 37-44.

27.Ивченко, Г.И. Теория массового обслуживания / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.

28.Ким Дж.-О., Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка, М. С. Олдендерфер, Р. К. Блэшфилд // М.: Финансы и статистика, 1989.—215 с.

29. Кристофидес, Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. М. : Мир. 1978. – 430 с.

30. Кучерявый, А.Е. Самоорганизующиеся сети / Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. – СПб.: Любавич, 2011. – 312 с.

31. Кучерявый, А.Е. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчета / А.Е. Кучерявый, А.И. Парамонов, Е.А. Кучерявый. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2008.

32. Кучерявый, А.Е. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками / А.Е. Кучерявый, М.А. Маколкина, Р.В. Киричек // Электросвязь. – 2016. – № 1. – С. 44-46.

33. Кучерявый А.Е., Тактильный Интернет / Кучерявый А.Е., Выборнова А.И. // Сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО-2016. Том 1. С. 6-11.

34. Кучерявый А.Е., Пакетная сеть связи общего пользования / Кучерявый А.Е., Гильченко Л.З., Иванов А.Ю. // Наука и техника, СПб, 2004, 272 с.

35. Кучерявый А.Е., Сети связи следующего поколения. / А.Е. Кучерявый, А.Л. Цуприков // Центральный научно-исследовательский институт связи (ЦНИИС), Москва, 2006.

36. Кучерявый А.Е. Функциональная архитектура систем коммутации 90-х годов // Электросвязь, №9, 1996.

37. Кучерявый А.Е., От e-России к u-России: тенденции развития электросвязи / Кучерявый А.Е., Кучерявый Е.А. // Электросвязь, №5, 2005, с.10-11.

38. Кучерявый А.Е.. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А.Е. Кучерявый, А.И. Парамонов, Е.А. Кучерявый // – М. : ФГУП ЦНИИС, 2008. - 290 с.

39. Кучерявый А.Е. Интернет Вещей // Электросвязь, №1, 2013, стр.21-24.

40. Кучерявый, А.Е. Перспективы внедрения NGN Информация и космос. / Кучерявый, А.Е.; Ларичев, Н.И.; Пятаев, В.О. // 2004. № 1. С. 8-12.

41. Кучерявый А. Е. Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Е.

Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, А. И. Богданов, А. А. Дорг- Гольц // Электросвязь. - 2014. - № 9.

42.Кучерявый А.Е., Модели трафика для сенсорных сетей U
Кучерявый А.Е., Парамонов А.И. // Электросвязь. 2006. № 6. С. 15-19.

43.Кучерявый А.Е., Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017-2020 годы / Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Маколкина М.А., Парамонов А.И., Выборнова А.И., Пирмагомедов Р.Я. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1-14.

44.Кучерявый А.Е., Сети связи с малыми задержками / Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Аль-Наггар Я.М. // Электросвязь. 2013. № 12. С. 15-19

45.Маколкина М.А.. Развитие услуг дополненной реальности в рамках концепции Тактильного Интернета // Электросвязь, №2, 2017, с.36-40.

46.Маколкина, М.А. Распределение ресурсов при предоставлении услуги дополненной реальности / Маколкина, М.А.; Парамонов, А.И.; Гоголь, А.А.; Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2018. № 8. С. 23-30.

47.И.Д. Мандель Кластерный анализ // М.: Финансы и статистика. 1988. – 176. С. 48.Мутханна, М.С.А. Разработка модели кластеризации для реализации умного

города / Мутханна, М.С.А.; Шпаков, М.Н.; Атея, А.А.; Мутханна, А.С.А. // 73- я Всероссийская Научно-Техническая Конференция, Посвященная Дню Радио, 2018.

49.Нормы технологического проектирования. Городские и сельские сети. НТП 112-2000, РД 45.120-2000.

50.МСЭ-Р. Р.1238-5. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 900 МГц – 100 ГГц.

51.Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. СПбГУТ, СПб, 2014.

52.Парамонов А.И., Модели потоков трафика для сетей M2M / Парамонов

А.И. //Электросвязь. 2014. № 4. С. 11-16.

53.Парамонов А.И., Проблемы развития инфокоммуникационных услуг и их влияние на перераспределение трафика / Парамонов А.И., Сенькина Н.С. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 1. С. 46-54

54.Рекомендация МСЭ-Р Р.1238-8. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 300 МГц – 100 ГГц. Серия Р. 2015г.

55. Райгородский, А.М. Модели случайных графов и их применения / А.М. Райгородский. – М.: Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 130-140.

56. Рыжков А.Е., Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax / Рыжков А.Е., Сиверс М.А., Воробьев В.О., Гусаров А.С., Слышков А.С., Шуньков Р.В. // – СПб: Линк, 2012. – 226с.

57. Футахи А., Сенсорные сети в гетерогенной зоне системы длительной эволюции / А.Футахи, А.И.Парамонов, А.В.Прокопьев, А.Е.Кучерявый // Электросвязь, №3, 2015.

58. Тихвинский В.О., Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. // 2010, 284 с.

59.В.О.Тихвинский. Сети 5G и IoT – инновационная среда для цифровой экономики России // Электросвязь, №8, 2017, с.18-24

60.Хуссейн О.А., Анализ влияния технологий D2D на функционирование беспроводных сетей связи / Хуссейн О.А., Парамонов А.И. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 2. С. 79-86.

61.Хуссейн О.А., Анализ кластеризации D2D-устройств в сетях пятого поколения / Хуссейн О.А., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. // Электросвязь. 2018. № 9.С. 32-38.

62. Abakumov, P. The Cluster Head Selection Algorithm in the 3D USN / P.Abakumov, A. Koucheryavy // Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2014. ICACT 2014. Phoenix Park, Korea.

63. Andreev, S. Intelligent Access Network Selection in Converged Multi-Radio

Heterogeneous Networks / Andreev S, Gerasimenko M., Galinina O. et al. // IEEE Wireless Communications, 2017 – Vol. 21, № 6. – P. 86-96.

64. Agiwal, M. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey / Agiwal, M., Roy, A. and Saxena, N // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(3), pp.1617-1655, 2016.

65. Aijaz, A. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks / Aijaz, A., Dohler, M., Aghvami, A. H., Friderikos, V., Frodigh, M. // IEEE Wireless Communications, 24(2), pp.82-89, 2017.

66. Aijaz, A. Shaping 5G for the Tactile Internet / Aijaz, A.; Simsek, M.; Dohler M., Fettweis, G. // 5G Mobile Communications, Springer International Publishing, pp.677-691, 2017.

67. Al-Qadami, N. Mobility Adaptive Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks with Mobile Nodes / N.Al-Qadami, I.Laila, A.Koucheryavy, A.S.Ahmad // ICACT'2015, Proceedings, 1-3 July, Phoenix Park, Pyeongchang, Korea.

68. Al-Naggar, Y. Fuzzy Logic and Voronoi Diagram Using for Cluster Head Selection in Ubiquitous Sensor Networks / Y.Al-Naggar, A.Koucheryavy // LNCS, Springer. 14 th NEW2AN, LNCS 8638, 27-29, August, 2014.

69. Asadi, A. Network-assisted Outband D2D-clustering in 5G Cellular Networks: Theory and Practice / A. Asadi, V. Mancuso // IEEE Transactions on Mobile Computing. – December 2016, issue 99. –17 p.

70. Ateya, A. 5G framework based on multi-level edge computing with D2D enabled communication / Ateya, A.; Muthanna, A., Koucheryavy, A. // In Advanced Communication Technology (ICACT), 2018 20th International Conference on, IEEE, pp. 507-512, Feb. 2018.

71. Ateya, A. A. Development of Intelligent Core Network for Tactile Internet and Future Smart Systems / Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Abuarqoub, A.; Vybornova, A.; Koucheryavy, A. // Journal of Sensor and Actuator Networks, 7(1), pp. 1, 2018.

72. Ateya, A. A. Intelligent core network for Tactile Internet system / Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Vybornova, A.; Koucheryavy, A. // In Proceedings of 17

the International Conference on Future Networks and Distributed Systems, p. 15, ACM, July 2017.

73. Ateya, A. End-to-end system structure for latency sensitive applications of 5G / Ateya, A.; Al-Bahri, M.; Muthanna, A. and Koucheryavy, A. // *Электросвязь*, (6), pp. 56-61, 2018.

74. Ateya, A.A. Multilevel cloud based Tactile Internet system / Ateya, A.A.; Vybornova, A.; Kirichek, R.; Koucheryavy, A. // In Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Bongpyeong, Korea, pp. 105–110, 19–22 February 2017.

75. Borodin A. Future Networks 2030: Architecture & Requirements / Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Koucheryavy A. // 10th International Congress ICUMT, 2018.

76. Galinina, O. 5G Multi-RAT LTE-WiFi Ultra-Dense Small Cells: Performance, Dynamics, Architecture, and Trends / O.Galinina, A.Pyattaev, S.Andreev et al. // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. – March 2015. –P.1224-1240

77. Dao N. Analysis of Routes in the Network based on a Swarm of UAVS / Dao N., Koucheryavy A., Paramonov A.// *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2016, Vol. 376, pp. 1261-1271.

79. IEEE Std 802.11 – 2016. IEEE Standard for Information technology —Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Нью Йорк: Институт IEEE., 2016 – 3534 с.

80. ITU-T Technology Watch Report, “The Tactile Internet,” Aug. 2014.

81. Hoymann C. Relaying Operation in 3GPP LTE: Challenges and Solutions / C.Hoymann, W.Chen, H.Montojo, A.Coltschek, C.Koutsimanis, X.Chen // *IEEE Communications Magazine*, v.50, n.2, February 2012.

82. Lema, M. A. 5G case study of Internet of Skills: Slicing the human senses / Lema, M. A.; Antonakoglou, K.; Sardis, F.; Sornkarn, N.; Condoluci, M.; Mahmoodi, T.; Dohler, M. // In *Networks and Communications (EuCNC)*, 2017 Eu-ropean Conference

on, (pp. 1-6). IEEE, June 2017.

83. LTE Device to Device (D2D) Proximity Services (ProSe) User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 12). 3GPP TR 36.877 V12.0.0 (2015-03).

84. Kirichek R. Internet of Things Laboratory Test Bed / Kirichek R., Koucheryavy A. // International Conference on Wireless Communication, Networking and Application. WCNA 2014. — LNEE – Vol. 348. — Heidelberg: Springer, 2016.

85. Kirichek R. Model networks for internet of things and SDN / Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy A. // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016, pp. 76-79.

86. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queueing System. 17th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT) 2015. c. 127-132.

87. Koucheryavy A. Methods of Testing the NGN Technical Facilities / Koucheryavy A., Vasiliev A., Lee K.O. // International Conference on Advanced Communication Technologies (ICACT'2005). Proceedings, Phoenix Park, Korea, 21-23 Feb. 2005, 1-4 pp.

88. A. Koucheryavy. State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models // ICACT'2014, Proceedings, 16-19 February, Phoenix Park, Korea.

89. Koucheryavy, A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks / A. Koucheryavy, A. Salim // Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2010. ICACT 2010. Phoenix Park, Korea.

90. Maier, M. The tactile internet: vision, recent progress, and open challenges / Maier, M.; Chowdhury, M.; Rimal, B. P.; Van, D. P. // IEEE Communications Magazine. 2016, 54(5), 138-145.

91. Makolkina, M. The Augmented Reality Service Provision in D2D Network / M. Makolkina, A. Vikulov, A. Paramonov // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 700. – P. 281-290.

92. Makolkina M. The Models of Moving Users and IoT Devices Density Investigation for Augmented Reality Applications / M. Makolkina, A. Koucheryavy, A. Paramonov // Lecture Notes in Computer Science, 2017, v.10351, pp.683-692.

93. Mahmood O.A., Optimization of Routes in the Internet of Things. / Mahmood O.A., Paramonov A. // 18th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN), and 11th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART) conference proceedings. 2018. C. 584-593.

94. Muthanna A., Comparison of Protocols for Ubiquitous Wireless Sensor Network / Muthanna A., Paramonov A., Koucheryavy A., Prokopiev A. // В сборнике: International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops 6. Cep. "2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2014" 2015. C.334-337.

95. Muthanna, A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless Systems / Muthanna, A.; Mašek, P.; Hošek, J.; Fujdiak, R.; Hussein, O.; Paramonov, A.; Koucheryavy, A. // Lecture Notes in Computer Science, 2016, Vol. 9870, pp. 395-403.

96. Muthanna A., Enabling M2M Communication through MEC and SDN / Muthanna A., Khakimov A., Ateya A.A., Paramonov A., Koucheryavy A. // Communications in Computer and Information Science. 2018. T. 919. C. 95-105.

97. Paramonov A., Clustering Optimization for Out-of-Band D2D Communications. / Paramonov A., Hussain O., Samouylov K., Koucheryavy A., Kirichek R., Koucheryavy Y. // Wireless Communications and Mobile Computing. 2017. T. 2017. C. 6747052.

98. Paramonov A., Investigation Of Machine-To-Machine Traffic Generated By Mobile Terminals. / Chornaya D., Paramonov A., Koucheryavy A. // International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops 6. Cep. "2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2014" 2015. C. 210-213.

99. Paramonov A., M2M Traffic Models And Flow Types In Case Of Mass Event Detection / Paramonov A., Koucheryavy A. // Lecture Notes in Computer Science. 2014. T. 8638. C. 294-300.

100. Paramonov A., Connectivity Estimation in Wireless Sensor Networks /

Nurilloev I., Paramonov A., Koucheryavy A. // Lecture Notes in Computer Science. 2016. T. 9870. C. 269-277.

101. Recommendation Y.1541 Network performance objectives for IP-based services. Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, 2018.

102. Paramonov A., M2M Traffic Models And Flow Types In Case Of Mass Event Detection / Paramonov A., Koucheryavy A. // Lecture Notes in Computer Science. 2014. T. 8638. C. 294-300.

103. Vybornova A. Analysis of the Packet Path Lengths in the Swarms for Flying Ubiquitous Sensor Networks / Vybornova A., Paramonov A., Koucheryavy A. // Communications in Computer and Information Science, 2016, Vol. 678, pp. 362- 370.

104. Waldner, J.-B. Nanocomputers and Swarm Intelligence / J.-B. Waldner // ISTE, John Wiley & Sons, 2008

ДОДАТКИ

