

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«___» _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні
технології»**

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Аналіз шляхів збільшення пропускної здатності 4G мереж»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПІ-72

Гоч Богдан Олександрович _____

Керівник:

Доцент кафедри ІТМ ІТС, к.т.н.

Правило Валерій Володимирович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТК ІТС, к.т.н.

Явіся Валерій Сергійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Гоч Богдан Олександрович

1. Тема роботи «Аналіз шляхів збільшення пропускної здатності 4G мереж», керівник роботи Правило Валерій Володимирович, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж ІТС, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «14» квітня 2021 р. № 1007-с
2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи : Матеріали періодичних видань.
4. Зміст роботи :
 - 4.1. Характеристика і аналіз роботи мобільних мереж четвертого покоління
 - 4.2. Адаптивна модуляція у мережах LTE за наявності завад для надання доступу до середовища
 - 4.3. Метод управління просторово-часовим доступом в мережах LTE
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)
7. Дата видачі завдання 1 вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми роботи	01.09.2020	виконано
2	Вивчення та аналіз завдання	01.09.2020 - 31.12.2020	виконано
3	Дослідження загальних відомостей мережі 4G	10.01.2021 – 28.02.2021	виконано
4	Аналіз адаптивної модуляції у мережах LTE за наявності завад для надання доступу до середовища	01.03.2021 – 31.03.2021	виконано
5	Опис методу управління просторово-часовим доступом в мережах LTE	01.04.2021 – 25.05.2021	виконано
6	Висновки, вступ, реферат	26.05.2021	виконано
7	Розробка презентації	04.05.2021	виконано
8	Підготовка роботи до захисту	10.05.2021	виконано

Студент

Богдан ГОЧ

Керівник

Валерій ПРАВИЛО

РЕФЕРАТ

Робота містить 72 сторінок, 30 рисунків та 1 таблицю. Було використано 30 джерел.

Мета роботи: Аналіз існуючого стану щодо забезпечення необхідної пропускної здатності в 4G мережах та напрацювання пропозицій стосовно шляхів її збільшення.

В даній роботі розглядається архітектура мережі 4G, різні види її мережевих функцій та програмних модулів, а також дослідження спектральної ефективності та параметрів.

Проведено аналіз існуючих методів збільшення пропускної здатності 4G мереж і досліджено можливість та доцільність поєднання цих методів. Описані переваги та недоліки.

Також був проведений аналіз впливу перешкод, модуляції і швидкості кодування інформації на пропускну здатність базових станцій мережі 4G.

Удосконалено метод управління просторово-часовим доступом (ПЧД) в мережах 4G.

Ключові слова: 4G, OFDMA, IMS, LTE.

ABSTRACT

The work contains 72 pages, 30 drawings and 1 table. 30 sources were used.

Objective: Analysis of the current situation to provide the required bandwidth in 4G networks and develop proposals for ways to increase it. and software modules, as well as the study of spectral efficiency and parameters.

The analysis of existing methods of increasing the bandwidth of 4G networks and the possibility and feasibility of combining these methods. The advantages and disadvantages are described.

We also analyzed the impact of interference, modulation and encoding speed on the bandwidth of 4G base stations.

Improved the method of spatial-temporal access (STA) in 4G networks.

Keywords: 4G, OFDMA, IMS, LTE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1.....	12
ХАРАКТЕРИСТИКА І АНАЛІЗ РОБОТИ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ	12
1.1. Аналіз мережі 4G LTE.....	13
1.2. Аналіз існуючих методів підвищення пропускної здатності інформаційних мереж	17
1.3. Характеристики ефективності функціонування мереж LTE в умовах порушення керованості.....	20
1.4. Постановка завдання дослідження	23
Висновки.....	24
РОЗДІЛ 2.....	25
АДАПТИВНА МОДУЛЯЦІЯ У МЕРЕЖАХ LTE ЗА НАЯВНОСТІ ЗАВАД ДЛЯ НАДАННЯ ДОСТУПУ ДО СЕРЕДОВИЩА.....	25
2.1. Аналіз впливу внутрішньосистемних перешкод на пропускну здатність базових станцій мережі LTE.....	25
2.1.1. Перешкоди в мережі, що працює на одній несучій.....	26
2.1.2. Вплив перешкод на пропускну здатність.....	27
2.2. Аналіз впливу виду модуляції і швидкості кодування інформації на пропускну здатність	30
Висновки.....	39
РОЗДІЛ 3.....	40
МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИМ ДОСТУПОМ В МЕРЕЖАХ LTE	40

3.1. Існуючі алгоритми управління розподілом ресурсів і доступом з'єднань	40
3.2. Алгоритм, заснований на нечіткій логіці	42
3.3. Організація просторово-часового доступу	46
3.4. Імітаційна модель просторово-часового доступу, заснована на нечіткій логіці	53
3.5. Аналіз ефективності просторово-часового доступу, заснованого на нечіткій логіці.....	60
Висновки.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	65
СПИСОК ВИКОРАСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

CDMA	Code Division Multiple Access(технологія зв'язку, при якій канали передачі мають загальну смугу частот);
FDMA	Frequency Division Multiple Access (спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному діапазоні знаходиться тільки один абонент, різні абоненти використовують різні частоти в межах стільника);
GSM	Groupe Spécial Mobile (глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку);
LTE	Long-Term Evolution (стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів і інших терміналів, що працюють з даними);
MIMO	Multiple Input Multiple Output (метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, в якому передача даних і отримання даних здійснюються системами з декількох антен);
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing (цифрова схема модуляції, яка використовує велику кількість близько розташованих ортогональних піднесучих);
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (різновид амплітудної модуляції сигналу, яка є сумою двох несучих коливань зсунутих по фазі відносно один одного на 90 °);
QoS	Quality of service (ймовірність того, що мережа зв'язку відповідає заданій угоді про трафік);
TDMA	Time Division Multiple Access (спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному інтервалі знаходяться кілька абонентів);

- UMTS** Universal Mobile Telecommunications System (технологія стільникового зв'язку, розроблена Європейським Інститутом Стандартів Телекомунікацій (ETSI) для впровадження 3G в Європі) ;
- WiMAX** Worldwide Interoperability for Microwave Access (телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв);

ВСТУП

Актуальність. На сьогоднішній день мережі бездротової передачі інформації є одним з головних напрямків розвитку телекомунікації. LTE - універсальний стандарт міської мережі, в якому бездротовий широкосмуговий доступ застосовується в дуже широкому діапазоні додатків - від традиційної передачі мовлення до сучасних мультимедійних додатків. Технологія LTE застосовує відповідний протокол взаємодії мережевих вузлів для контролю передачі пакетів даних по загальнодоступному каналу зв'язку. Наявність загальнодоступного каналу зв'язку, яким користуються абоненти, є загальною рисою нинішніх та перспективних безпроводових телекомунікаційних систем. Ця риса приносить проблеми збільшення продуктивності, необхідність розробки алгоритмів, що забезпечують своєчасну і надійну передачу інформації, які збільшують коефіцієнт використання смуги пропускання, зменшують час реагування базової станції (БС) на запити абонентських станцій (АС), забезпечують якість обслуговування (QoS) для різних видів трафіку.

Важливим питанням у сфері забезпечення якості послуг є проблема збільшення пропускну здатності базової станції. Подальше вдосконалення якості та ефективності передачі даних у мережах LTE потребує розробки нових способів збільшення пропускну здатності шляхом раціонального використання ресурсів.

Тому, актуальним є завдання вибору і розробки ефективніших алгоритмів розподілу ресурсів і управління доступом, так щоб отримати більш високу пропускну здатність базової станції мережі LTE при незбалансованому трафіку, зменшити затримку пакетів і збільшити ймовірність з'єднання.

Мета роботи: Аналіз існуючого стану щодо забезпечення необхідної пропускну здатності в 4G мережах та напрацювання пропозицій стосовно шляхів її збільшення.

Виходячи з цього, основні завдання дослідження полягають у наступному :

- Визначити основні параметри та характеристики бездротової технології 4G;
- Провести аналіз існуючих методів збільшення пропускної здатності 4G мереж і дослідити можливість та доцільність поєднання цих методів;
- Провести аналіз впливу перешкод, модуляції і швидкості кодування інформації на пропускну здатність базових станцій мережі 4G;
- Запропонувати науковий підхід щодо збільшення пропускної здатності 4G мереж;
- Дослідити можливість застосування запропонованого підходу теоретично та практично.

Об’єктом дослідження є збільшення пропускної здатності 4G мереж.

Предмет дослідження: телекомунікаційна мережа 4G.

Теоретичний результат дослідження: Удосконалено метод управління просторово-часовим доступом (ПЧД) в мережах 4G, що дозволило забезпечити прискорення доступу до середовища і як результат - збільшити кількість обслугованих абонентських станцій.

Практичний результат дослідження: Практичне застосування ПЧД дозволяє підвищити відношення сигнал / перешкода + шум (ВСПШ) на 20 - 30 і більше дБ, що дає економію 1,5 – 2 підканала. Алгоритм ПЧД, заснований на моделі нечіткої логіки дає вигравш в ймовірності з'єднання на 10% щодо алгоритму, заснованого на аналізі черг, який використовується в 4G. При обмежених доступних ресурсах алгоритм, заснований на аналізі черг поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД на 40%.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА І АНАЛІЗ РОБОТИ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ

Подальшим розвитком глобальних телекомунікаційних технологій у галузі мобільного зв'язку є розробка та впровадження стандартів четвертого покоління (4G), які забезпечують більш високу швидкість передачі даних (таким чином покращуючи якість обслуговування користувачів), одночасно знижуючи загальну вартість телекомунікаційних операцій. Однією з технологій, покликаних для вирішення нагальних завдань сучасних телекомунікацій, є технологія Long Term Evolution (LTE технологія). Тому мобільну мережу, засновану на цій технології, називають мережею LTE [1].

В кінці 2009 р шведсько-фінський оператор телекомунікаційних послуг TeliaSonera спільно з виробником телекомунікаційного обладнання Ericsson оголосили про запуск в містах Стокгольм і Осло першої в світі комерційної LTE-мережі із заявленою швидкістю передачі даних до 80 Мбіт / с. А вже в 2015 році кількість користувачів LTE-мереж досягло 1,37 млрд.

Популярність LTE-мереж стрімко зростає. Цьому сприяє поява порівняно недорогих абонентських станцій (АС), які підтримують відповідні стандарти зв'язку, і збільшення швидкості. Можна припустити, що до 2022 число користувачів досягне 5,5 мільярда, збільшуючись щорічно на 20,8%.

Наявність загального каналу зв'язку, колективно використовуваного великим числом абонентів, є спільною рисою сучасних і перспективних бездротових телекомунікаційних систем. При цьому принциповим стає дефіцит частотного ресурсу, і як наслідок обмеження в наданні доступу АС до середовища. У всьому світі, з метою забезпечення можливості сталого функціонування радіозасобів LTE-мереж, проводяться заходи щодо перерозподілу радіочастотного спектру по виділенню необхідного

радіочастотного ресурсу, щодо забезпечення якості обслуговування, по розробці більш скоєних алгоритмів функціонування [2].

В даному розділі проведено огляд характеристик LTE з розподілу ресурсів в мережі.

1.1. Аналіз мережі 4G LTE

Технологія Long Term Evolution (LTE) або 4G спирається на транспортну мережу з комутацією пакетів IP. Вона не забезпечує режим маршрутизації для голосу, крім VoIP, на відміну від 3G, який передає голос у схемі. Використовується радіочастота LTE з різною шириною від 1,4 МГц до 20 МГц, завдяки чому можна отримати (для діапазону 20 МГц) швидкість передачі даних до 300 Мбіт / с в "низхідній лінії зв'язку", тоді як "справжній 4G" пропонує вихідний потік до 1 Гбіт / с [3]. Технологія LTE заснована на поєднаннях складних технологій, які можуть значно підвищити рівень продуктивності (дуже висока швидкість та затримка) у існуючих мережах 3G. Ортогональне мультиплексування частотного поділу (OFDMA) забезпечує оптимізацію використання частоти шляхом мінімізації перешкод. Використання кількох антенних методів (які вже використовуються для Wi-Fi або WiMax) збільшує кількість паралельних каналів зв'язку, збільшуючи загальну пропускну здатність і діапазон [4]. Мережі LTE - це стільникові мережі, що складаються з тисяч радіоелементів, які використовують однакові радіо частоти, включаючи радіочастотні осередки, радіокодування OFDMA та SC-FDMA. Рисунок 1.1 ілюструє архітектуру мережі LTE.

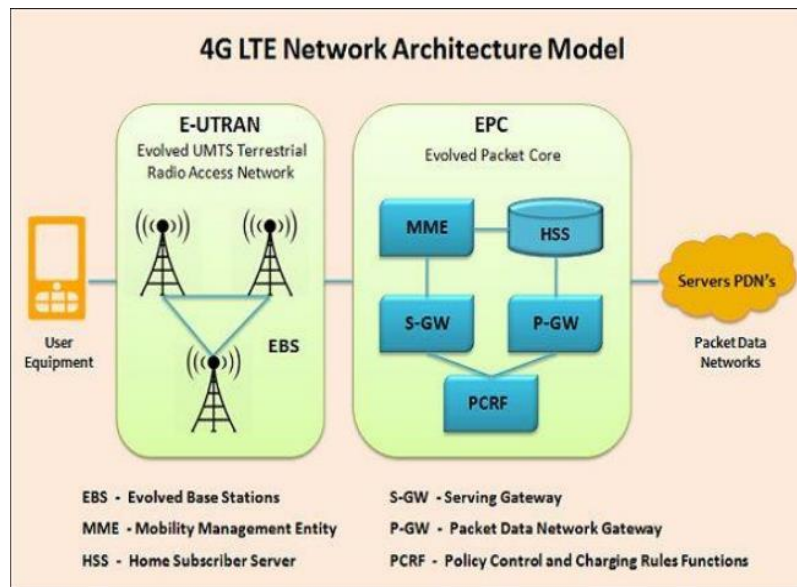


Рис.1.1 Загальна архітектура LTE мережі

Нові блоки, зазначені в архітектурі, також відомі як Evolved Packet System (EPS), Evolved Packet Core (EPC) та Evolved UTRAN (EUTRAN) [4]. На рисунку 1.2 наведено спрощену архітектуру EPS-частини мережі LTE.

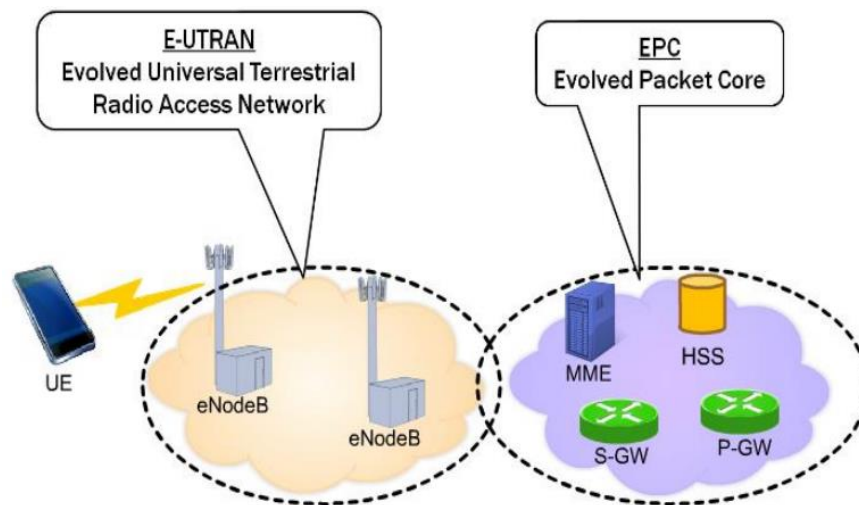


Рис.1.2 Еволюціонована архітектура пакетної системи

Основна мережа під назвою Evolved Packet Core (EPC) використовує технологію "full IP", тобто на основі Інтернет-протоколів для сигналізації, що дозволяє зменшити затримку, транспортування голосу і даних. Ця магістраль забезпечує взаємозв'язок через маршрутизатори з іншими віддаленими eNodeB, мережами інших операторів мобільного зв'язку, фіксованими мережами та Інтернетом [5].

Радіочастина мережі, що називається "eUTRAN", спрощена порівняно з мережами 2G (BSS) та 3G (UTRAN) шляхом інтеграції в базові станції "eNodeB" з оптоволоконним оптичні та IP-посилання, що з'єднують eNodeB між ними [6]. А також функції управління, які раніше були реалізовані в RNC (Контролер радіомережі) мереж 3G UMTS [7]. Ця частина відповідає за управління радіоресурсами, стиснення, безпеку, несучі та підключення до розширеної базової мережі. eNodeB є еквівалентом BTS у мережі GSM та мережі NodeB в UMTS, функція передачі є більш надійною у LTE. Це антени, які з'єднують UE з основною мережею LTE за допомогою RF-інтерфейсу. Окрім забезпечення функціональності радіоконтролера в eNodeB, результат є більш ефективним, а мережа менш прихованою, наприклад, мобільність визначається eNodeB замість BSC або RNC [8].

Мультимедійна підсистема IP (IMS) - це стандартизована методика NGN (Мережа наступного покоління) для операторів телефонії, яка надає послуги фіксованого та мобільного мультимедіа. Ця архітектура використовує технологію VoIP, а також стандартизовану реалізацію 3GPP [9].

Існуючі телефонні системи (комутація пакетів та комутація каналів) підтверджені. Метою IMS є не лише надання нових послуг, існуючих чи майбутніх, пропонованих в Інтернеті, користувачі також повинні мати можливість користуватися цими службами як у дорозі (ситуація в роумінгу), ніж з дому. Для цього IMS використовує протоколи IP. Таким чином, мультимедійний сеанс, незалежно від того, чи є він серед користувачів IMS або навіть серед двох користувачів Інтернету, вирішив використовувати точно такий самий протокол. Крім того, інтерфейси розробки послуг покладаються на протоколи IP. Ось чому IMS справді зближує Інтернет і світ стільникової телефонії. Стільникові технології також використовуються для досягнення будь-якого місця та використовують Інтернет-технології для надання всіх послуг [10].

4G дає можливість мати дуже надійні показники якості обслуговування, посиляючись на такі параметри. Використання OFDMA-кодування - це

технологія радіокодування FDMA для низхідної лінії зв'язку та SCFDMA (FDMA з однією несучою - це частотний поділ, технологія радіокодування з множинним доступом для висхідної лінії зв'язку замість W-CDMA в UMTS).

OFDMA та його варіант SC-FDMA походять із кодування OFDM (використовується, наприклад, на посиленнях ADSL та у мережах WiFi), але на відміну від OFDM, OFDMA оптимізований для багаторазового доступу, це одночасне спільне використання спектрального ресурсу (смуги частот) між кількома користувачами, віддаленими один від одного. OFDMA сумісний з методом антени MIMO.

Мобільність є ключовою функцією для мобільних мереж. LTE прагне залишатися функціональним для ЄС, що рухається на високій швидкості (до 350 км / год і навіть 500 км / год залежно від смуги частот), при цьому оптимізована для низьких швидкостей ЄС (від 0 до 15 км / год). Вплив внутрішньосистемних хендверів (процедура мобільності між двома стільниками LTE) на якість голосу менший, ніж у GSM, або еквівалентний. Система також включає механізми, які оптимізують затримки та втрату пакетів під час внутрішньосистемної передачі обслуговування [11].

Головним чином шляхом реалізація 16 QAM 16 (16 квадратурно-амплітудної модуляції з 16 станами): Ця модуляція дає змогу подвоїти пропускну здатність порівняно із використовуваною модуляцією для UMTS - QPSK (Квадратурна фазова маніпуляція фазою), яка базується на двох несучих однакової частоти поза фазою на 90 градусів, тобто 4 станах інформації. Зі свого боку, 16 QAM поєднує два рівні амплітуди з двома квадратурними носіями, тобто 16 інформаційних станів. Кожна з цих модуляцій використовується для певного посилення, наприклад: Модуляції низхідної лінії (QPSK, 16 QAM та 64 QAM) та Модуляції висхідної лінії зв'язку (QPSK та 16 QAM) [12].

1.2. Аналіз існуючих методів підвищення пропускної здатності інформаційних мереж

Головною характеристикою будь-якої мережі зв'язку, як системи розподілу інформації, є ефективність її функціонування [13,14]. З технічної точки зору, основними критеріями вимірювання ефективності мережі зв'язку є її продуктивність та пропускна здатність. Під пропускною здатністю мережі зв'язку розуміється добуток

$$D = \sum_{i,j} c_{ij} l_{ij} \quad (1.1)$$

де c_{ij} - номінальна пропускна здатність лінії між вузлами i та j в біт за одиницю часу, або в Ерл при спроможній якості обслуговування;

l_{ij} - довжина лінії між вузлами i та j в км.

Під продуктивністю мережі [14] зв'язку розуміється навантаження, обслужене одиницею довжини мережі за певний час T :

$$\Pi = \sum_{s,t} V_{st} l_{st} / T \quad (1.2)$$

де V_{st} - обсяг переданих за час T повідомлень (в бітах) між кінцевими пунктами s і t ;

l_{st} - довжина найкоротшого шляху між цими пунктами.

Інтервал часу T вибирається відповідно до поставленого завдання. Пропускна здатність мережі можна оцінити в ГНН, або за добу. При розрахунках обладнання використовується пропускна здатність в ГНН. З точки зору ефективності роботи мережі нас цікавить середньодобова пропускна здатність, при цьому щоб збільшити її, ми повинні "розмити" навантаження протягом дня. [15]

Однією з характеристик, що визначають ступінь навантаження обладнання системи протягом доби, є коефіцієнт концентрації навантаження, який визначає ступінь концентрації навантаження в ГНН:

$$k_{\text{ГНН}} = \gamma_{\text{ГНН}} / \gamma_{\text{доб}} \quad (1.3)$$

де $\gamma_{\text{ГНН}}$ - величина навантаження за ГНН;

$\gamma_{\text{доб}}$ - величина навантаження за добу.

Значення коефіцієнта концентрації в основному залежить від структурного складу користувачів мобільної мережі і як правило лежить в межах 0,09-0,15. Для того, щоб мінімізувати кількість пристроїв у мережі та отримати рівномірне завантаження, значення коефіцієнта концентрації повинне бути найменшим. Чим рівномірніше графік цього коефіцієнта концентрації протягом доби, тим вище пропускна здатність мережі.

Основні способи підвищення середньодобової пропускної здатності для стаціонарних і мобільних мереж [13] показані на рисунку 1.3.

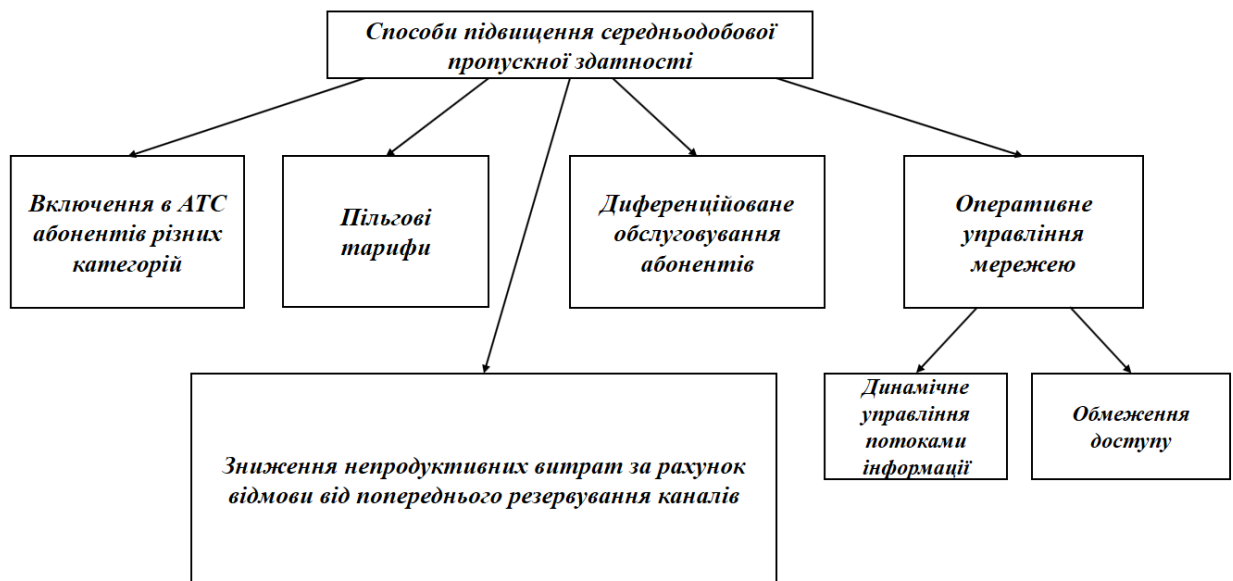


Рис.1.3. Способи підвищення середньодобової пропускної здатності

Перший спосіб заснований на тому факті, що в стаціонарних телефонних мережах ГНН для різних категорій користувачів не збігається. Тому в цих мережах часто застосовують включення в одну АТС користувачів різних категорій. При проектуванні мобільних мереж розподіл користувачів на категорії поки не проводиться. В даний час навантаження на мобільні мережі

в ГНН розраховується за питомим інформаційним навантаженням, однаковим для всіх абонентів 0,02 Ерл.

Другий спосіб використовується в мережах з оплатою за годину, для збалансування коефіцієнта концентрації використовується другий спосіб - пільгові тарифи. Цей принцип в основному і використовується в мобільних мережах.

Третій спосіб - диференційоване обслуговування абонентів, тобто поділ користувачів на категорії, при якому деякі обслуговуються з підвищеною якістю. Спочатку цей спосіб застосовують у телеграфії (термінові телеграми) і на міжміській мережі (терміновий виклик з 3-х кратної оплатою) при напівавтоматичному встановленні з'єднання. Зараз він широко використовується в мобільних мережах за допомогою надання різним користувачам різних рівнів обслуговування. При цьому знижується взаємний вплив абонентів різних категорій. Багаторівнева угода про надання послуг SLA [16] передбачає певну щомісячну плату та певний обсяг послуг, а за перевитрату стягується додаткова плата.

Четвертий спосіб, який полягає у зменшенні непродуктивних витрат шляхом відмови від попереднього резервування каналів, полягає в тому, що можна знизити непродуктивні витрати мережі шляхом відмови від попереднього резервування ресурсів. У мережах стандарту GSM, згідно специфікації MCE-T Q.764 [17], при передачі по мережі ОКС-7 початкового адресного повідомлення (IAM), одночасно відбувається резервування розмовних каналів в інформаційній мережі (IM).

В [18] вивчалася поведінка мережі за відсутності попереднього резервування інформаційних каналів за допомогою імітаційного моделювання. У разі відсутності резервування ресурсів, середній час заняття інформаційної мережі (і, отже, навантаження на неї) виявлялося дещо менше ніж у випадку з резервуванням. Ця різниця є прямим наслідком скасування резервування: інформаційні канали не займалися на час встановлення з'єднання, тому навантаження зменшувалося. При збільшенні кількості

користувачів, інформаційна мережа розпочала здійснення обмеження навантаження на вході. Так як, у випадку з резервуванням, навантаження, яке надходить на інформаційну мережу, виявлялося більше, то її обмеження вступало в силу при меншій кількості користувачів, ніж в разі без резервування. При резервуванні інформаційних каналів середній час заняття інформаційної мережі починав зменшуватися (внаслідок великої кількості відмов), а без резервування, цей час продовжував зростати, і ІС не здійснювала обмеження, що надходить на навантаження на вході. Що до випадку з відсутністю резервування каналів в інформаційній мережі, то, так як навантаження, що надходить не обмежувалось інформаційною мережею, середній час заняття керуючої мережі зростав через збільшення часу очікування керуючої інформації в буферах на передачу.

П'ятий спосіб оперативного управління мережею застосовується для боротьби з перевантаженнями, які різко знижують пропускну здатність мережі. При цьому використовуються методи оперативного управління мережею, які припускають динамічне управління потоками як користувальницької, так і керуючої інформації, аж до обмеження доступу користувачів до мережі.

1.3. Характеристики ефективності функціонування мереж LTE в умовах порушення керованості

Однією з ключових особливостей мереж LTE є здатність одночасної підтримки додатків з різними вимогами якості обслуговування (QoS). Для того, щоб забезпечити дотримання параметрів QoS для кожного з додатків, створюються різні поліпшені системи обробки пакетів – EPS [19]. Основними є два типи EPS з'єднань:

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

Гарантовані з'єднання передаються з мінімальною фіксованою швидкістю передачі, але при наявності вільних ресурсів в мережі можлива передача зі

швидкістю більшою, ніж мінімально встановлена. При встановленні з'єднань типу Non-GBR мережа не гарантує навіть мінімальної швидкості передачі даних, тому в разі перевантаження для цих з'єднань може відбуватися втрата пакетів даних.

На радіоділянці мережі між базовою станцією eNodeB і призначеним для користувача обладнанням UE забезпеченням параметрів QoS займається сама станція eNodeB. Кожному інформаційному потоку приписаний параметр класу обслуговування QoS - QCI. У кожному класі обслуговування QoS є кілька ідентифікаторів QCI. Кожен ідентифікатор QCI (див. Таблицю 1.1) [19,20] визначає значення наступних параметрів QoS: пріоритет, допустима затримка і допустима кількість втрачених пакетів. Всі можливі значення ідентифікаторів QCI, а також значення параметрів QoS, що відносяться до конкретному ідентифікатору QCI, визначені у відповідній специфікації. Це допомагає забезпечувати однакову обробку потоків одного типу на обладнанні різних виробників. В рамках вимог класів QoS всі типи послуг поділяються на 9 типів, кожному з яких відповідає ідентифікатор QCI.

При передачі даних з гарантованою швидкістю базова станція eNodeB повинна управляти ресурсами в динамічному режимі. Параметри класів QoS 1,2, 3 і 7 - це послуги, що надаються абоненту в реальному часу по протоколу UDP / IP. Основним обмежуючим фактором при їх застосуванні є допустима затримка в доставці пакетів. Значення допустимої затримки визначається на ділянці між шлюзом P-GW і призначеним для користувача обладнанням UE.

Таблиця 1.1.

Параметри QoS для різних послуг, що надаються в мережі LTE

QCI	Тип ресурсу	Пріоритет	Затримка (мс)	PERL	Приклади послуг
1	GBR	2	100	10^{-2}	Телефонія в режимі реального часу
2		4	150	10^{-3}	Відеотелефонія, відео в режимі реального часу
3		3	50	10^{-3}	Ігри в режимі реального часу
4		5	300	10^{-6}	Відео з буферизацією
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	Сигналізація (IMS)
6		6	300	10^{-6}	Відео з буферизацією, TCP/IP послуги для пріоритетних користувачів
7		7	100	10^{-3}	Аудіо, відео в режимі реального часу, інтерактивні ігри
8		8	300	10^{-6}	Відео з буферизацією, TCP/IP послуги
9		9			

Значення показника надійності передачі пакета - швидкість втрати пакетів PERL оцінюється тільки при доставці пакетів за допомогою протоколу TCP / IP. Тому при значенні допустимих втрат менше 10^{-6} , використовується передача з підтвердженням. Найбільший пріоритет (1 клас) має найменший параметр, до нього відноситься трафік з управління мережею. Клас 9 застосовується по замовчуванню при доставці IP-трафіку (читання файлів з Інтернету, E-mail, відео) непривілейованих користувачам [19,20].

Таким чином, для забезпечення заданої якості обслуговування всіх користувачів даної стільниці мережі LTE, необхідно вводити пороги для певних видів трафіку. При цьому мережа не повинна перевантажуватися і не має бути порушення її цілісності, так як через втрату хоча б одного пакета часто може бути втрачено все повідомлення. Крім того, необхідно боротися з перевантаженнями, що виникають через те, що запити на мовні з'єднання безконтрольно захоплюють ресурси мережі.

Для правильного визначення значень порогів необхідно ввести функцію втрат, яка буде характеризувати втрати трафіку при недотриманні допустимої затримки. Наприклад, коли канал майже вільний - користувачі мають рівні пріоритети і отримують швидкості, відповідно до запитів. Однак, при виникненні перевантажень на фрагменті мережі, модуль управління базовою станцією eNodeB повинен вводити пріоритети для трафіку.

1.4. Постановка завдання дослідження

Проведений вище аналіз показав, що для того щоб мережа не здійснювала перевантаження і не було порушення її цілісності необхідно вводити пороги для певних видів трафіку.

Дослідження існуючих методів підвищення пропускної здатності бездротових ділянок мереж показало, що при розподілі ресурсів можуть бути застосовані адаптивні механізми виділення ресурсів, зокрема з використанням динамічного управління.

Вивчення принципів функціонування фрагментів мережі LTE і аналіз існуючих методів управління в них трафіком показав, що для них найбільш застосований метод диференційованого обслуговування, заснований на виділенні різних сервісних класів. Технологія LTE в силу особливостей побудови радіоінтерфейсу є найбільш придатною для застосування методів динамічного управління пропускною спроможністю.

З урахуванням викладеного завдання дослідження в змістовному плані формулюється так: для заданої структури радіоінтерфейсу мережі LTE і режимів її функціонування, а також мінливих обставин функціонування, створити алгоритм, що забезпечить мінімальний рівень залучення ресурсу фрагмента мережі LTE.

Висновки

1. В даний час найбільш популярною технологією мобільної передачі є технологія LTE. Наявність загального каналу зв'язку, колективно використовуваного великим числом абонентів, є спільною рисою сучасних і перспективних бездротових телекомунікаційних систем.

2. Проведено аналіз методів підвищення пропускної здатності інформаційних мереж та існуючих методів управління в них трафіком, а також розглянуті способи управління пропускною здатністю. Розглянуто та проаналізовано методи управління пропускною спроможністю в стаціонарних і мобільних мережах і на бездротових фрагментах мережі стандарту LTE з метою вирішення завдання розробки оптимального методу управління.

3. Показано, що основними загрозами порушення керованості мережі LTE є: зовнішні атаки на мережу; вірусні атаки; атаки на додаткові сервіси і т.д.

4. Сформульовано задачу дослідження, а саме: для заданої структури мережі LTE і різних режимів її функціонування визначити варіант використання режимів, що забезпечить мінімальний рівень залучення ресурсу мережі при заданих умовах її функціонування.

РОЗДІЛ 2

АДАПТИВНА МОДУЛЯЦІЯ У МЕРЕЖАХ LTE ЗА НАЯВНОСТІ ЗАВАД ДЛЯ НАДАННЯ ДОСТУПУ ДО СЕРЕДОВИЩА

Мережева архітектура LTE зроблена для того, щоб забезпечити підтримку потоку пакетів даних через так звану "гладку" мобільність, мінімальними затримками доставки пакетів даних, високими швидкостями передачі інформації і показниками якості обслуговування [21]. Однак, як показав досвід, через перешкоди в каналі ці показники насправді не завжди доступні. Мета цього розділу - розробити адаптивну модуляцію в мережах LTE за наявності перешкод для збільшення пропускної спроможності базових станцій.

2.1. Аналіз впливу внутрішньосистемних перешкод на пропускну здатність базових станцій мережі LTE

У мережах LTE можливе гнучке виділення користувачам частотночасових ресурсних блоків однієї несучої. Серйозною проблемою в таких мережах є внутрішньосистемні перешкоди, уникнути які можна, завдяки скоординованому між базовими станціями розподілу ресурсних блоків між обслуговуваними абонентами [21,22].

Робота мереж LTE здійснюється з коефіцієнтом перевикористання частот 1, тобто всі БС працюють на одній несучій. Гарантована пропускна здатність таких мереж 144 кбіт / с. Ресурси однієї несучої, завдяки OFDM, можуть гнучко виділятися користувачам частотно-часовими блоками по 180 кГц x 1 мс. Очевидно, що, якщо в сусідніх сотах виділяються користувачам одні й ті ж ресурсні блоки, то спектр несучої використовується найбільш ефективно [21]. Але при цьому гостро постає проблема внутрішньосистемних

перешкод особливо на кордонах сот. Наявність внутрішньосистемних перешкод буде знижувати пропускну здатність базових станцій.

2.1.1. Перешкоди в мережі, що працює на одній несучій

Як показано на рис. 2.1, якщо користувачеві 1 на краю лівої станції будуть виділені ті ж ресурсні блоки, що і користувачеві 2 в правій станції, то на лінії вниз сигнал, що випромінюється для користувача 2, буде перешкодою для користувача 1. За умови, що користувач 2 знаходиться досить далеко від кордону станції, сигнал, що випромінюється лівою станцією для користувача 1, не буде перешкодою для користувача 2 [22].

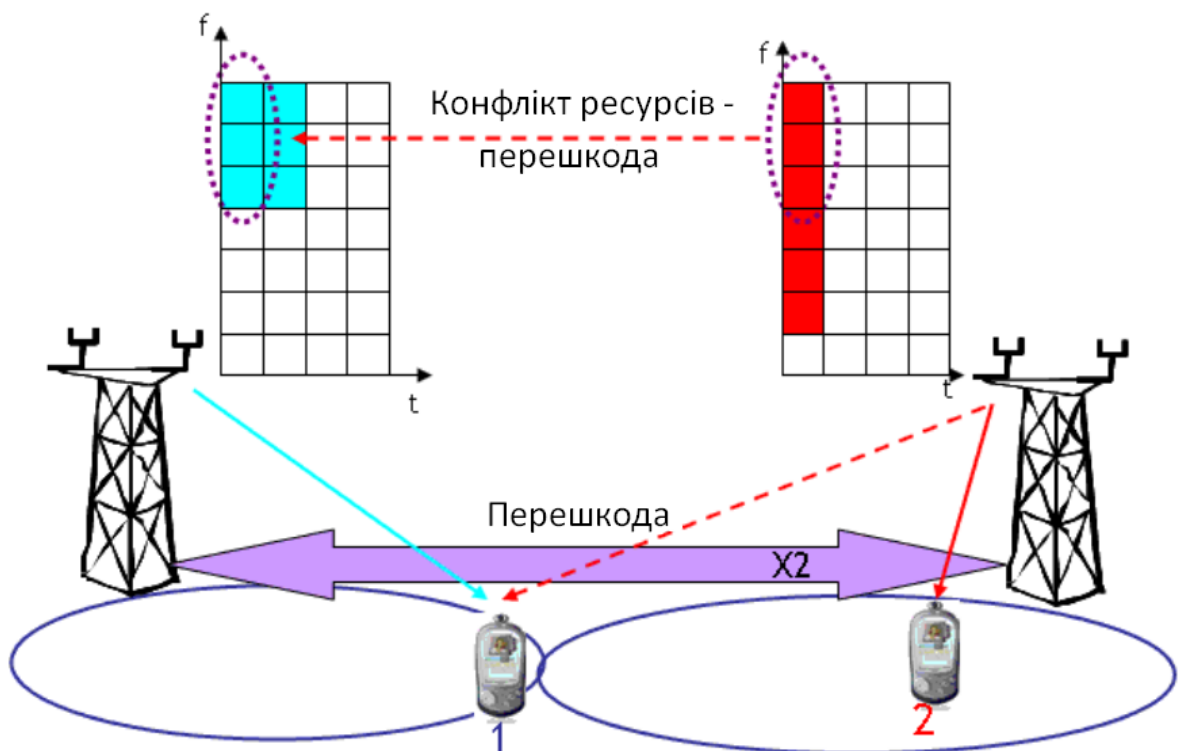


Рис.2.1. Внутрішньосистемні перешкоди

На лінії вгору в правій станції сигнал користувача 1 надходитиме в прийомні ланцюги правої базової станції, і буде інтерферувати з сигналом користувача 2 незалежно від положення останнього в станції. Сигнал користувача 2 на лінії вгору, завдяки регулюванню потужності передавача 1, випромінюватиметься з потужністю, мінімально необхідної для обробки в обслуговуючій базовій станції, і не буде перешкодою для сусідніх станцій.

Таким чином, вплив внутрішньосистемних перешкод на характеристики ліній вгору і вниз системи LTE по-різному:

- Випромінювання АС, що знаходяться на межі двох станцій, створюють перешкоди для будь-якого користувача сусідньої станції, що працює на тій же частоті, незалежно від його місця розташування навколо станції. Отже, навіть мала кількість користувачів на біля станції може створювати перешкоди на лінії вгору для всіх користувачів сусідньої станції.

- Випромінювання БС сигналів для власних користувачів створює перешкоди тільки для тих користувачів сусідньої станції, які знаходяться на кордоні цих двох станцій і працюють на одних і тих же частотах. Таким чином, перешкоди на лінії вниз створюються тільки для малої частини користувачів сусідньої станції. Уникнути перешкод можна, виділяючи користувачам на кордонах двох станцій різні частотні блоки.

Найбільш вразливою для перешкод є лінія вгору, і до координації перешкод на лінії вгору пред'являють більш серйозні вимоги. Для зниження ефекту внутрішньосистемних перешкод в LTE застосовуються функції диспетчера частотних ресурсів (FSS - Frequency Selective Scheduling) і контролю перешкод між станціями (ICIC - Inter Cell Interference Control).

2.1.2. Вплив перешкод на пропускну здатність

Для того щоб проаналізувати вплив внутрішньосистемних перешкод на пропускну здатність запишемо вираз для потенційної швидкості передачі інформації (межа Шеннона) для двох випадків: корисний сигнал передається в присутність адитивного білого гауссовського шуму (АБГШ); корисний сигнал передається в присутність АБГШ і соканальних перешкод [23].

Границя Шеннона швидкості передачі в смузі ΔF для першого випадку:

$$C_1 = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_c L_c}{N_0} \right), \quad (2.1)$$

де ΔF - смуга частот;

P_c - потужність передавача корисного сигналу;

L_c - ослаблення корисного сигналу між передавачем і приймачем;

N_0 - спектральна щільність потужності АБГШ.

Потенційна швидкість передачі інформації в присутності АБГШ і соканальних перешкод:

$$C_2 = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_c L_c}{N_0 + \sum_{i=1}^k P_i L_i} \right), \quad (2.2)$$

де i - номер джерела соканальної перешкоди;

P_i - потужність випромінювання i -й перешкоди;

L_i - ослаблення i -й перешкоди між передавачем, що заважає і точкою прийому.

Зниження швидкості передачі внаслідок соканальних перешкод:

$$\begin{aligned} \Delta C = C_1 - C_2 &= \Delta F \log_2 \left(\frac{1 + \frac{P_c L_c}{N_0}}{1 + \frac{P_c L_c}{N_0 + \sum_{i=1}^k P_i L_i}} \right) = \Delta F \log_2 \left(\frac{1 + \frac{P_c L_c}{N_0}}{1 + \left(\frac{N_0}{P_c L_c} + \frac{\sum_{i=1}^k P_i L_i}{P_c L_c} \right)^{-1}} \right) = \\ &= \Delta F \log_2 \left(\frac{1 + h^2}{1 + \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{q^2} \right)^{-1}} \right), \end{aligned} \quad (2.3)$$

де $h^2 = \frac{P_c L_c}{N_0}$ – відношення сигнал-шум;

$$q^2 = \frac{P_c L_c}{\sum_{i=1}^k P_i L_i} \text{ – відношення сигнал-перешкода.}$$

Проведено аналіз зниження пропускної здатності мережі LTE за рахунок соканальних перешкод. На рис.2.2 представлені залежності відносного зниження пропускної спроможності базових станцій мережі від відношення сигнал-перешкода при різних значеннях сигнал-шум. Якщо користувач знаходиться на краю станції, то потужність соканальних перешкод порівнянна з потужністю корисного сигналу, тобто $q^2 \approx 0$ дБ. Втрати пропускної здатності для користувача на краю станції при $q^2 = 0$ і $h = 8$ дБ, досягають 70%.

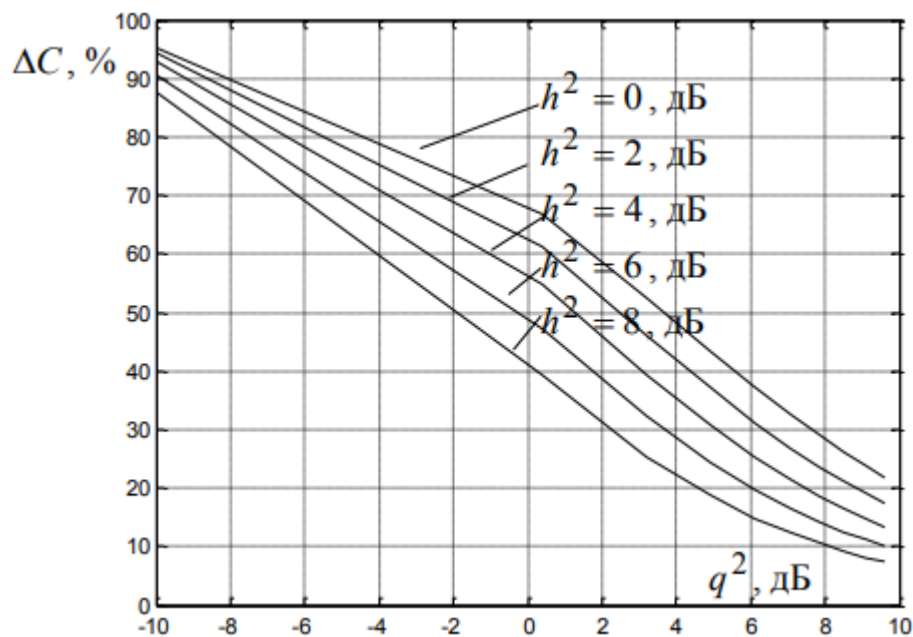


Рис. 2.2. Зниження пропускної здатності в залежності від відношення сигнал-перешкода для технології LTE

Таким чином, для підвищення пропускної здатності і ймовірності з'єднання необхідне вдосконалення адаптивної модуляції при наявності перешкод.

2.2. Аналіз впливу виду модуляції і швидкості кодування інформації на пропускну здатність

Цікавим є оцінка впливу способу модуляції і швидкості кодування інформації на процес адаптивного управління пропускну здатністю при наявності імпульсних і флуктуаційних перешкод (ФП) в каналі обміну інформацією [23,24].

Проведемо аналіз впливу ненавмисних перешкод на широкосмугову систему радіодоступу при використанні інформаційних сигналів на основі фазової і квадратурної-амплітудної маніпуляції (QAM) з різними швидкостями кодування, які використовуються в мережах LTE. В якості показника якості системи передачі даних виберемо ймовірність помилки, яка, в загальному випадку, визначається як:

$$P_{\text{э}} = \frac{1}{2} \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{D_{1,2}}{2N_0}} \right) \right], \quad (2.4)$$

де $D_{ij} = \int_0^{T_s} (x_{si}(t) - x_{sj}(t))^2 dt$ – енергетична відстань між сигналами;

N_0 – спектральна щільність потужності шуму;

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad \text{– функція Лапласа.}$$

Енергетична відстань між сигналами для розглянутих сигналів оцінюється як:

- Для PSK:

$$D_{i,i+1} = 2\sqrt{E} \sin \frac{\pi}{M}, \quad (2.5)$$

Де M – число позицій;

E - еквівалентна енергія.

Для QAM:

$$D_{i,j+1} = \sqrt{2E}(\sqrt{M} - 1)^{-1}. \quad (2.6)$$

Будемо вважати, що відстань між мобільною і базовою станціями становить r . Тоді щільність потоку енергії, яка утворюється випромінюванням сигналом в місці розміщення прийомної антени системи радіодоступу, яка знаходиться на відстані r від випромінюючої антени, становить

$$S_{np} = \frac{PG}{4\pi r^2}, \text{ де } P - \text{потужність передавача, } G - \text{коефіцієнт посилення}$$

антени передавача. Потужність сигналу на вході приймача, в цьому випадку, можна записати як:

$$P_p = S_{np}A,$$

де A - ефективна площа антени приймача.

Слід зазначити, що при оцінці потужності сигналу на вході приймача необхідно враховувати коефіцієнти, які оцінюють втрати енергії сигналу за рахунок розбіжності поляризації, а також втрати сигналу в антеннофідерном тракті приймача. Для виявлення сигналів необхідно, щоб відношення сигнал / шум було більше порогового. Відношення сигнал-шум можна оцінити на основі наступного виразу $h^2 = \sqrt{\frac{P_p}{N_0}}$.

Необхідно також враховувати, що на приймач системи радіодоступу з декількох напрямків впливає J джерел ФП. В результаті дії перешкод спектральна щільність потужності N_0 внутрішнього шуму, перерахованого до входу приймача, доповнюється сумарною спектральною щільністю потужності J зовнішніх перешкод N_p , яка визначається співвідношенням:

$$N_p = \sum_{j=1}^J \frac{P_{pj}G_{pj}}{4\pi r_j^2 \Delta F_{pj}} A_j,$$

де P_{pj} , G_{pj} - ефективна випромінювана потужність і коефіцієнт посилення антени j -го джерела перешкод, ΔF_{pj} - ширина її енергетичного спектра, r_j - дальність джерела до приймача LTE, A_j - ефективна площа приймальної антени для напрямку приходу і поляризації коливань перешкод

j -го джерела. Таким чином, якщо на приймач впливає флуктуаційний помеховий сигнал з середньою потужністю P_{pj} , який повністю покриває його робочу смугу ΔF_{pj} і аналогічно зі стаціонарним гауссовим шумом має нульову середню і рівномірну спектральну щільність потужності $J_0 = \frac{P_{pj}}{\Delta F_{pj}}$. Тоді співвідношення сигнал / (шум + перешкода) на вході приймача LTE визначимо наступним чином:

$$h^2 = \sqrt{\frac{P_{pb}}{N_0 + J_0}}, \quad (2.7)$$

З огляду на (2.4) (2.5), і (2.7) і з урахуванням швидкості кодування

$R_k = \frac{k}{n}$ отримуємо ймовірність P_3 при передачі рівноймовірно сигналів фазової модуляції:

$$P_3 = \frac{1}{2} \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{2PGAn}{4\pi r^2(N_0 + J_0)k}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \right], \quad (2.8)$$

де $E_s = E_0 \log_2 M$ - енергія на один символ.

Припустимо тепер, що замість безперервної широкосмугової перешкоди діє імпульсна перешкода підвищеної потужності $\frac{P_j}{\rho}$, що досягається за рахунок зменшення часу її впливу на приймач по загальному часу впливу на величину ρ ($0 < \rho < 1$).

Ймовірність виникнення імпульсної перешкоди в даний момент часу можна вважати рівною ρ . Через вплив перешкод протягом відносного часу передачі ρ спектральна щільність потужності перешкоди з урахуванням теплового шуму зростає до $N_0 + \frac{J_0}{\rho}$. У проміжок часу, що залишився з ймовірністю $(1 - \rho)$ джерело перешкод не видає, і відношення сигнал / шум прийнятого сигналу визначається тільки наявністю ФП зі спектральної щільністю потужності N_0 (вираз (2.7) при $J_0 = 0$).

Таким чином, вираз для ймовірності P_3 при впливі імпульсної перешкоди є сумою помилок з урахуванням ФП і з урахуванням імпульсних перешкод:

$$P_3 = \frac{1}{2} \left\{ (1 - \rho) \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{2PGAn}{4\pi r^2 N_0 k}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \right] + \rho \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{2PGAn}{4\pi r^2 (N_0 + J_0) k}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \right] \right\}$$

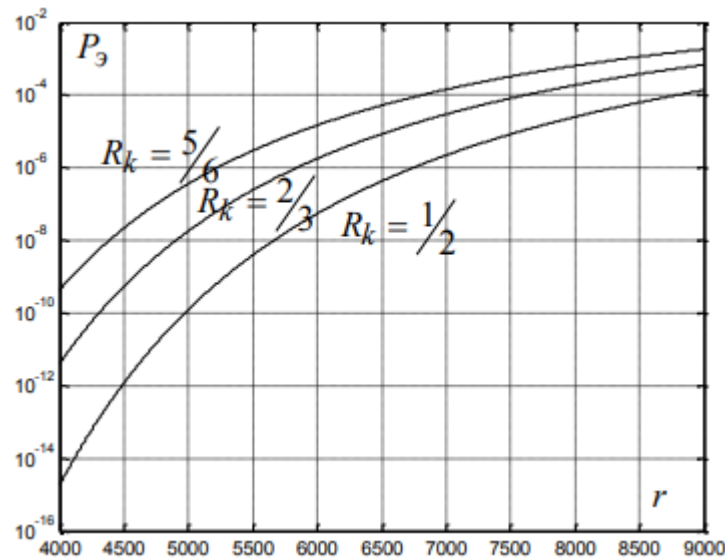


Рис.2.3. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції BPSK при різних швидкостях кодування

Побудовано криві ймовірності помилки на біт інформації від відстані між передавачем і приймачем. Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією BPSK і потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт, представлені на рис. 2.3. Швидкості кодування обрані відповідно до вимог LTE мережі і відповідають

$R_k = 1/2$ - нижня крива на рис.2.3;

$R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.3 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

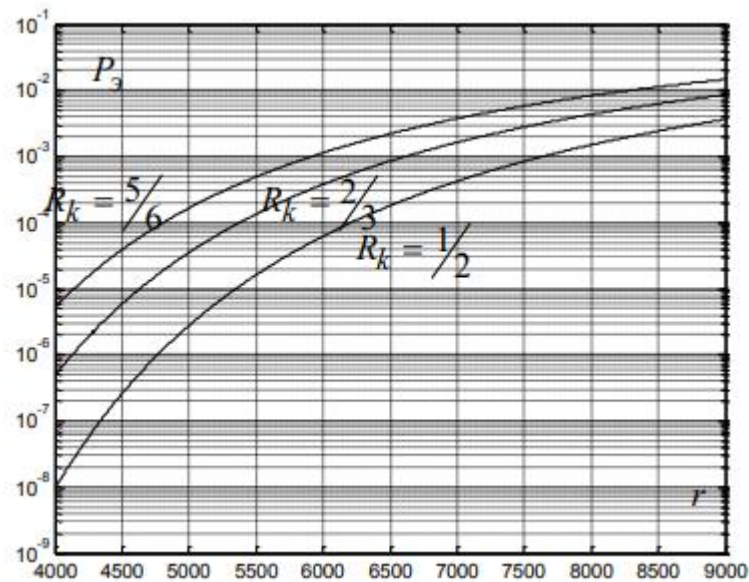


Рис.2.4. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції QPSK при різних швидкостях кодування

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією QPSK і потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт, представлені на рис. 2.4. Швидкості кодування обрані ті ж і відповідають

$R_k = 1/2$ - нижня крива на рис. 2.4, $R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.4 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

Побудовано криві ймовірності помилки на біт інформації від відстані між передавачем і приймачем при наявності імпульсних перешкод. Потужність імпульсної перешкоди при моделюванні була обрана в три рази більше потужності внутрішніх шумів.

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією BPSK, потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт і при наявності імпульсних перешкод представлені на рис. 2.5. Швидкості кодування обрані відповідно до вимог LTE мережі і відповідають

$R_k = 1/2$ - нижня крива на рис.2.5, $R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.5 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

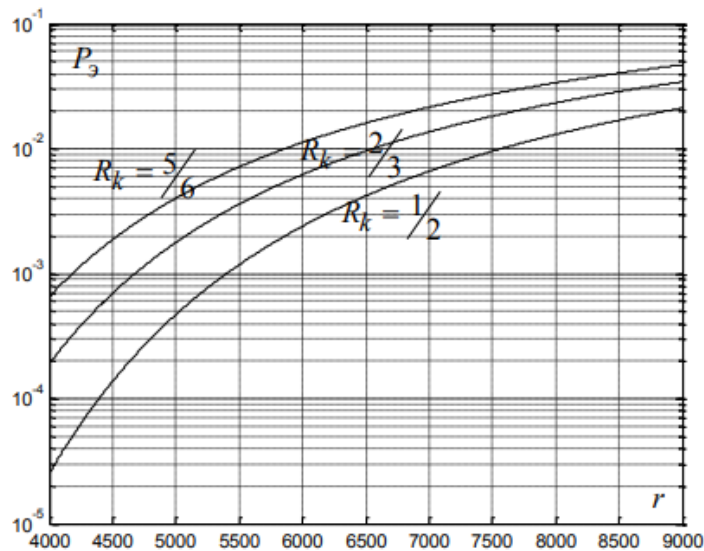


Рис.2.5. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції BPSK при різних швидкостях кодування при наявності перешкод

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією QPSK, потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт і при наявності ФП представлені на рис. 2.6. Швидкості кодування обрані ті ж і відповідають $R_k = 1/2$ - нижня крива на рис.2.6, $R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.6 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

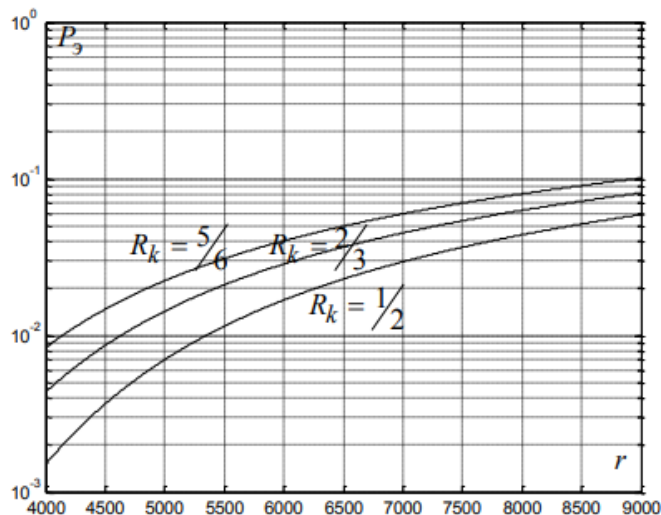


Рис.2.6. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції QPSK при різних швидкостях кодування при наявності перешкод

Наведені вирази перетворені при використанні QAM сигналів, використовуючи енергетичну відстань цих сигналів (вираз (2.6)):

$$P_3 = \frac{1}{2} \left\{ (1 - \rho) \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{\sqrt{2} P G A n}{8 \pi r^2 N_0 k (\sqrt{M} - 1)}} \right) \right] + \right. \\ \left. + \rho \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{\sqrt{2} P G A n}{8 \pi r^2 (N_0 + J_0) k (\sqrt{M} - 1)}} \right) \right] \right\}.$$

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією QAM-16 і потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт, представлені на рис. 2.7. Швидкості кодування обрані ті ж і відповідають

$R_k = 1/2$ - нижня крива на рис.2.7, $R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.7 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

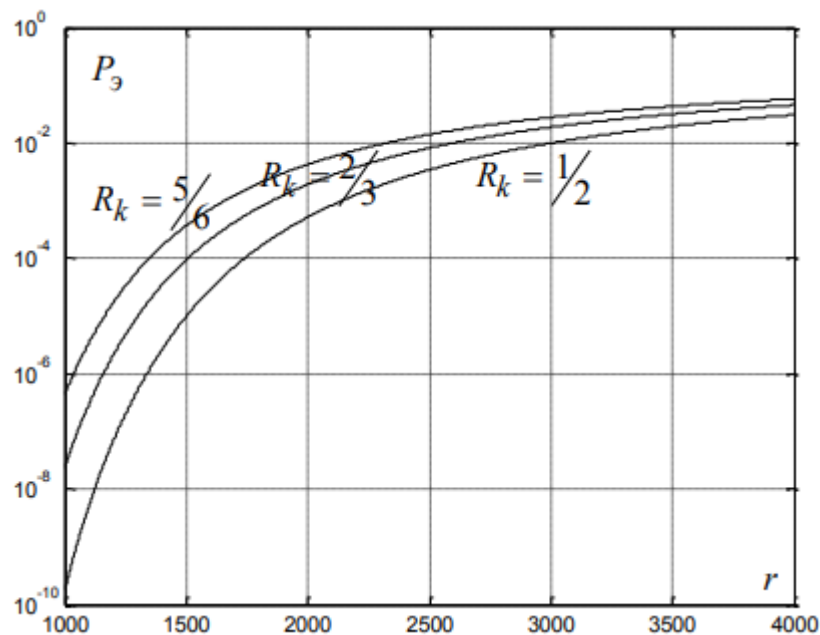


Рис.2.7. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції QAM- 16 при різних швидкостях кодування

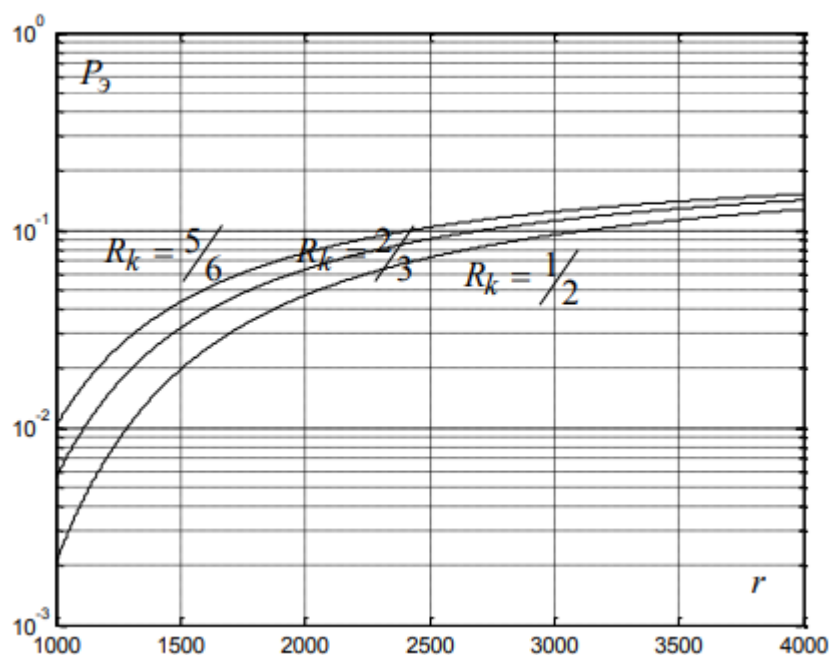


Рис.2.8. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції QAM-64 при різних швидкостях кодування

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією QAM-64 і потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт, представлені на рис. 2.8. Швидкості кодування обрані ті ж і відповідають

$R_k = 1/2$ - нижня крива на рис. 2.8, $R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.8 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією QAM-16, потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт і при наявності імпульсних перешкод представлені на рис. 2.9. Швидкості кодування обрані ті ж і відповідають $R_k = 1/2$ - нижня крива на рис.2.9,

$R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.9 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

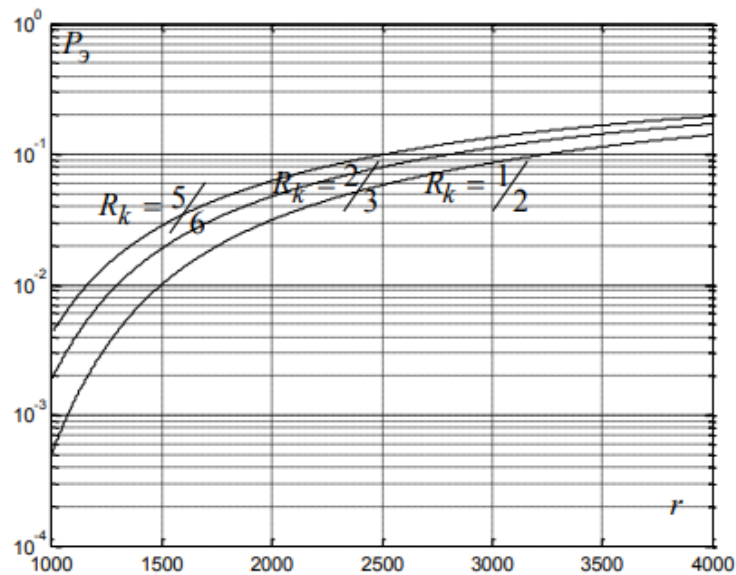


Рис.2.9. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції QAM-16 при різних швидкостях кодування при наявності перешкод

Криві ймовірності помилки на біт інформації, при використанні сигналів з маніпуляцією QAM-64, потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт і при наявності імпульсних перешкод представлені на рис. 2.10. Швидкості кодування обрані ті ж і відповідають $R_k = 1/2$ - нижня крива на рис.2.10,

$R_k = 2/3$ - середня крива на рис. 2.10 і $R_k = 5/6$ - верхня крива.

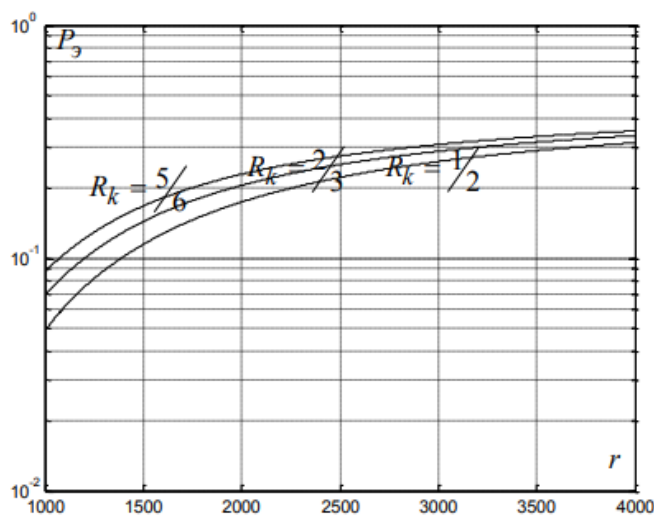


Рис.2.10. Залежність ймовірності помилки від відстані між передавачем і приймачем для модуляції QAM-64 при різних швидкостях кодування при наявності перешкод

Проведений аналіз показує, що, використовуючи оцінку дальності між БС і АС і потужності перешкод, можна адаптивно керувати ймовірністю помилки з метою оптимізації пропускної здатності мережі та ймовірності з'єднання.

Висновки

1. Мережева архітектура LTE зроблена для того, щоб забезпечити підтримку потоку пакетів даних через так звану "гладку" мобільність, мінімальними затримками доставки пакетів даних, високими швидкостями передачі інформації і показниками якості обслуговування. Однак, як показав досвід, через перешкоди в каналі ці показники насправді не завжди доступні.

2. Робота мереж LTE здійснюється з коефіцієнтом перевикористання частот 1, тобто всі базові станції працюють на одній несучій. Очевидно, що, якщо в сусідніх станціях виділяються користувачам одні й ті ж ресурсні блоки, то спектр несучої використовується найбільш ефективно. Але при цьому гостро постає проблема внутрішньосистемних перешкод особливо на кордонах станції. Проведено аналіз зниження пропускної спроможності базових станцій мережі LTE за рахунок соканальних перешкод. Аналіз показав, що втрати в пропускній здатності для користувача на краю станції можуть досягати до 70%.

3. Проведено аналіз впливу виду модуляції і швидкості кодування інформації на пропускну здатність. Побудовано криві ймовірності помилки на біт інформації від відстані між передавачем і приймачем при використанні видів модуляції BPSK, QPSK, QAM-16 і QAM-64 при різних швидкостях кодування і при наявності перешкод. Проведений аналіз показує, що, використовуючи відстань між базовою і абонентською станціями і потужності перешкод, можна адаптивно управляти параметрами ймовірності помилки з метою підвищення пропускної спроможності базових станцій мережі.

РОЗДІЛ 3

МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИМ ДОСТУПОМ В МЕРЕЖАХ LTE

Важливими проблемами в області підвищення пропускної здатності є проблеми розподілу ресурсів і управління доступом для підвищення ймовірності з'єднання [25,26]. Тож, актуальним є завдання розробки методу управління просторово-тимчасовим доступом, щоб отримати більш високу пропускну здатність при незбалансованому трафіку і знизити затримку пакетів.

3.1. Існуючі алгоритми управління розподілом ресурсів і доступом з'єднань

Проблема управління доступом з'єднань активно досліджувалася як для дротових, так і для бездротових систем. Для аналізу різних алгоритмів управління доступом з'єднань були запропоновані аналітичні моделі, засновані на ланцюгах Маркова [27]. Однак більшість з цих моделей працюють тільки з рівнем викликів / з'єднань (тобто з вірогідністю блокування нових викликів і відкидання транзитних викликів) для традиційних мереж передачі мови. У бездротових мережах з комутацією пакетів, орієнтованих на дані, до яких відносяться мережі LTE, в додавання до рівня з'єднань також необхідно розглядати функціонування на рівні пакетів, тобто всередині з'єднань.

Є ряд робіт, виконаних в області теоретичного дослідження продуктивності і пропускної здатності за допомогою СМО. Дві з них присвячені схемам контролю доступом з'єднань для багатоканальної і багатокористувацької мережі OFDMA. Перша схема заснована на пороговому значенні, в ній використовується концепція охоронного каналу для обмеження числа прийнятих з'єднань певним граничним значенням. Друга схема

заснована на інформації про стан черги і також використовує концепцію невеликого охоронного каналу, в цій схемі нове з'єднання приймається з деякою ймовірністю з'єднання.

Головна мета механізму управління доступом полягає в тому, щоб обмежити кількість наявних потоків з'єднань таким чином, щоб можна було гарантувати пропускну здатність для всіх вступників з'єднань. На рисунку 3.1 показані основні компоненти системи управління доступом. Коли оцінювач продуктивності використовується для отримання поточного стану системи, розподільник ресурсів використовує цей стан для перерозподілу наявних радіоресурсів (наприклад, часовий інтервал, код і потужність, і підканали для мереж TDMA, CDMA, і OFDMA, відповідно). Потім, рішення управління доступом змушує прийняти або відхилити вхідні повідомлення.

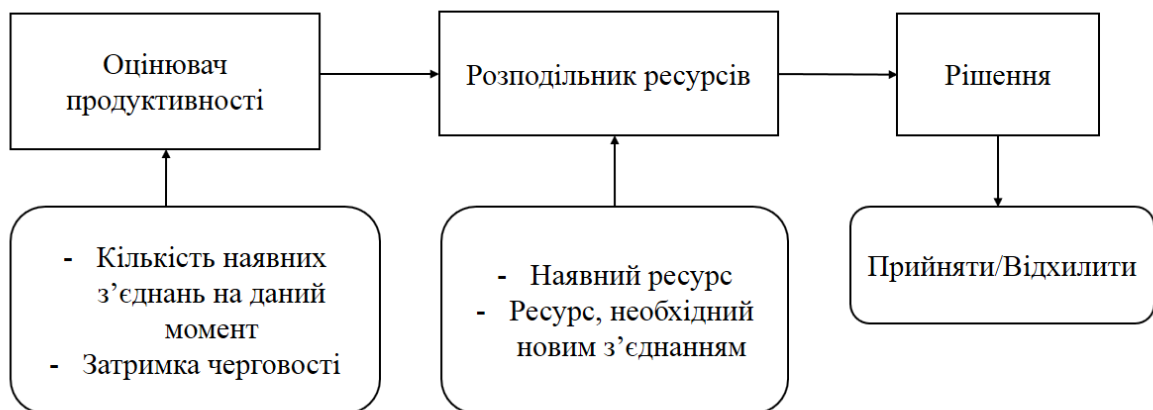


Рис. 3.1. Основні компоненти управління доступом

Використовуються два алгоритми управління доступом для абонентських станцій, для того щоб гарантувати характеристики якості обслуговування наявних з'єднань.

Алгоритм, заснований на пороговому значенні

У цьому випадку, порогове значення C використовується для обмеження кількості наявних з'єднань. Коли з'являється нове з'єднання, модуль управління доступом перевіряє, чи буде загальна кількість з'єднань, включаючи і ті, що входять, менше або дорівнювати граничному значенню C .

Якщо дорівнюватиме або менше, тоді приймається нове з'єднання, якщо не дорівнюватиме або менше, то нове з'єднання відхиляється.

Алгоритм, заснований на аналізі черг

Цей алгоритм працює на основі ймовірності прийому з'єднання p_x , яка визначається статусом черзі. Наприклад, коли надходить з'єднання, модуль управління доступом приймає з'єднання з ймовірністю p_x , де

$x(x \in \{0, 1, \dots, X\})$ - кількість пакетів в черзі в даний інтервал часу. Тут X позначає розмір черги даної абонентської станції. Слід зауважити, що величину параметра p_x можна вибрати на основі вимог, що пред'являються до продуктивності радіоканалу (наприклад, затримка пакета, ймовірність втрати пакета).

3.2. Алгоритм, заснований на нечіткій логіці

Застосування нечіткої логіки характерно для ситуацій, коли відсутня не тільки детерміністська інтерпретація розв'язуваної задачі, але і стохастичні можливі способи не вдається застосувати в силу відсутності даних про будь-які розподіли.

Формальний апарат нечіткої логіки включає в себе визначення: а) функції приналежності (ФП), б) лінгвістичної змінної (ЛП), в) логічних операторів MINIMUM, MAXIMUM, г) нечіткого правила «Якщо ... То ...» [28]. Нечітка множина A задається впорядкованою парою: $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$, де x - це породжуючий елемент, а $\mu_A(x)$ - це міра приналежності до множини A [28]. Функція приналежності $\mu_A(x)$ приймає значення на відрізку $[0,1]$,

$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, вона є опуклою, безперервною і нормованою на одиницю функції. У загальному випадку ФП може мати і симетричну, і асиметричну форму, оскільки умова опуклості зумовлює наявність лише одного «максимуму».

«Компактний» нечітко-логічний опис фізичних параметрів, імітує здатність людини позначати словами складові поняття, ґрунтується на понятті

ЛП [28]. Лінгвістичну змінну T (так звану терм-множину) задають на області визначення X як пари множин $T = \{T^1, T^2, \dots, T^K\}$ і $\mu(x) = \{\mu^1(x), \mu^2(x), \dots, \mu^K(x)\}$, де $k = 1, \dots, K$ і $T^k \rightarrow \mu^k(x)$, тобто кожен терм T^k для ЛП T має нечітке ім'я і характеризується своєю ФП $\mu^k(x)$. Принципово число термів ЛП НЕ обмежено, але на практиці воно рідко перевищує 5...6 [28], інакше можливе число нечітких правил «Якщо ... То ...» буде занадто великим. Таким чином, один і той же фізичний параметр може бути охарактеризований відразу цілим сімейством ФП. Вибір конкретного профіля ФП здійснюється на основі експертних знань і подальшого коректування в процесі налагодження системи.

Базові логічні операції в нечіткій логіці можуть бути визначені різними способами (в рамках концепцій Т-норм і Т-конорм), але найбільш часто з них використовуються оператори MIN і MAX. Для двох довільних множин «1» і «2», заданих на x , де $x \in X$, і описуваних двома ФП $\mu_1(x)$ і $\mu_2(x)$, ці оператори можуть бути задані так:

$$\begin{aligned} MIN\{\mu_1(x), \mu_2(x)\} &= \mu_1(x) \wedge \mu_2(x) = MINIMUM\{\mu_1(x), \mu_2(x)\}, \\ MAX\{\mu_1(x), \mu_2(x)\} &= \mu_1(x) \vee \mu_2(x) = MAXIMUM\{\mu_1(x), \mu_2(x)\}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де $\vee$ - диз'юнкція, $\wedge$ - кон'юнкція.

Для практичної реалізації такого обмежувача слід перебрати всі можливі значення x і для кожної пари значень $\mu_1(x)$ і $\mu_2(x)$ вибрати, відповідно, найменше або найбільше значення сигналів з числа, що подаються на входи. У загальному випадку для виконання операцій MIN і MAX слід проводити аналогові операції з безперервними ФП, але на практиці зазвичай застосовують дискретні операції, виконуючи їх для досить великого числа градацій по x і μ [28]. За допомогою символів логічних операцій $\wedge$ і $\vee$, а також символів $\mu(x)$ різних ФП можуть бути записані логічні терми і проведені логічні обчислення подібно до того, як це робиться для традиційних довічних обчислень з булевими операторами і символами довічних змінних.

Серед найбільш відомих нечітко-логічних формалізмів, що вимагають обчислень логічних термів, є правило нечіткого логічного виведення [26], зване також нечітким правилом «Якщо ... То ...». В питаннях, що розглядаються далі для наочності зручніше використовувати спрощену форму запису множини нечітких правил «Якщо ... То ...», що записується у вигляді набору P виразів (індекс p вказує номер правила, $p = 1, \dots, P$):

$$\begin{aligned} &\text{Якщо } x_1 \in \mu_{ap1}, x_2 \in \mu_{ap2}, \dots, x_I \in \mu_{apI}, \\ &\text{То } y_1 \in \mu_{bp1}, \dots, y_J \in \mu_{bpJ}, \text{ інакше...} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Вираз (3.2) записано для I вхідних лінгвістичних змінних $x_1, \dots, x_I$ і J вихідних лінгвістичних змінних $y_1, \dots, y_J$. Частина «Якщо ...» називається передумовою, частина «То ...» - наслідком, μ_{api} і μ_{bpj} – мітки (компактне позначення) зразкових ФП причини і наслідки $\mu_{ap1}(x_1), \dots, \mu_{apI}(x_I)$ і $\mu_{bp1}(y_1), \dots, \mu_{bpJ}(y_J)$. Формалізм (3.2) задає причинно-наслідкові зв'язки причини і наслідки і, в разі спостереження наближеного значення передумови, дозволяє зробити наближений висновок про значення сліdstва.

В роботі [28] показано, що для проектування протоколу управління ресурсами перспективно використання так званих “м'яких” обчислювальних методик, наприклад, заснованих на нечіткій логіці або генетичних алгоритмах. Це дозволяє задовольнити вимогам QoS для користувачів і в той же час максимально використовувати ресурси системи.

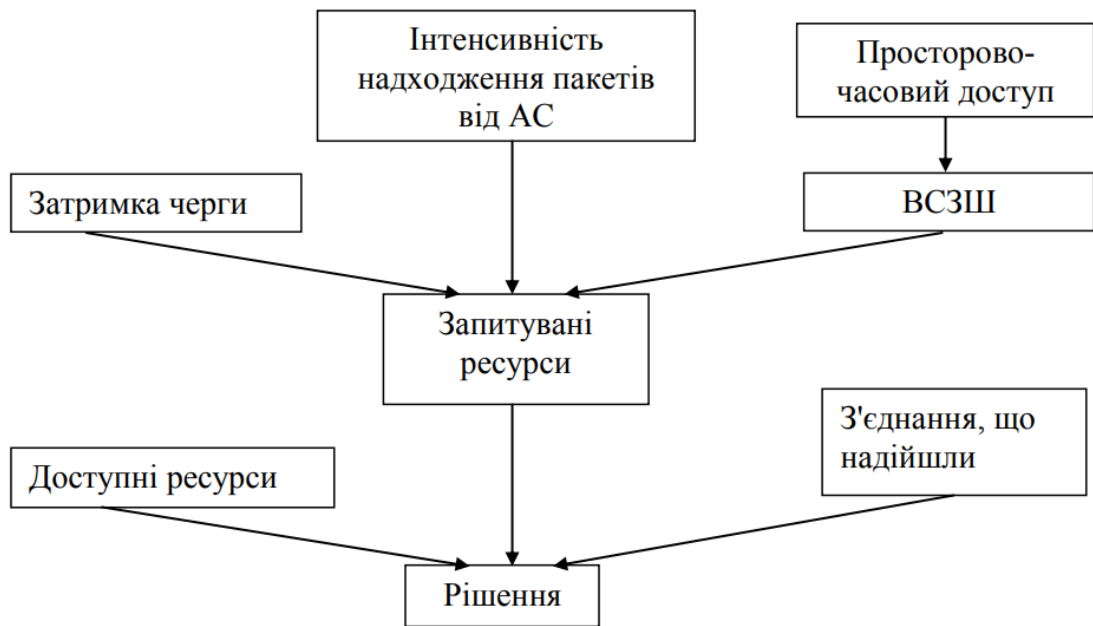


Рис. 3.2. Схема нечіткого управління доступом

Загальна структура системи управління просторово-часовим доступом в мережах LTE на основі математичного апарату нечіткої логіки представлена на рисунку 3.2. Процес функціонування нечіткої системи управління доступом виглядає наступним чином [27]. При встановленні нового з'єднання відповідний мобільний вузол повідомляє на базову станцію приблизні параметри джерела трафіку (тобто інтенсивність надходження пакетів від АС) і затримку черги. Потім БС надає просторово-часовий доступ (ПЧД) і вимірює середнє відношення сигнал / перешкода + шум (ВСПШ) нового з'єднання і переводить його в значення лінгвістичних змінних. Ці точні значення вхідних змінних перетворюються на значення лінгвістичних змінних за допомогою певних ФП. Запитувані ресурси використовують цю інформацію, щоб отримати число підканалів, які будуть призначені. Число підканалів обмежено величинами C_{min} і C_{max} , щоб гарантувати те, що при сполученні буде не дуже велика і не надто мала кількість ресурсів передачі.

Число розподілених підканалів, доступні ресурси і число запитів, що надійшли на з'єднання фаззифіцировані в осередку наступним чином:

$$C_A = (L - (n_1 * b_1 + n_2 * b_2 + n_3 * b_3 + n_4 * b_4)) / L, \quad (3.3)$$

де C_A - доступні ресурси в процентах до загальної кількості ресурсів; L - загальне число ресурсів; n_x - число активних сполук для класу x ; b_x - число ресурсів, необхідних для класу x .

На цьому етапі здійснюється перехід від нечітких значень величин (тобто запитуваних ресурсів, C_A і числа з'єднань, що надійшли) до ймовірності з'єднання. На основі цієї ймовірності БС приймає або відкидає нове з'єднання.

З даної системи випливає, що підвищити ймовірність з'єднання можна за допомогою збільшення ВСПШ, а саме при організації просторово-тимчасового доступу.

3.3. Організація просторово-часового доступу

Рішення проблеми забезпечення QoS LTE вимагає залучення додаткових ресурсів. Одним з найбільш перспективних ресурсів є використання просторового ресурсу [29,30].

Організація зв'язку з просторово-часовим доступом (ПЧД) може бути здійснена в три етапи .

Першим етапом ПЧД є організація заявки на зв'язок абонентської станції. Другим етапом ПЧД є визначення напрямку приходу сигналу абонента. Третім етапом ПЧД є надання зв'язку абоненту по вузькому променю, що формується відповідно до заявки багатопроменевої антени.

1-й етап. Організація заявки на зв'язок абонентської станції

Заявку на зв'язок ретранслятор приймає по широкому променю. Забезпечення високої надійності прийому заявки може бути досягнуто за допомогою ширококутового перешкодостійкого сигналу (ШПС). Слід зауважити, що необхідний ефект досягається за рахунок ширококутових не тільки в частотно-часовій, а й просторовій областях. Суть одержуваного енергетичного виграшу і виграшу в завадостійкості за рахунок ШПС в частотно-часовій і просторово-часовій областях можна пояснити, використовуючи метод зниження розмірності простору представлення сигналів.

Відомо, що перехід від одновимірних уявлень сигналів $S(t)$ до двовимірних або більш вимірних дозволяє залучати додаткові фізичні параметри і властивості, що розширюють можливості по їх модуляції, обробці, підвищенню завадостійкості і ін. Для n -вимірних сигналів можуть бути вказані такі важливі властивості як поляризація і ступінь цієї поляризації, когерентність і ступінь когерентності. Для сигналів, що розширюють уявлення в частотно-часовій області можливе отримання бази сигналу

$B = \Delta F \cdot \tau \gg 1$, де ΔF - смуга займаних частот, τ - тривалість інформаційного імпульсу.

Обробка випадкових сигналів в загальному випадку зводиться до отримання відображення цього сигналу $\vec{S}(t)$ з множини його відображення $\{S\}$ у множину рішень $\{R\}$, що складається, як правило, з детермінованих значень:

$$S \xrightarrow{f} R. \quad (3.4)$$

Алгоритми реалізації оператора (3.4) різні. Вони залежать від цілей і критеріїв рішення задач прийому, а також тих можливостей і обмежень, в рамках яких доводиться вирішувати цю задачу.

Розмірності ($\dim$) множин $\{S\}$ і $\{R\}$ можуть збігатися або бути різними. З теорії множин відомо, що відображення (3.4) при

$$\dim\{S\} > \dim\{R\} \quad (3.5)$$

є виродженим і в загальному випадку пов'язане з втратою інформації. Однак на практиці відображення типу (3.5) часто доводиться використовувати при прийомі та обробці сигналів зв'язку. Так, при звичайному виконанні умов на прийомі $\dim\{R\} = 1$ використання просторового чи іншого методу рознесення на N - гілок, коли $\vec{S}(t) = (S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t))^T$, як раз і є виродженим відображенням значень простору випадкових сигналів розмірності N в одновимірний простір рішень $\{R\}$ на виході суматора або демодулятора.

Такого ж роду відображення (3.5) має місце при просторово-часовій обробці сигналів (ПЧОС) з використанням адаптивних антенних решіток (ААР) і адаптивних компенсаторів перешкод (АКП). При цьому, якщо на виході кожного з антенних елементів ААР маємо щільність розподілу $w(\vec{S}(t)/\vec{\xi}(t), t)$, то на виході загального суматора домагаються того, щоб ця щільність перетворилася до виду $w(\vec{S}(t)/\vec{\xi}(t), t) = w(\vec{S}(t), t)$, що є ознакою достатності статистики і дозволяє далі використовувати стандартні методи прийняття оптимальних рішень.

При використанні N -позиційної псевдовипадкової послідовності (ПСП) і при збігу цієї ПСП з опорною еквівалентне співвідношення сигнал / шум на виході загального суматора збільшується в пару раз, чим і досягається підвищення завадостійкості прийому в стільки ж разів.

Вибираючи відображення (3.5) і отримуючи статистику ми тим самим добиваємося виконання достатності цієї статистики. Так, при наявності параметра, що заважає θ умова отримання достатньої статистики t , незалежної від θ , визначається виразом:

$$M\{c(v)\} = \int c(v)h(x/t)g(t/\theta)dx = M\{M(c(v)/t)\}, \quad (3.6)$$

де математичне сподівання $M\{\cdot\}$ береться з розподілу статистики t . Таким чином, функція від t $M(c(v)/t)$ не залежить від θ , оскільки t -достатня статистика.

2-й етап. Визначення напрямку приходу сигналу абонента

Відомі методи оцінки просторового спектра засновані на виділенні і оцінці компонент адитивної суміші сигналів, що приходять з різних напрямків.

Для детермінованих сигналів оцінка вектора значень $\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)^T$ проводиться за допомогою розкладання Фур'є:

$$y_m(\omega_l) = \frac{1}{\sqrt{T}} \int_{-T/2}^{T/2} y_m(t) e^{-j\omega_l t} dt, \quad (3.7)$$

де $w_l = \frac{2\pi}{T} (l_1 + l)$ - значення просторової частоти, що визначається за вибіркою на інтервалі T , з урахуванням еквідистантного розташування $l = 1, 2, \dots, L$ щодо 1-го антенного елемента.

Для випадкових сигналів частіше використовують алгоритми Music, Esprit і інші процедури, засновані на отриманні власних значень матриці просторової кореляції R_{xx} . Процедура, заснована на виділенні власних значень, є досить громіздкою, оскільки вимагає великого обсягу вибірки, частіше розходиться (або слабо обумовленої). Крім того, виникають помилкові відмітки, що є результатом параметрів, що заважають. До параметрів, що заважають можна віднести сигнали інших станцій, прийом по бічним пелюсткам, а також власні шуми. Тому дані методи не завжди дозволяють зробити впевнену оцінку елементів просторового спектра. Більш того, для мережі LTE дані завдання необхідно вирішувати в реальному масштабі часу при наявності динамічної сигнально-перешкодної обстановки (СПО).

В роботі [30] розроблена і проаналізована рекурсивна процедура оцінки просторового спектра. Сама ж оцінка проводиться з використанням ААР з так званим формуванням просторових вікон. Таким чином, переходячи від одного просторового вікна до іншого, ми на кожному переході формуємо нулі діаграми спрямованості, орієнтовані на інші напрямки приходу сигналів.

Процедура складається з трьох основних рекурсивних складових:

- 1) виділення просторового вікна;
- 2) придушення сигналів, що приходять з усіх невиділених напрямків;
- 3) рекурсивне визначення позначки відповідності амплітуди і просторової фази в виділеному вікні.

Обмеження на ширину вікна визначається виходячи з числа і спрямованості антенних елементів.

У першій фазі циклу формується просторове вікно за допомогою керуючого вектора :

$$\vec{V}(\theta) = [\exp(\sin(\theta/180) \cdot \pi), \exp(j \sin(\theta/180) \cdot \pi), \dots, \exp(j(n-1) \cdot (\sin(\theta/180) \cdot \pi)), \dots, \exp(j(N-1) \cdot (\sin(\theta/180) \cdot \pi))] \quad (3.8)$$

де n - номер антенного елемента, $n = \overline{0, N-1}$, N - кількість антенних елементів, θ - кут (напрямок просторового вікна).

На другій фазі циклу включається процедура придушення сигналів, що приходять по бічних пелюстках. Дана процедура може бути реалізована з використанням алгоритму Уїдроу, Калмана-Бьюсі, Апфельбаума або інших відомих алгоритмів управління вектором вагових коефіцієнтів адаптивної антенної решітки. Так модифікація алгоритму Апфельбаума для придушення сигналів поза виділеного вікна має наступний вигляд:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - 2\mu(k)[\vec{X}(k)\vec{W}^T(k)\vec{X}(k) - \vec{V}(\theta)] \quad (3.9)$$

де $\mu(k)$ - кроковий коефіцієнт.

Далі виконується рекурсивна процедура визначення позначки відповідності амплітуди і просторової фази в виділеному вікні:

$$P(k+1, \theta) = P(k, \theta) + \vec{W}(\theta)^T \vec{X}(k) \cdot \vec{X}(k)^T \vec{W}(\theta) \quad (3.10)$$

До початку третьої фази перехідні процеси другої фази повинні бути завершені. При цьому залишається відмітка про сигнал, який потрапляє в захисне вікно.

Перевагою такого алгоритму є те, що він є досить універсальним як для вирішення завдань прийому сигналів в умовах багатопроменевості, де забезпечується відстеження максимуму цього спектру, так і для вирішення завдань придушення небажаних сигналів (перешкод). В останньому випадку вдається здійснювати придушення різних нестационарних (типу імпульсних) перешкод, оскільки дається оцінка їх напрямку приходу $\{\hat{\theta}\}$.

3-й етап. Надання зв'язку абоненту по вузькому променю, що формується відповідно до заявки багатопроменевої антени

В якості алгоритмів формування пучка вузьких променів можуть бути використані програмні методи і алгоритми адаптивних антенних решіток, синтезовані для нестационарної СПО.

При нестационарній СПО відбуваються просторово-часові зміни параметрів сигналу і перешкоди. Ці зміни можуть відбуватися через впливи середовища поширення радіохвиль, переміщення приймача або передавача перешкоди і інших причин. Для такої СПО рівняння стану ВВК для m -го абонента буде мати загальний вигляд :

$$\vec{W}_m(k+1) = F(k)\vec{W}_m(k) + G(k)\vec{u}(k), \quad (3.11)$$

де $F(k)$ і $G(k)$ є відповідно: матрицями стану і інтенсивностей змін параметрів сигналів і перешкод; f_{ij} - елементи $i, j = \dim \vec{W}_m(k)$, є величинами, зворотні коефіцієнтам взаємної кореляції між i та j компонентами; $\vec{u}(t)$ - породжує білий гаусів шум, з спектральної щільністю потужності N_u .

Для нестационарної СПО розроблені процедури, що визначають стан ВВК в динаміці:

$$\vec{W}_m(k+1) = F(k)\vec{W}_m(k) + P(k)R_{xx}(k)N_v^{-1} \left[R_{xx}(k)\vec{W}_m(k) - d(k)_э \right], \quad (3.12)$$

де $d(k)_э$ - еталонне значення корисного сигналу (опорний сигнал); $R_{xx}(k)$ - матриця просторової кореляції вхідних сигналів $R_{xx}(k) = \vec{X}(k) \cdot \vec{X}(k)^T$; $P_m(k)$ - матриця значень апостеріорної дисперсії оцінки $\vec{W}_m(k)$ m -го абонента, визначається з рівняння:

$$P_m(k+1) = F(k)P_m(k) + P(k)F^T(k)P_m(k)R_{xx}(k)N_v^{-1}R_{xx}(k)P_m(k) + G^T(k)N_u G(k). \quad (3.13)$$

При цьому сигнал від m -го абонента на виході ААР визначається виразом:

$$y_m(k) = \vec{X}^T(k)\vec{W}_{opt_m} + n(k), \quad (3.14)$$

де n - шуми в каналах прийому.

Структурна схема організації ПЧД з N -елементною ААР для забезпечення зв'язку з m абонентами представлена на рисунку 3.3. Відповідно до даної схеми в пристрої управління ВВК генерується опорний сигнал $d(k)$ відповідно до апіорної інформації про напрямок приходу сигналу від абонента і формується ВВК згідно з процедурою (3.12). Далі зважений сигнал надходить на суматор, де реалізується процедура (3.14), і приймач. Таким чином, для кожного абонента формується свій вузький промінь діаграми спрямованості.

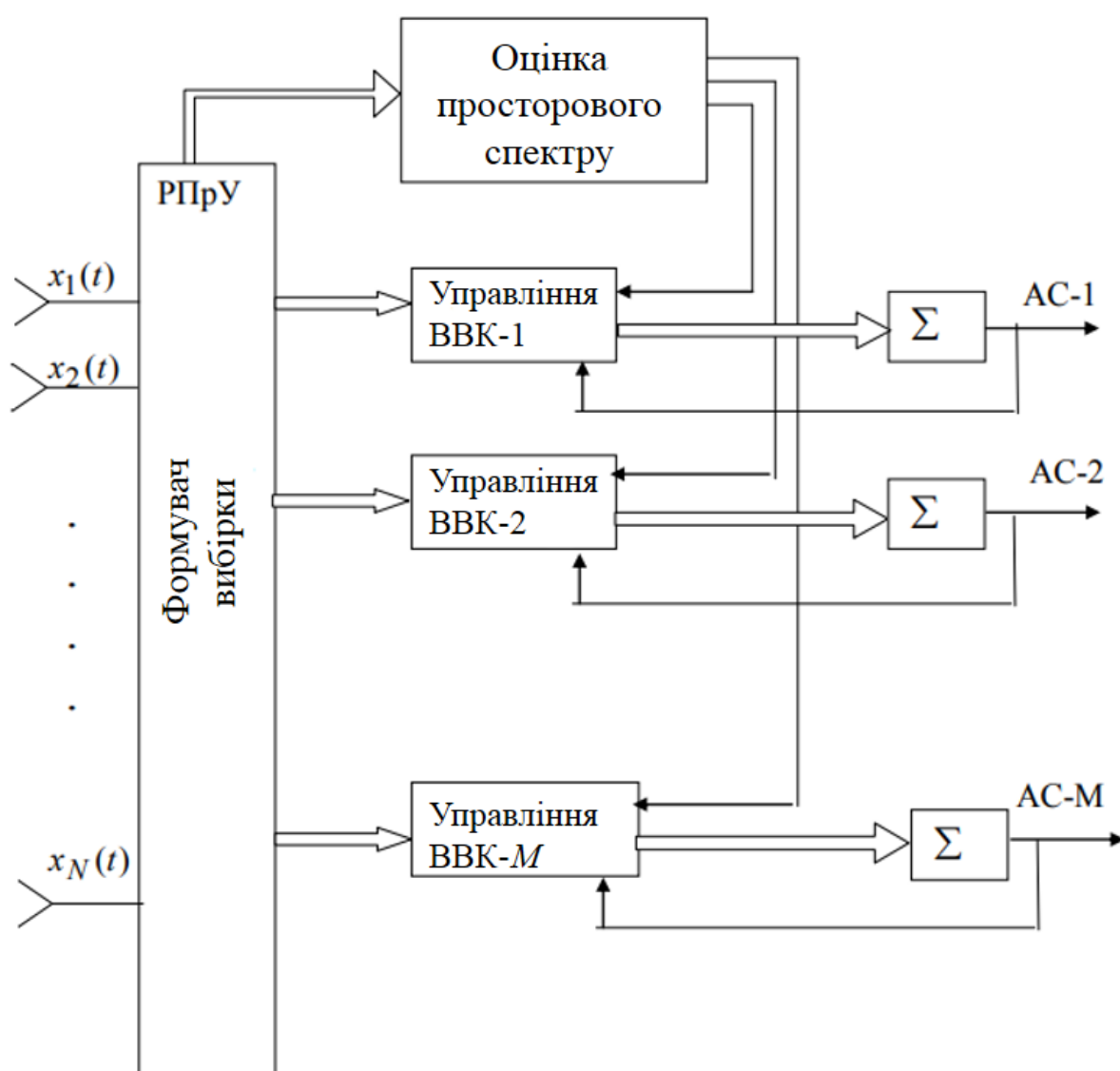


Рис. 3.3. Структурна схема організації ПЧД

На рисунку 3.4 представлені графіки залежності ВСПШ на виході ААР від ВСПШ на вході ААР при кількості антенних елементів $N = 2$ (нижня крива), $N = 4$ (середня крива) і $N = 8$ (верхня крива). З даних графіків видно, що застосування просторово-часового доступу дозволяє підвищити ВСПШ на 20 - 30 і більше дБ.

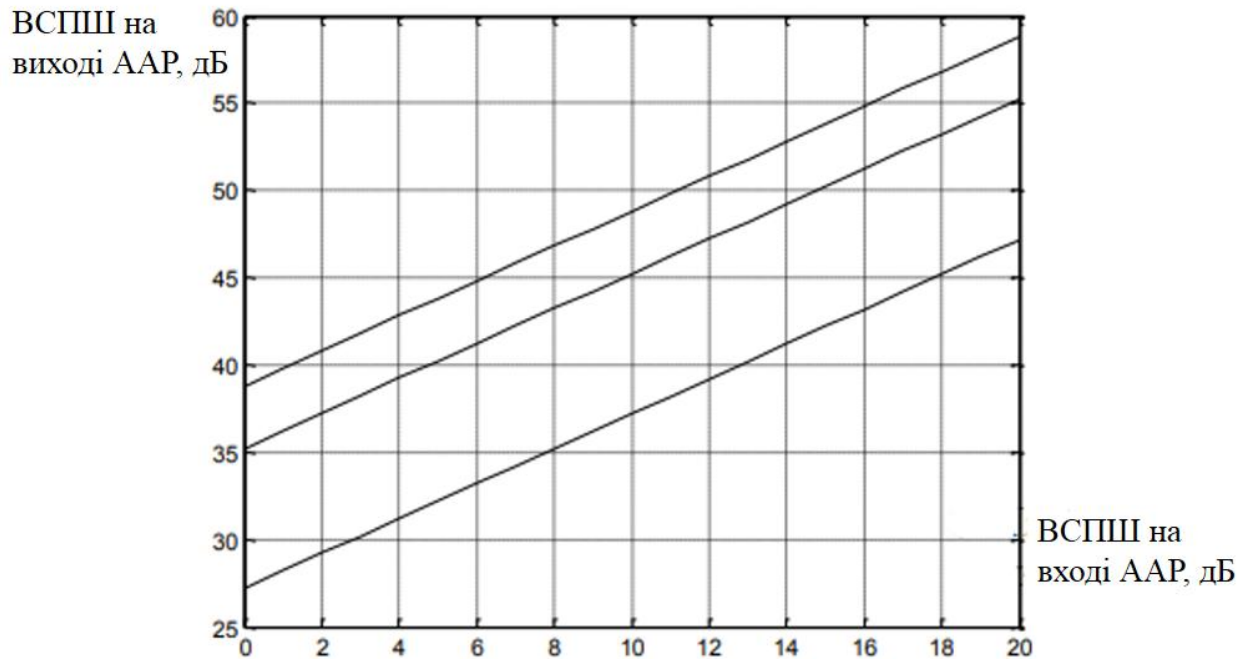


Рис. 3.4. Графіки залежності ВСПШ на виході ААР від ВСПШ на вході ААР

3.4. Імітаційна модель просторово-часового доступу, заснована на нечіткій логіці

У середовищі Matlab модуль Fuzzy Logic дозволяє будувати нечіткі системи двох типів - Мамдані та Сугено. Основна відмінність між цими системами полягає в різних способах задання значень вихідних змінних в правилах, що утворюють базу знань. У цьому завданні використовуємо алгоритм виведення Мамдані.

На рисунку 3.5 представлена система нечіткого виведення для формування запитуваних ресурсів.

Для завдання ФП необхідно встановлювати діапазон зміни і відображення для змінних входів. Для входу інтенсивності задаються три ФП

гауссова типу, кожна з яких характеризує вхід, відповідно, як «низька», «середня» і «висока» (рисунок 3.6) в діапазоні від 100 до 400 .

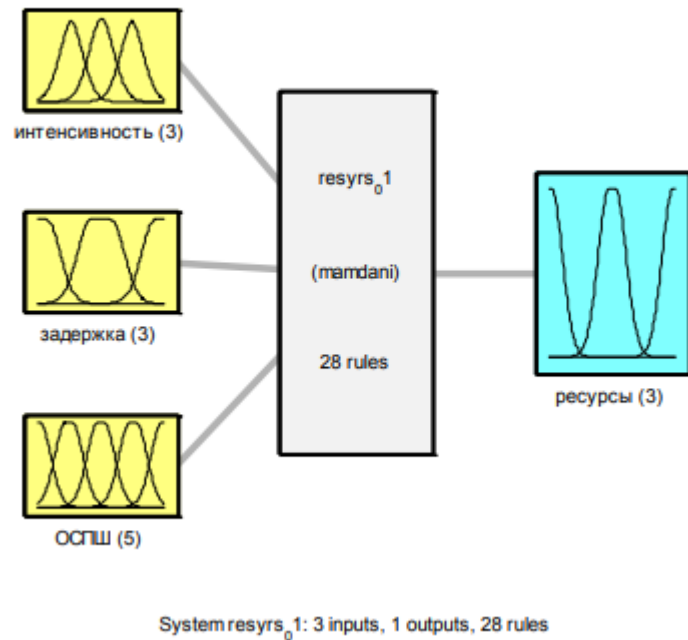


Рис. 3.5. Система нечіткого виводу для формування запитуваних ресурсів

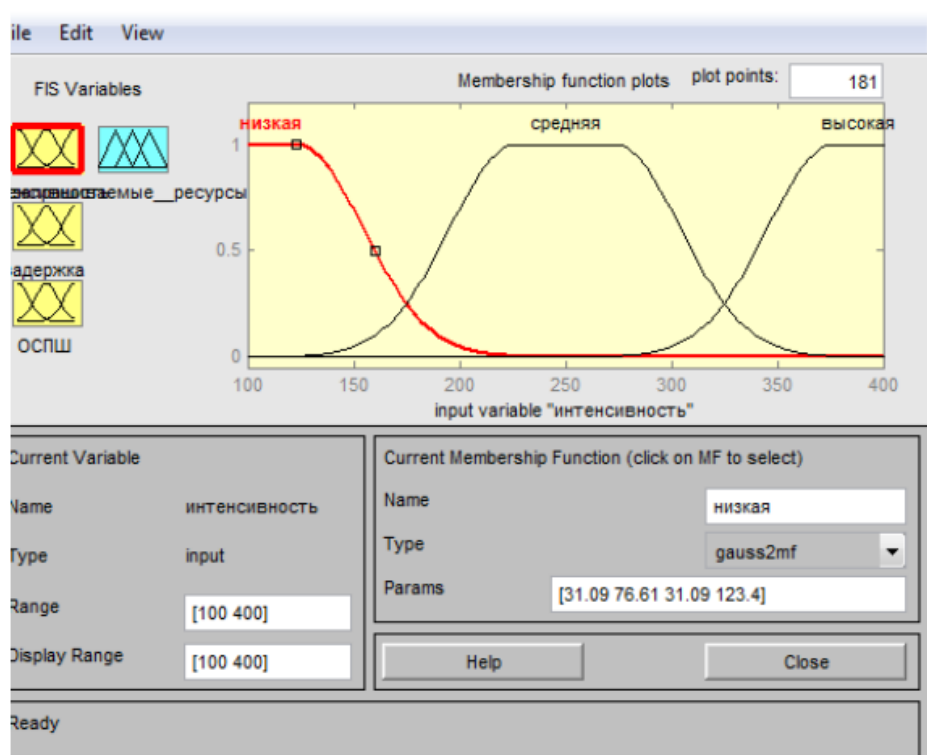


Рис. 3.6. ФП для вхідної змінної «інтенсивність»

Для входу затримки задаються три ФП гауссовського типу, кожна з яких характеризує вхід, відповідно, як «низька», «середня» і «висока» (рисунок 3.7) в діапазоні від 0 до 55.

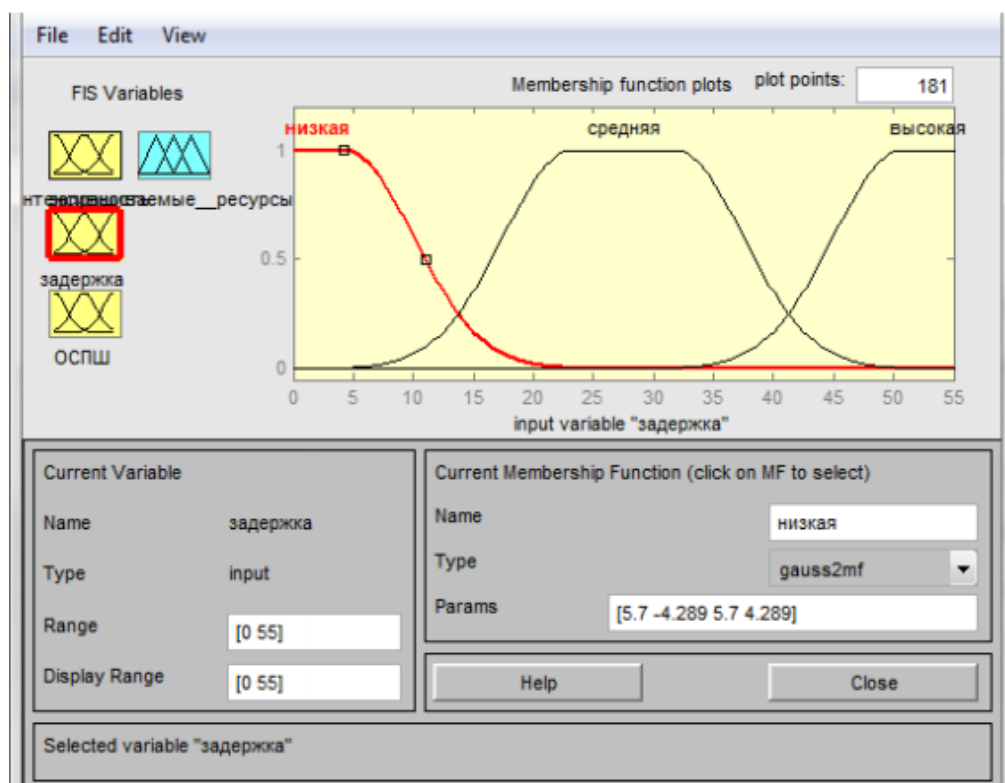


Рис. 3.7. ФП для вхідної змінної «затримка»

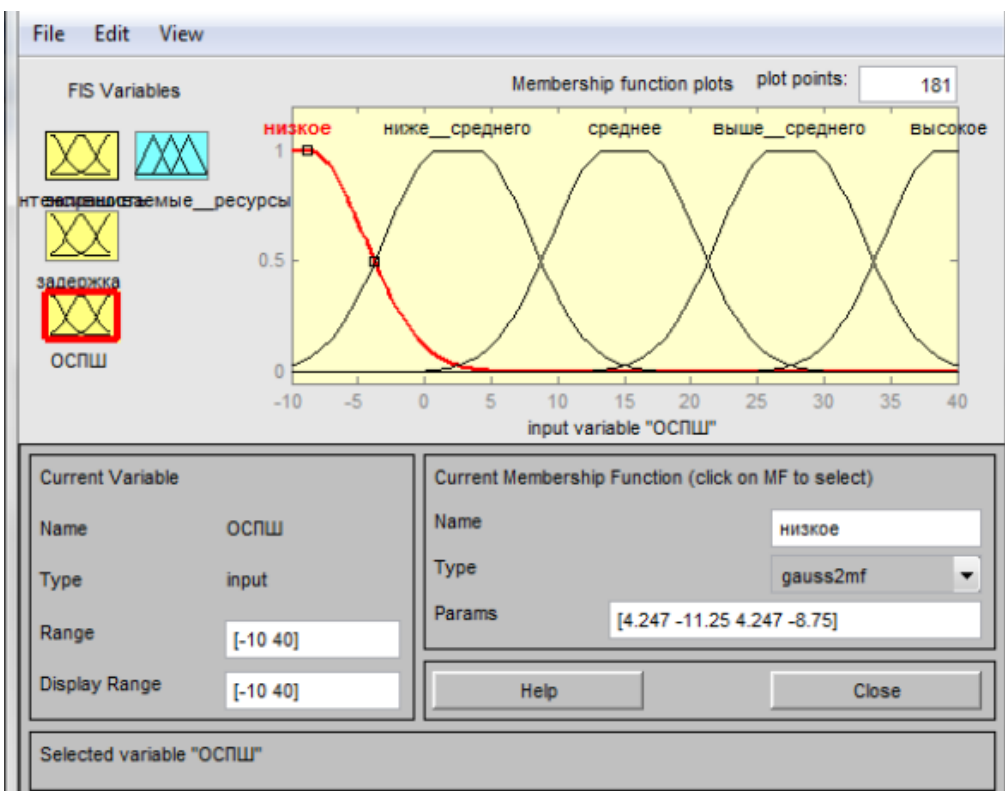


Рис. 3.8. ФП для вхідної змінної «ВСПШ»

Для входу ВСПШ задаються п'ять ФП гауссовського типу, кожна з яких характеризує вхід, відповідно, як «низький», «нижче середнього», «середній», «вище середнього» і «високе» (рисунок 3.8) в діапазоні від -10 до 40 дБ. З застосуванням просторово-часового доступу ВСПШ приймає значення від 10 до 40 дБ. Без застосування ПЧД - від -10 до 20 дБ.

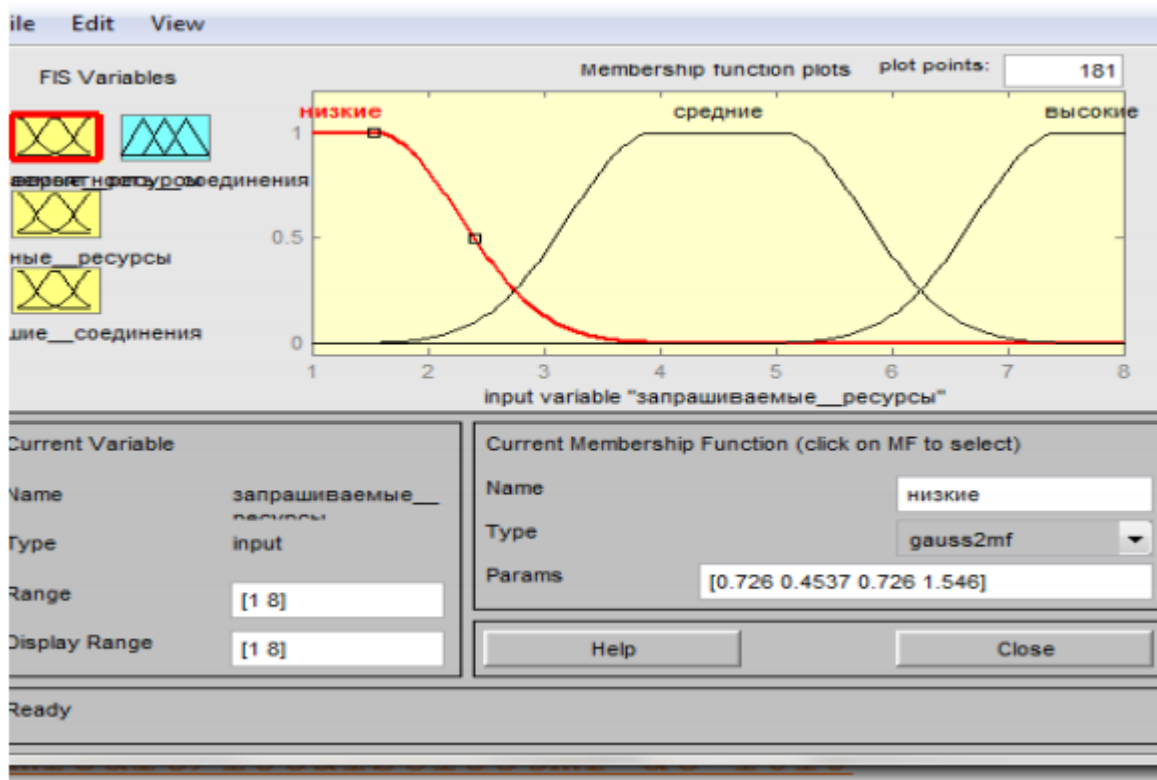
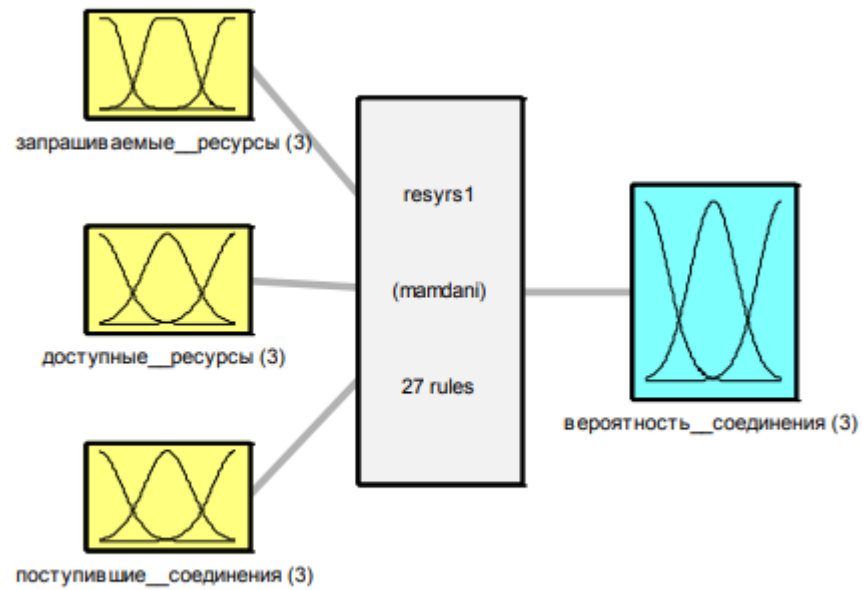


Рис. 3.9. ФП для вихідної змінної «запитувані ресурси»

Вихідною змінною є запитувані ресурси. Для виходу задаються три ФП гауссовського типу, кожна з яких характеризує вихід, відповідно, як «низькі», «середні» і «високі» (рисунок 3.9) в діапазоні від 1 до 8 подканалів.

Наступним кроком у формуванні завдання є складання правил типу «Якщо ... То ...». Наприклад, якщо інтенсивність надходження пакетів від АС - низька і затримка черзі - низька і середнє ВСПШ - погане, то запитувані ресурси - середні. Всього створено 28 правил нечіткого виводу.



System resys1: 3 inputs, 1 outputs, 27 rules

Рис. 3.10. Система нечіткого виводу для прийняття рішення на надання доступу

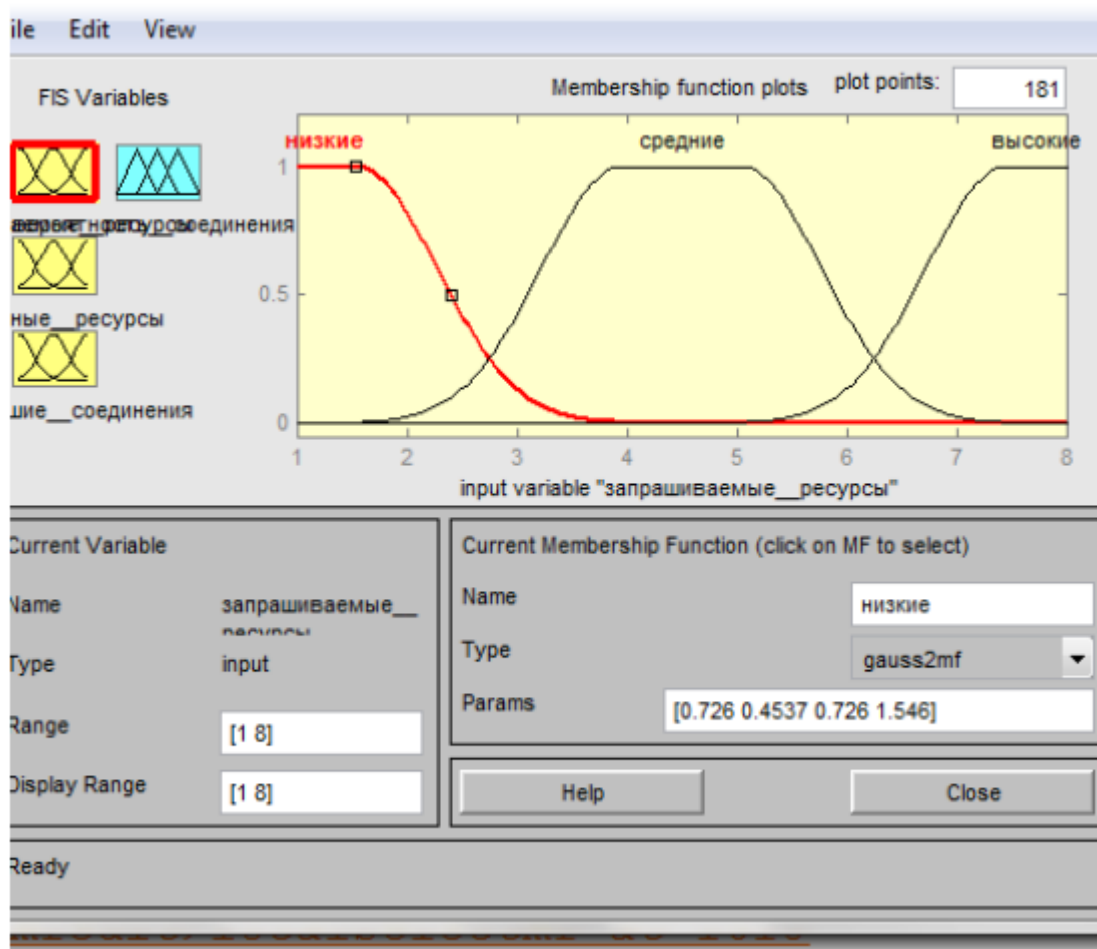


Рис. 3.11. ФП вхідної змінної «запитувані ресурси»

Далі була створена система нечіткого логічного висновку для прийняття рішення про надання доступу (рисунок 3.10). Вхідними змінними в даному випадку є «запитувані ресурси», «доступні ресурси» і «з'єднання, що надійшли». Вихідною змінною є «ймовірність з'єднання». Система нечіткого виводу на надання з'єднання має 27 правил нечіткого логічного висновку.

На рисунку 3.11 показані ФП вхідної змінної «запитувані ресурси», які мають діапазон зміни від 1 до 8 подканалів. Вхідна змінна має три функції приналежності гауссовського типу, які інтерпретуються як «низькі», «середні» і «високі».

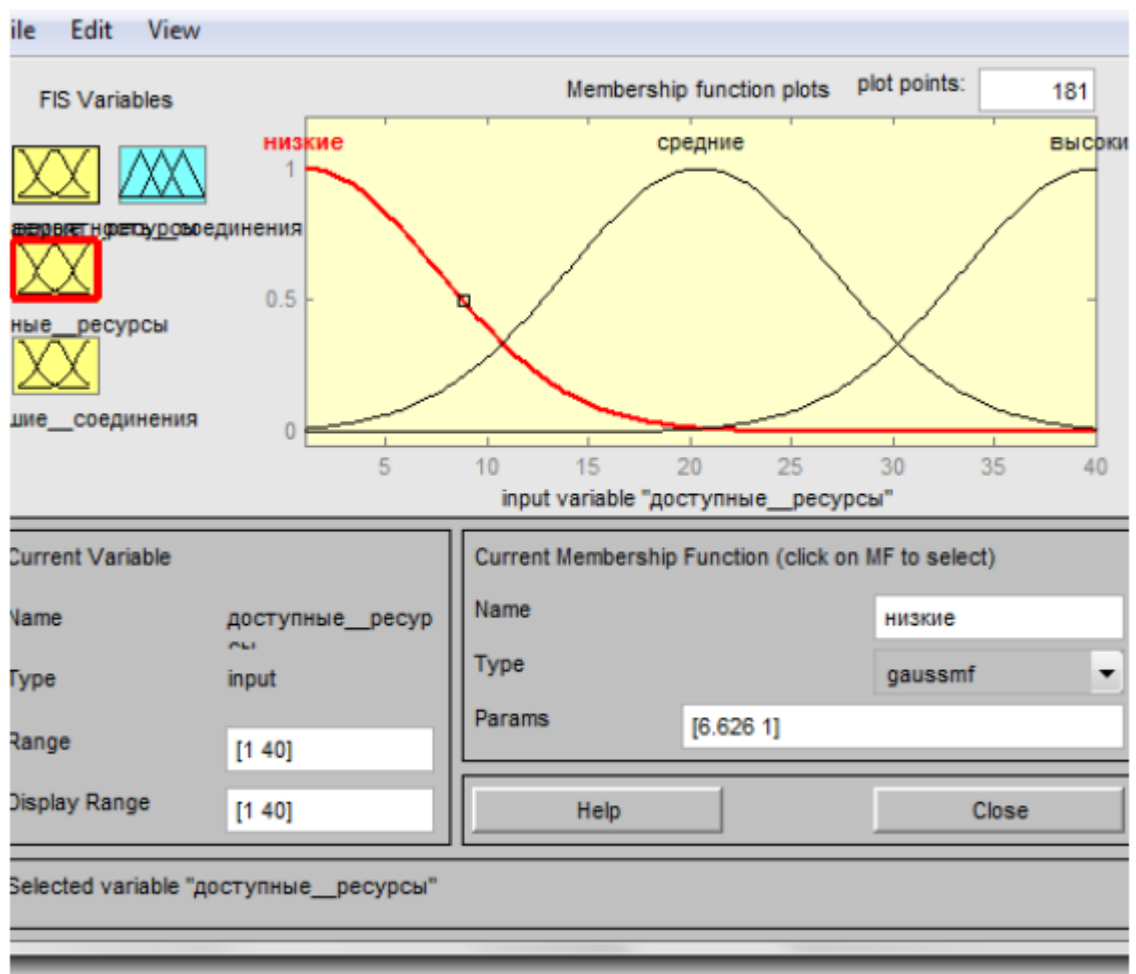


Рис. 3.12. ФП вхідної змінної «доступні ресурси»

На рисунку 3.12. показані ФП вхідної змінної «доступні ресурси», які мають діапазон зміни від 1 до 40 подканалів. Вхідна змінна має три функції приналежності гауссовського типу, які інтерпретуються як «низькі», «середні» і «високі».

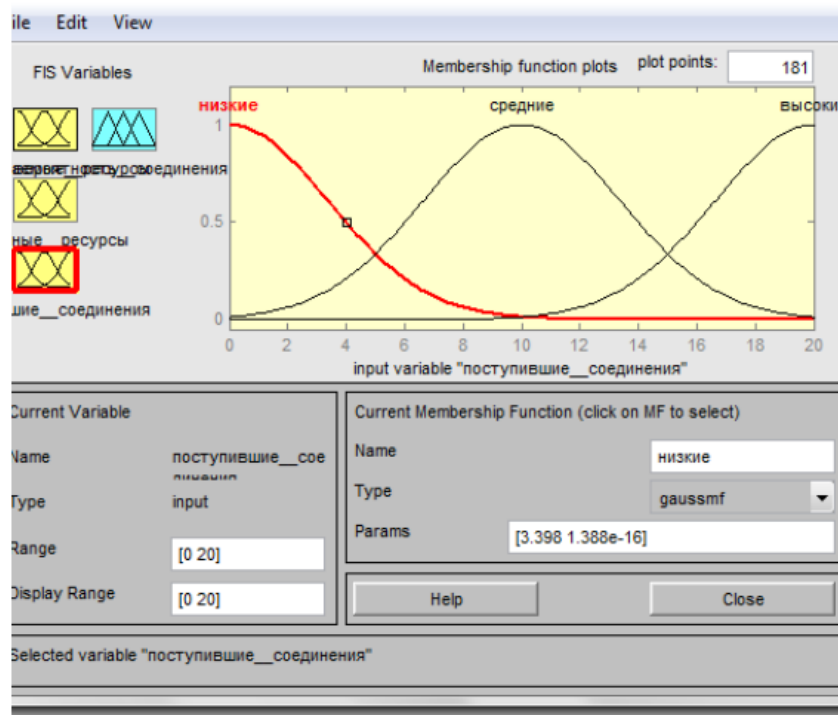


Рис. 3.13. ФП входной змінної «з'єднання, що надійшли»

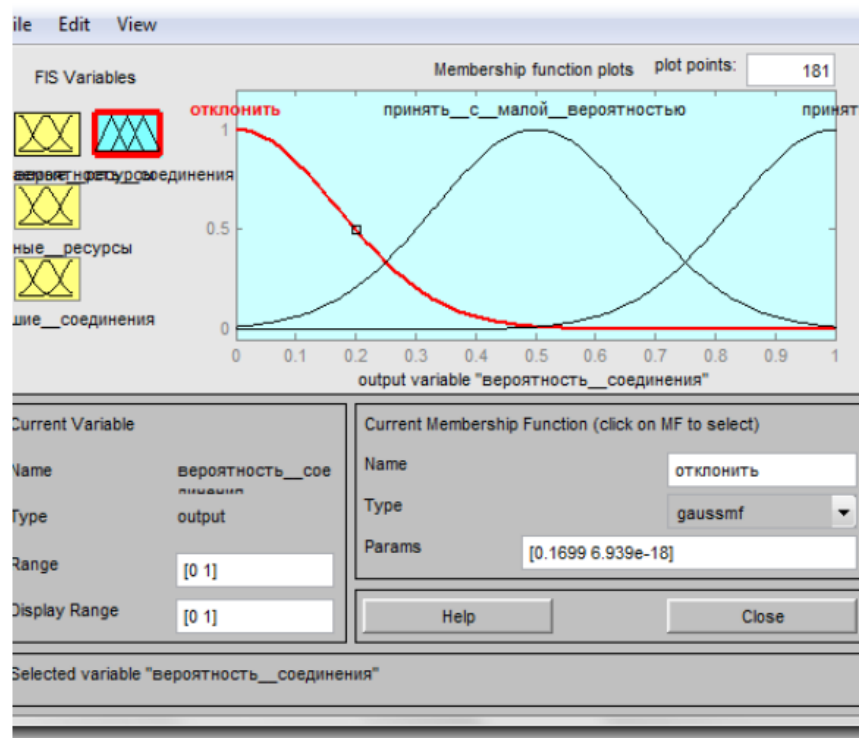


Рис. 3.14. ФП вихідної змінної «ймовірність з'єднання»

На рисунку 3.13 показані ФП входної змінної «з'єднання, що надійшли», які мають діапазон зміни від 0 до 20 подканалів. Вхідна змінна має три функції

приналежності гауссовського типу, які інтерпретуються як «низькі» , «середні» і «високі».

На рисунку 3.14 показані ФП вихідної змінної «ймовірність з'єднання», які мають діапазон зміни від 0 до 1. Вихідна змінна має три функції приналежності гауссовського типу, які інтерпретуються як «відхилити», «прийняти з малою вірогідністю» і «прийняти».

3.5. Аналіз ефективності просторово-часового доступу, заснованого на нечіткій логіці

За допомогою розробленої імітаційної моделі проведено аналіз ефективності просторово-часового доступу, заснованого на нечіткій логіці.

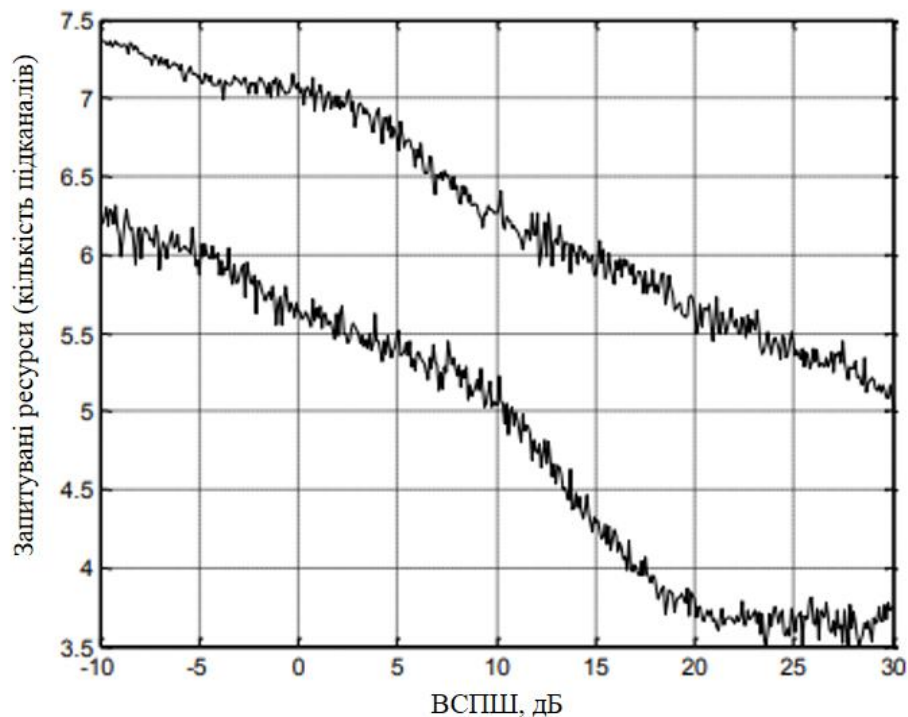


Рис.3.15. Графіки залежності запитуваних ресурсів від ВСПШ

Перший експеримент полягав у тому, що на вхід системи нечіткого виведення для формування запитуваних ресурсів подавалося значення ВСПШ, яке змінювалося в межах від - 10 до 30 дБ. Інтенсивності надходження пакетів генерувалися випадковим чином від 100 до 400 пакетів в секунду. Затримка була обрана максимальної і склала 55 мс.

На рисунку 3.15. представлені графіки залежності запитуваних ресурсів від ВСПШ. Верхня крива відповідає випадку надання доступу без ПЧД. Нижня крива відповідає випадку надання доступу з ПЧД. З даних графіків видно, що застосування ПЧД дає економію до 1,5 - 2 підканала.

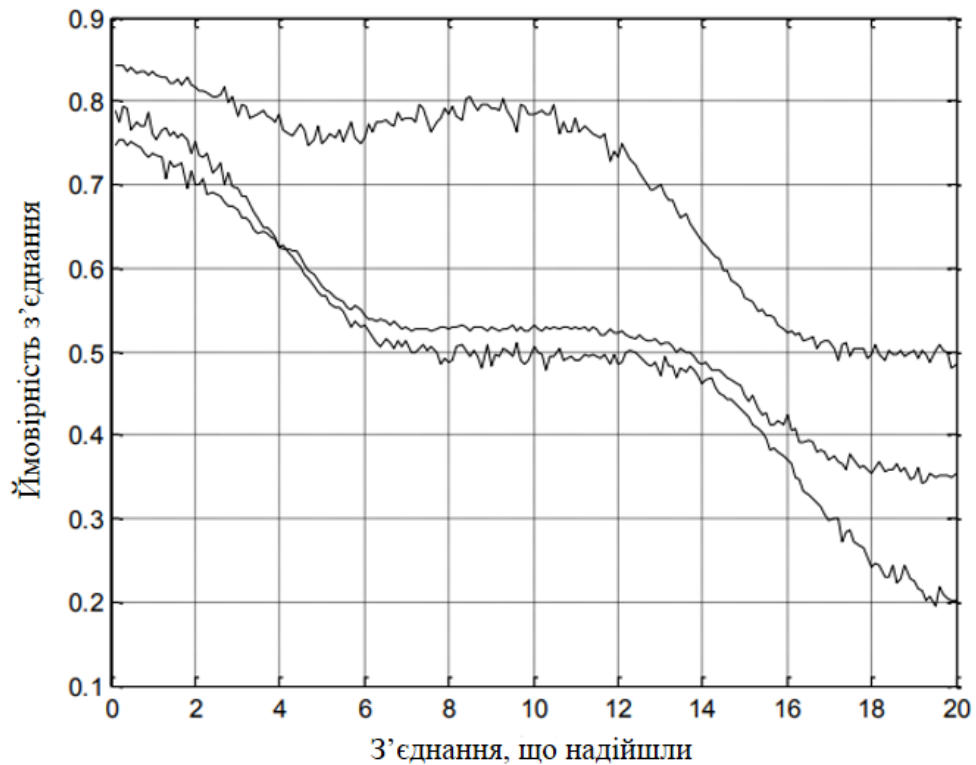


Рис. 3.16. Графіки залежності ймовірності з'єднання від кількості вступників з'єднань

Другий експеримент полягав у тому, що на вхід системи нечіткого виведення, для прийняття рішення про надання доступу подавалися значення з'єднань, що надійшли, які змінювалися в межах від 0 до 20. Запрошені ресурси для алгоритму, заснованого на аналізі черг, і алгоритму нечіткого виведення без ПЧД були прийняті рівними 7 підканалам, а для алгоритму нечіткого виведення з ПЧД були прийняті рівними 5 підканалам. Число активних з'єднань n_x для класу x генерувалися випадковим чином від 0 до 5. Після чого відповідно до вираження (3.3) розраховувалися доступні ресурси. На рисунку 3.16 представлені залежності ймовірності з'єднання від кількості вступників з'єднань. Верхня крива відповідає роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Середня крива відповідає роботі алгоритму нечіткого

виведення без ПЧД. Нижня крива відповідає роботі алгоритму, заснованого на аналізі черг. З даних графіків видно, що можливість об'єднання на 6 - 15% більше при роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД по відношенню до роботи алгоритму нечіткого виведення без ПЧД. Також проведений експеримент свідчить про те, що алгоритм, заснований на аналізі черг, поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Втрати становлять від 7 до 20%.

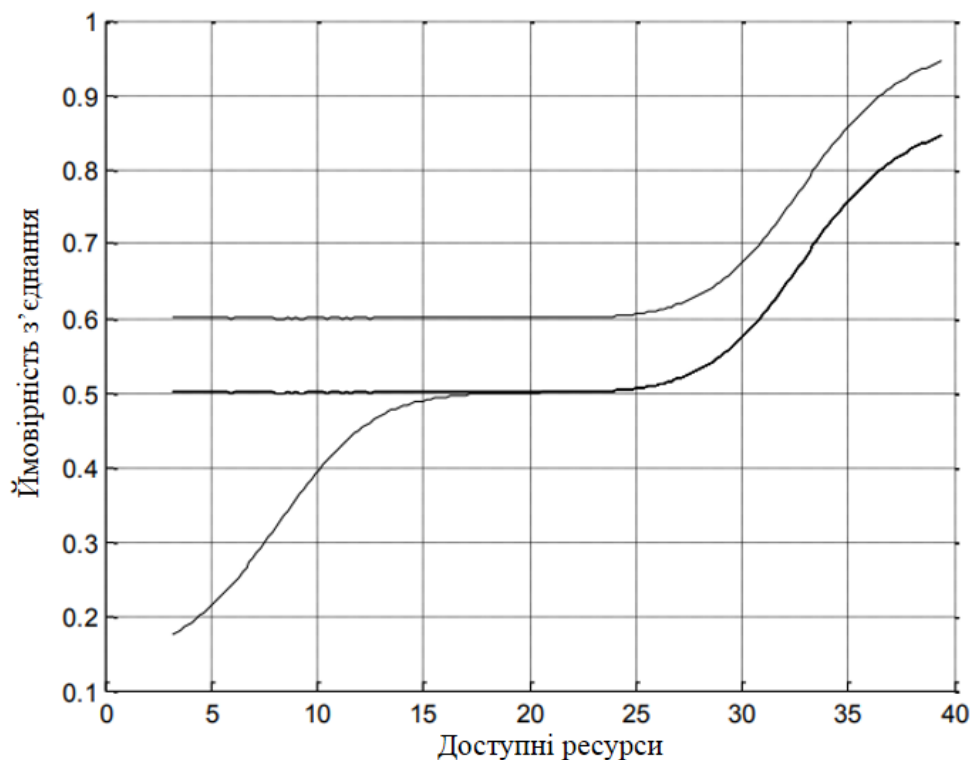


Рис. 3.17. Графіки залежності ймовірності з'єднання від доступних ресурсів

Третій експеримент полягав у тому, що на вхід системи нечіткого виведення для прийняття рішення про надання доступу подавалося значення доступних ресурсів, яке змінювалося в межах від 3 до 40 підканалів. Запрошувані ресурси для алгоритму, заснованого на аналізі черг, і алгоритму нечіткого виведення без ПЧД були прийняті рівними 7 підканалам, а для алгоритму нечіткого виведення з ПЧД були прийняті рівними 5 підканалам. З'єднання, що надійшли були прийняті рівними 10.

На рисунку 3.17 представлені залежності ймовірності з'єднання від доступних ресурсів. Верхня крива відповідає роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Середня крива відповідає роботі алгоритму нечіткого виведення без ПЧД. Нижня крива відповідає роботі алгоритму, заснованого на аналізі черг. З даних графіків видно, що можливість об'єднання на 10% більше при роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД по відношенню до роботи алгоритму нечіткого виведення без ПЧД. А алгоритм, заснований на аналізі черг, поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД на 40% при обмежених доступних ресурсах.

Висновки

1. Важливими проблемами в області підвищення пропускної здатності є проблеми розподілу ресурсів і управління доступом для підвищення ймовірності з'єднання. В роботі запропоновано вирішення завдання управління просторово-тимчасовим доступом, заснованому на нечіткій логіці.

2. Відомо, що ймовірність нового з'єднання залежить від ставлення сигнал / перешкода + шум в каналі зв'язку. Показано, що застосування ПЧД дозволяє підвищити ВСПШ на 20 - 30 і більше дБ.

3. В роботі проведено аналіз ефективності управління просторово-часовим доступом, заснованому на нечіткій логіці. Отримано залежності запитуваних ресурсів від ВСПШ. Аналіз показав, що застосування ПЧД дає економію до 1,5 - 2 підканалів.

4. Отримано залежності ймовірності з'єднання від кількості з'єднань, що надійшли для алгоритму, заснованого на аналізі черг, алгоритму нечіткого виведення без ПЧД і для алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Аналіз показав, що можливість об'єднання на 6 - 15% більше при роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД по відношенню до роботи алгоритму нечіткого виведення без ПЧД. Алгоритм, заснований на аналізі черг, поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Втрати становлять від 7 до 20%.

5. Отримано залежності ймовірності з'єднання від доступних ресурсів для алгоритму, заснованого на аналізі черг, алгоритму нечіткого виведення без ПЧД і для алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Аналіз показав, що можливість об'єднання на 10% більше при роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД по відношенню до роботи алгоритму нечіткого виведення без ПЧД. А алгоритм, заснований на аналізі черг, поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД на 40% при обмежених доступних ресурсах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз характеристик мережі 4G LTE та розглянуто особливості її архітектури.

2. Проаналізовано методи підвищення пропускної здатності інформаційних мереж та існуючих методів управління в них трафіком, а також розглянуті способи управління пропускною здатністю. Розглянуто та проаналізовано методи управління пропускною спроможністю в стаціонарних і мобільних мережах і на бездротових фрагментах мережі стандарту LTE з метою вирішення завдання розробки оптимального методу управління.

3. Проведено аналіз зниження пропускної спроможності базових станцій мережі LTE за рахунок соканальних перешкод. Аналіз показав, що втрати в пропускній здатності для користувача на краю станції можуть досягати до 70%.

4. Проведено аналіз впливу виду модуляції і швидкості кодування інформації на пропускну здатність. Побудовано криві ймовірності помилки на біт інформації від відстані між передавачем і приймачем при використанні видів модуляції BPSK, QPSK, QAM-16 і QAM-64 при різних швидкостях кодування і при наявності перешкод. Проведений аналіз показує, що, використовуючи відстань між базовою і абонентською станціями і потужності перешкод, можна адаптивно управляти параметрами ймовірності помилки з метою підвищення пропускної спроможності базових станцій мережі.

5. Синтезовано алгоритм управління просторово-часовим доступом (ПЧД), який засновано на моделі нечіткої логіки. Застосування ПЧД дозволяє підвищити ВСПШ на 20 - 30 і більше дБ, що дає економію 1,5 - 2 підканалів.

6. Отримано залежності ймовірності з'єднання від кількості з'єднань, що надійшли для алгоритму, заснованого на аналізі черг, алгоритму нечіткого виведення без ПЧД і для алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Аналіз показав, що можливість об'єднання на 6 - 15% більше при роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД по відношенню до роботи алгоритму нечіткого

виведення без ПЧД. Алгоритм, заснований на аналізі черг, поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Втрати становлять від 7 до 20%.

7. Отримано залежності ймовірності з'єднання від доступних ресурсів для алгоритму, заснованого на аналізі черг, алгоритму нечіткого виведення без ПЧД і для алгоритму нечіткого виведення з ПЧД. Аналіз показав, що можливість об'єднання на 10% більше при роботі алгоритму нечіткого виведення з ПЧД по відношенню до роботи алгоритму нечіткого виведення без ПЧД. А алгоритм, заснований на аналізі черг, поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД на 40% при обмежених доступних ресурсах.

СПИСОК ВИКОРАСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тихвинский В.О. Сравнительный анализ спектральной эффективности систем UMTS и LTE/ В.О.Тихвинский, С.В. Терентьев, И.В. Минаев // Мобильные телекоммуникации. – 2008. - №2 с.
2. 3GPP TR 25.814 Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), Release 7), V7.1.0, 2006. pp.64
3. Hyytia E and Virtamo J (2007). Random waypoint mobility model in cellular networks. *Wireless Networks*, 13(2): 177-188
4. Huang M, Feng S, and Chen J (2014). A practical approach for load balancing in LTE networks. *Journal of Communications*, 9(6): 490-497.
5. Li J and Sampalli S (2007). Cell mobility based admission control for wireless networks with link adaptation. In *The IEEE International Conference on Communications*, IEEE, Glasgow, UK: 5862-5867.
6. Li WY, Zhang X, Jia SC, Gu XY, Zhang L, Duan XY, and Lin JR (2013). A novel dynamic adjusting algorithm for load balancing and handover co-optimization in LTE SON. *Journal of Computer Science and Technology*, 28(3): 437-444.
7. Chahed T, Altman E, and Elayoubi SE (2008). Joint uplink and downlink admission control to both streaming and elastic flows in CDMA/HSDPA systems. *Performance Evaluation*, 65(11-12): 869-882
8. Lobinger A, Stafanski S, Jansen T, and Balan I (2010). Load balancing in downlink LTE self-optimizing network. In *the IEEE 71st Vehicular Technology Conference*, IEEE, Taipei, Taiwan.
9. Hayat MS, Kazmi SIA, Hasan R, and Bhatti AH (2016). An architecture of future wireless network for smart cities by improving 4G LTE wireless network. In *the 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City*, IEEE, Muscat, Oman: 1-5.
10. Grondalen O and Osterbo O (2012). Benefits of self-organizing networks (SON) for mobile operators. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2012: 1-16.

11. Yeo SH and Alwi S (2012). Evaluation des performances des techniques d'accès ofdma et sc-fdma dans la technologie lte. Ph.D. Dissertation, University Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algeria.
12. Liu Q, Zhou S, and Giannakis GB (2005). Queuing with adaptive modulation and coding over wireless links: cross-layer analysis and design. IEEE Transactions on Wireless Communications, 4(3): 1142-1153
13. Лазарев, В.Г. Динамическое управление потоками информации в сетях связи / В.Г. Лазарев, Ю.В. Лазарев. - М.: Радио и связь, 1983. - 235 с
14. Пшеничников, А.П. Теория телетрафика – М.: Горячая линия – Телеком, 2017, 212 стр.
15. Корнышев, Ю.Н. Теория телетрафика: Учебник для вузов / Ю.Н. Корнышев, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – М.: Радио и связь, 1996. - 272 с
16. Скрынников, В.Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика. / В.Г. Скрынников // М.: Культура и спорт -2000, 2012. – 864 с.
17. ITU-T Q.764 Signalling System No. 7 - ISDN User Part Signalling Procedures 1999.
18. Антонова, В.М. Учебно-методическое пособие «Моделирование радиорелейной трассы с использованием программного комплекса «Онега» по курсу «Технологии и архитектура мобильных сетей», Антонова В.М., Маликова Е.Е., Шевелев С. В. М.: МТУСИ, 2016 г. 56с.
19. AN INTRODUCTION TO LTE. LTE, LTE-ADVANCED, SAE AND 4G MOBILE COMMUNICATIONS. // Christopher Cox. - UK.: John Wiley & Sons Ltd, 2012. – P. 486
20. Stasiak, M. Modeling and Dimensioning of mobile networks from GSM to LTE / Maciej Stasiak, Mariusz Głabowski, Arkadiusz Wisniewski, Piotr Zwierzykowski. - John Wiley & Sons Ltd. – 2011. – P. 136
21. Варукина Л. Производительность сети TD-LTE в сравнении с WiMax//Мобильный Форум. Июль 2010. Адрес в Интернете <http://www.mforum.ru/news/article/093817.htm>

22. Варукина Л. Координация помех в сетях LTE// Радиочастотный спектр. – 2010. - №2. - с. 30-33.

23. Ханцо Л. Системы радиодоступа 3G, HSPA и FDD в сравнении с технологией TDD. Пространственно-временная фильтрация и адаптивная модуляция /Л. Ханцо, Д. Блох, С. Ни //Москва: Техносфера. - 2012. – 672 с. ISBN: 978-5-97836-325-7

24. Обод І.І. Адаптивна оптимізація швидкості передачі інформації в системах радіодоступу за наявності завад /Обод І.І., Алалі А.М., Фатроні М./ Вісник національного технічного університету «ХПІ». Секція Техніка та електрофізика високих напруг №27(1000) 2013 р. с. 119-124

25. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А./ — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с

26. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура/В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук/ — М.: Эко-Трендз, 2010. — 284 с.

27. Аунг Мью Маунг. Исследование и разработка алгоритмов планирования и приоритетного управления доступом в сетях WiMax: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Аунг Мью Маунг. – М.: МИЭТ, 2010. – 25 с

28. Крылов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В.Круглов, М.И.Дли, Р.Ю.Голуков / М.: Физматиз, 2001, 224 с

29. Поповский В.В. Использование пространственно-временного доступа в спутниковых системах подвижной связи с учетом стабилизации платформы ретранслятора связи // Поповский В.В., Коляденко Ю.Ю.: Праці УНДІРТ, Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. - 2006. - № 2 (45). - С.101-109

30. Коляденко Ю.Ю. Оценка пространственного спектра сигналов с адаптивной пространственно-временной обработкой // Коляденко Ю.Ю.: Вісник Українського будинку економічних та науко-технічних знань. - 2003. - № 2. - С.128- 132