

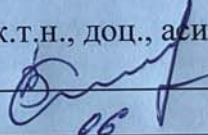
Бакалаврська дипломна робота на тему:

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКУ
В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-206
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

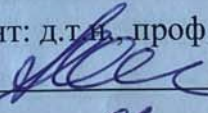
 Луб'яний Д.О.

Керівник: к.т.н., доц., асист. каф. ІКСТ

 Воловик А.Ю.

« 11 » 06 2024 р.

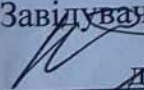
Рецензент: д.т.н., проф., зав. каф. ІРТС

 Осадчук О.В.

« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

 д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 11 » 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ІКСТ
ВНТУ,
докт.техн.наук, професор
В.М.Кичак
“06” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Луб'яному Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Методи підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку

керівник роботи Воловик Андрій Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від “11” березня 2024 року № 80

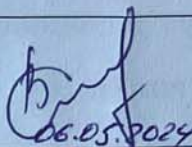
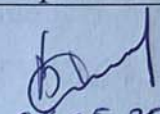
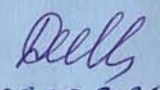
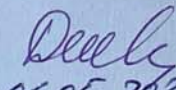
2. Строк подання студентом роботи: 7 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: швидкість передавання – 43Мбіт/с; доступна частотна смуга – 100кбіт/с; потужність сигналу – -71дБм; джитер – 8,6мс, відстань між мобільною та базовою станцією – 570м, швидкість руху абонента – 20км/год км/год.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): особливості передачі обслуговування в мобільних мережах, підвищення якості обслуговування трафіку, алгоритм обслуговування, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): типи хендоверу; алгоритм хендовера; функціонування планувальника пакетів обслуговування черги; вибір пакета; моделювання каналу передачі; залежність втрат заявок; структура нечіткого регулятора графічна інтерпретація нечіткого логічного висновку

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Воловик А.Ю., асист. кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 06.05.2024
Охорона праці	Дембіцька С. В., доцент кафедри БЖДПБ	 06.05.2024	 06.05.2024

7. Дата видачі завдання «6» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

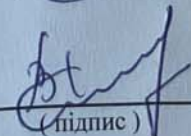
№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми і технічного завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент


(підпис)

Луб'яний Д.О.

Керівник роботи


(підпис)

Воловик А.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Луб'яний Дмитро Олександрович. Методи підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 87с.

На українській мові. Бібліогр.: 32 назв; Рис.: 40; Табл.: 9.

Мета бакалаврської дипломної роботи – дослідження методів обслуговування трафіку у системах мобільного зв'язку. Розглянуто основні види та методи обслуговування трафіку. Запропоновано алгоритм обслуговування черги. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Ключові слова: мобільний, трафік, обслуговування.

ANNOTATION

UDK 621.397

Lubyanyi Dmytro Oleksandrovysh. Methods of increasing the efficiency of traffic handling in mobile communication systems. Bachelor diploma work. – Vinnytsya: VNTU, 2024. – 87 pp.

In Ukrainian language. Refs.: 32 titles; Figs.: 40; Tables: 9.

The aim of the bachelor diploma thesis is investigating the methods of traffic handling in mobile systems. Main types and methods of traffic handling were considered. A queue handling algorithm was proposed. Problems of industrial and occupational safety has been considered.

Keywords: mobile, traffic, handling.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ	8
1.1 Поняття передачі обслуговування.....	8
1.2 Типи передачі обслуговування	9
1.3 Ініціалізація процедури хендоверу.....	13
1.4 Показники ефективності передачі обслуговування.....	17
1.5 Виявлення хендоверу.....	18
1.6. Метод передачі обслуговування в режимі усунення конфліктів розподілу ресурсів.....	19
2 ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКУ.....	24
2.1 Показники якості передачі.....	24
2.2 Функціональна модель передачі даних	25
2.3 Планувальників пакетів прямих каналів	27
2.4 Процес управління передчею потоків	29
2.5 Особливості керування трафіком користувача	30
2.6 Моделювання каналу передачі.....	33
3 АЛГОРИТМ ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	39
3.1 Алгоритм обслуговування черги каналного рівня.....	39
3.2 Алгоритм вибору пакета	43
3.3 Алгоритмів контролю доступом.....	48
3.4 Адаптивний алгоритм	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	60
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	62
4.3 Пожежна безпека.....	68
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

Додаток А (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	77
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	87

ВСТУП

Актуальність теми.

Однією з проблем створення та розвитку сучасних мобільних систем є розроблення методів підвищення ефективності їх функціонування. Проблема якості мобільного зв'язку в Україні також зараз досить актуальна. Зростання ринку телекомунікацій і конкуренція між операторами зв'язку змушує більше людей звертати увагу на якість передачі даних. Оператори, користувачі та регулюючі органи є зацікавленими сторонами в цьому випадку.

Світове телекомунікаційне співтовариство почало розглядати оцінку якості послуг зв'язку як один із найважливіших факторів ефективного розвитку ринку телекомунікаційних послуг завдяки новим технологіям мовлення, які дозволяють впроваджувати на ринок все більшу кількість послуг зв'язку. Вимоги до якості передачі даних споживачів по всьому світу стали більш диференційованими та жорсткими, що є важливим для ефективної роботи операторів стільникового зв'язку.

Збільшення кількості мультимедійних мобільних додатків призводить до того, що використання ефективних методів обслуговування викликів є необхідним для забезпечення високої якості обслуговування. Це пов'язано з тим, що при безпроводному доступі виникають перекося навантаження через стохастичне переміщення абонентів. Швидкість трафіку реального часу повинна бути постійною, оскільки ціни на послуги мобільного зв'язку та нові види абонентських станцій зросли.

Зростання кількості людей, які користуються послугами таких мереж, є результатом швидкого розвитку сучасних телекомунікаційних мереж. При цьому зростає кількість електронних пристроїв із можливістю підключення до Інтернету.

Аналіз останніх досліджень. Проведений попередній літературний огляд та його аналіз доводять, що такі вітчизняні науковці як: Глоба Л.С., Климаш М.М., Семенко А.І., Бешлей М.І., Сундучков К. С., Безрук В.М., Андрущак

В.С., Скулиш М.А., Одарченко Р.С., Коляденко Ю. Ю., присвятили різним аспектам мобільних мереж нового покоління багато уваги [1-6].

Необхідно розглянути нові покращені алгоритми обслуговування трафіку в сучасних мережах мобільного зв'язку.

Мета та задачі дослідження. Метою даної бакалаврської дипломної роботи є дослідження принципів обслуговування трафіку у мобільних мережах.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- аналіз принципів реалізації передачі обслуговування у мобільних мережах;
- дослідження особливостей обслуговування потоку трафіку;
- обґрунтування алгоритму обслуговування черги викликів.

Об'єктом дослідження є мережі мобільного зв'язку.

Предметом дослідження є обслуговування трафіку у мережах мобільного зв'язку.

Результати даної бакалаврської дипломної роботи можна використати при впровадженні засобів мобільного зв'язку.

1 ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

1.1 Поняття передачі обслуговування

Мобільність є характеристикою безпроводних мобільних систем. Процес хендоверу необхідний, коли абонент переміщується в мережу, щоб змінити його місцезнаходження в системі. Підтримка активного виклику є однією з найважливіших характеристик мобільних систем. Щоб забезпечити таку можливість мобільній системі, процес хендоверу переміщує активний виклик з одного стільника в інший. Зокрема, безперервність обслуговування можна забезпечити за допомогою підтримки переадресації, яка передає поточний виклик до сусіднього стільника, коли мобільний пристрій рухається між зонами покриття. Проаналізуємо про поточні методи переадресації даних, ініціалізації та виявлення, їхні переваги та недоліки.

Хендовер, також відомий як переадресація, — це процес зміни каналу, який відповідає поточному з'єднанню у процесі виклику шляхом зміни частоти, часового інтервалу, кодування або комбінації цих параметрів [7]. Крім того, процес перенесення поточного виклику або сеансу передачі даних з одного каналу до іншого відомий як хендовер або передача обслуговування (рис.1.1).

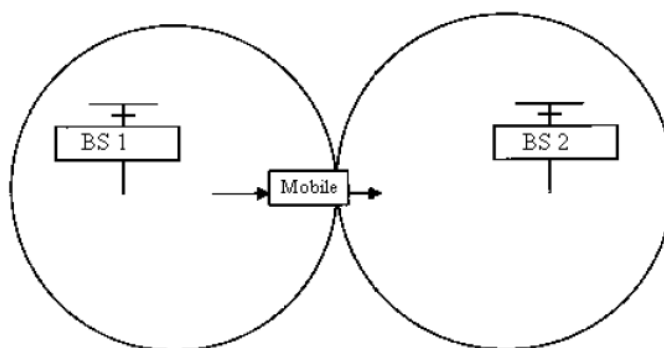


Рисунок 1.1 – Процес хендоверу

Можливі такі причини передачі обслуговування мобільного зв'язку:

- коли мобільний пристрій виходить із зони покриття одного стільника та потрапляє в зону покриття іншого; хендовер дає можливість дозволяє абоненту не залежати від географічних рамок і переміщатися в межах мережі без втрати якості зв'язку;
 - якщо ємність стільника переповнена, при надходженні нового виклику, який знаходиться на перекритті іншого стільника Виклик переходить до зони відповідальності відповідного стільника в порядку звільнення ємності.
 - коли мобільний пристрій зашумлюється завадами від іншого пристрою, який використовує той самий канал у іншому стільнику, виклик переадресовується на інший канал у поточному стільнику або на інший канал у сусідньому стільнику, щоб усунути завади.
- існує завада між абонентом і БС

1.2 Типи передачі обслуговування

Механізм хендовера поділяється на дві групи: жорсткий і м'який (рис. 1.2). Жорсткий хендовер ділиться на два види: внутрішньоканальна передача та міжканальна. М'який хендовер поділяється на багатоканальний або делікатний [8].

Здійснення жорсткого хендоверу вимагає припинення зв'язку з джерелом сигналу до того, як буде створено нове з'єднання з ціллю. До того моменту, як абонент підключиться до пріоритетної БС у новому стільнику, канал зв'язку з пріоритетною БС припиняється. У цьому випадку АС завжди підключена до однієї БС. Жорсткий хендовер повинен бути миттєвим, щоб скоротити час, необхідний для вирішення виклику. Взагалі кажучи, жорсткий хендовер рахується інцидентом у ситуації виклику. Але для цього потрібна мінімальна швидкість обробки мобільною мережею, що надає послугу. Мобільний пристрій може переключатися між двома БС, коли абонент перебуває між ними, але вона відбиває зв'язок із мобільним пристроєм взад і вперед. Це явище називається «ефектом пінг-понгу». Таким чином, АС стає неможливою для спілкування, коли во-

на переміщується від однієї БС до іншої, оскільки використовуються різні частоти.

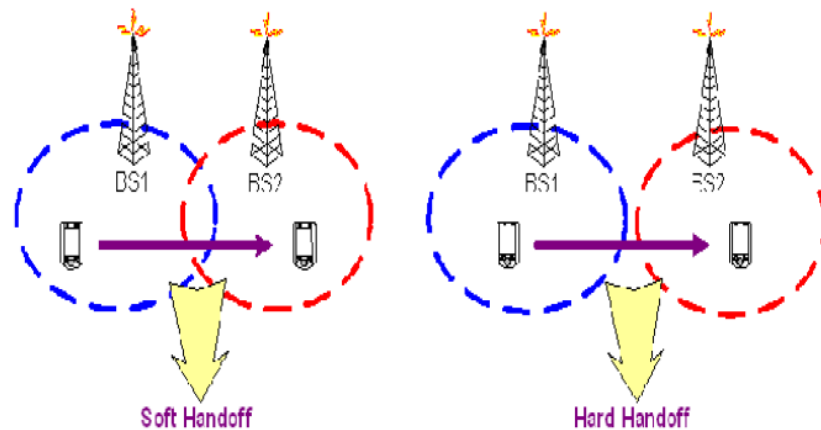


Рисунок 1.2 – Soft Handover та Hard Handover

Хендовер називається внутрішньомобільним або внутрішньобазовим, якщо він здійснюється між двома каналами або часом у одній базовій станції. З'єднання між двома базовими станціями, що підключені до одного контроллера базових станцій, називається міжканальним хендовером між стільниками або БС (рис.1.3).

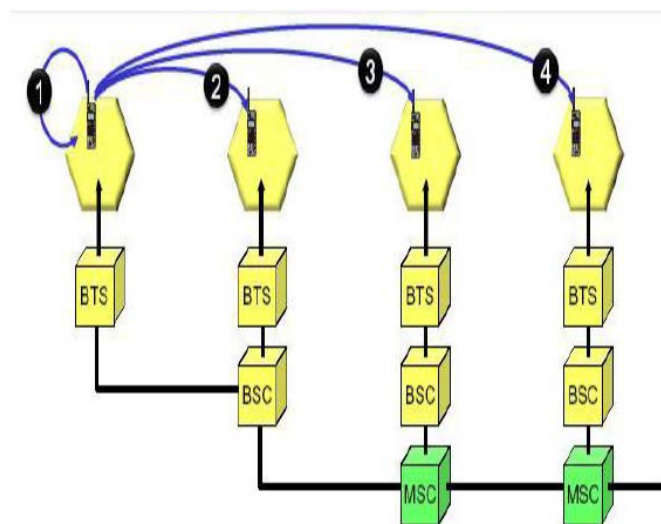


Рисунок 1.3 – 1) внутрішньомобільний хендовер; 2) хендовер;

3) міжбазовий хендовер; 4) хендовер між MSC

Хендовер між КБС — це коли зв'язок передається між двома БС, які підключені до різних КБС, але все ще в межах одного ЦК. Це називається хендо-

вером між ЦК, коли передача обслуговування відбувається між двома БС, підключеними до різних КБС. Процес хендоверу, який відбувається під час поточного виклику, називається внутрішньосистемним хендовером, якщо мобільний пристрій переміщується з однієї мобільної мережі до сусідньої мобільної мережі, яка контролюється тим самим MTSO. Внутрішньосистемний хендовер використовується, коли мобільний сигнал стає слабким у деякому стільнику, і MTSO знаходить інший стільник у своїй мережі, на який вона може переадресувати проблему. Коли мобільний пристрій переміщується з однієї мобільної системи до іншої під час поточного виклику і контролюється окремими MTSO, процедура хендоверу, яка використовується для запобігання скидання виклику, називається міжсистемним хендовером.

Процедура міжсистемного хендоверу використовується, коли мобільний сигнал не працює в певному стільнику і MTSO не може знайти другий стільник у своїй системі, до якого він може передати виклик [9]. На відміну від цього, міжсистемний хендовер є хендовером між різними системами.

М'який хендовер — це тип передачі, яка відбувається ще до обриву зв'язку. Таким чином, мобільна станція здійснює виклик і переміщується з однієї базової станції до іншої, але при цьому АС починає комунікувати із іншою базовою станцією, перш ніж припинити зв'язок зі старою базовою станцією. М'які хендовери на однаковій частоті можна використовувати між БС. Технологія покращила прийом сигналів під час переміщення АС між стільниками. Під час м'якого хендоверу АС з'єднаний з кількома БС одночасно. Це означає, що коли потрібно перейти від однієї БС зі слабшим сигналом до БС із сильнішим сигналом, АС вже з'єднана з новою БС. Під час м'якого хендоверу АС приймає замкнуті біти керування від двох БС і використовує логіку «вниз» для визначення правильного налаштування потужності.

Це означає, що в ситуації, коли обидва контролери з двох БС становлять 0, АС підвищить свою потужність. АС має зменшити свою потужність, якщо біт управління потужністю будь-якої БС дорівнює 1. Хендовер називається делікатним, якщо частини розташовані в одному стільнику фізично. Для змен-

шення інтерференції, основною проблемою систем мобільного зв'язку, використовується м'який хендовер і контроль потужності.

На рис. 1.4 показано міжсистемний хендовер. На рис. 1.5 показано порівняння різних типів хендовера.

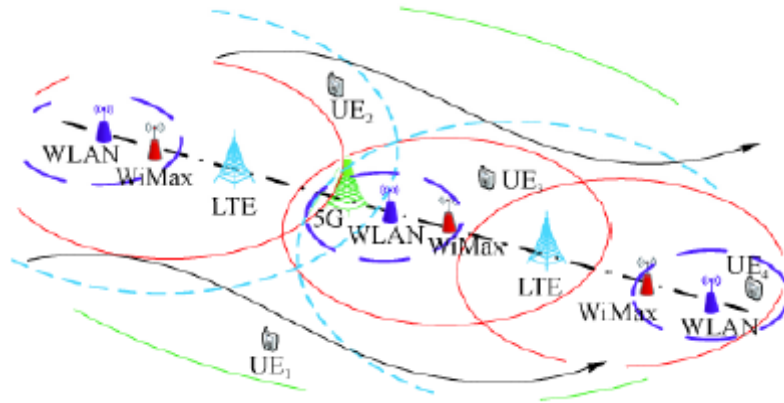


Рисунок 1.4 – Міжсистемний хендовер

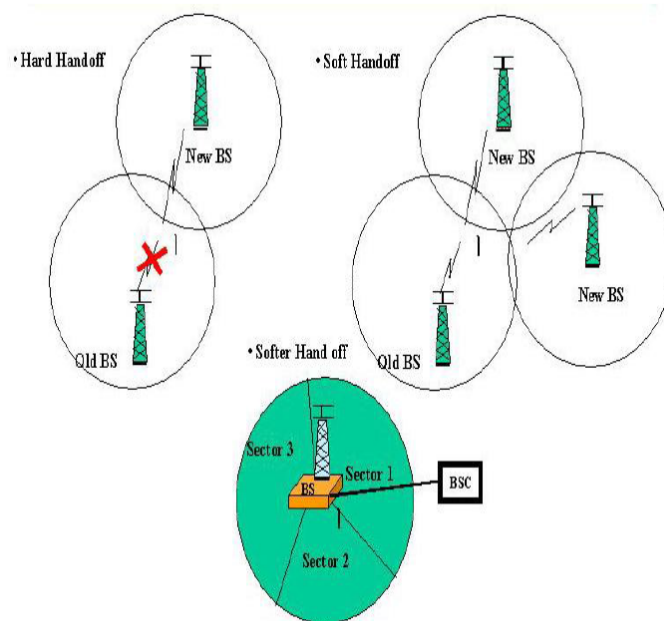


Рисунок 1.5 – Жорсткий, м'який та делікатний хендовер

Порівняємо м'який і жорсткий хендовер. Жорсткий хендовер, як показано на рис. 1.6, передбачає розрив перед подальшим з'єднанням, а пистрій може бути з'єднаний з однією БС у в будь-який момент.

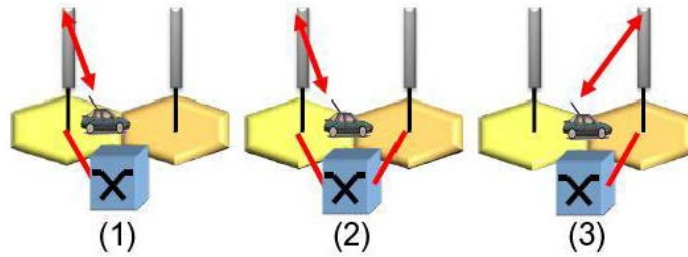


Рисунок 1.6 – Жорсткий хендовер

При м'якому хендовер (рис.1.7) перед розривом зберігається зв'язок. Перед тим, як звільнити старе підключення, встановлюється нове підключення, щоб запобігти відключенню під час передачі обслуговування. Після завершення хендоверу з'єднання, яке було зроблено раніше, звільняється.

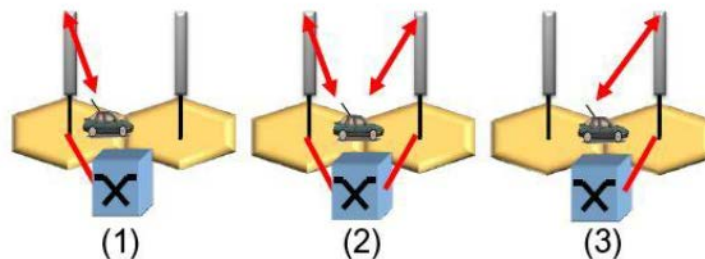


Рисунок 1.7 – М'який хендовер

1.3 Ініціалізація процедури хендоверу

Жосткий хендовер відбувається, коли попереднє з'єднання розривається перед запуском нового. Критерії ініціації служать основою для оцінки ефективності жорсткого хендоверу. Сигнал усереднюється протягом певного часу, що дозволяє усунути швидкі коливання, пов'язані з багатопроменевою природою радіосистем. АС переміщується з БС1 в БС2, як показано на рис. 1.8. Коли АС віддаляється від БС1, середня потужність сигналу зменшується [10]. Аналогічно, коли АС наближається до БС2, потужність сигналу збільшується.

Коли потужність сигналу з БС1 перевищує потужність сигналу з БС2, мобільний термінал переадресує з БС1 до БС2 трафік. У ситуаціях, коли потужність БС1 перевищує потужність БС2, АС переадресує БС1 назад.

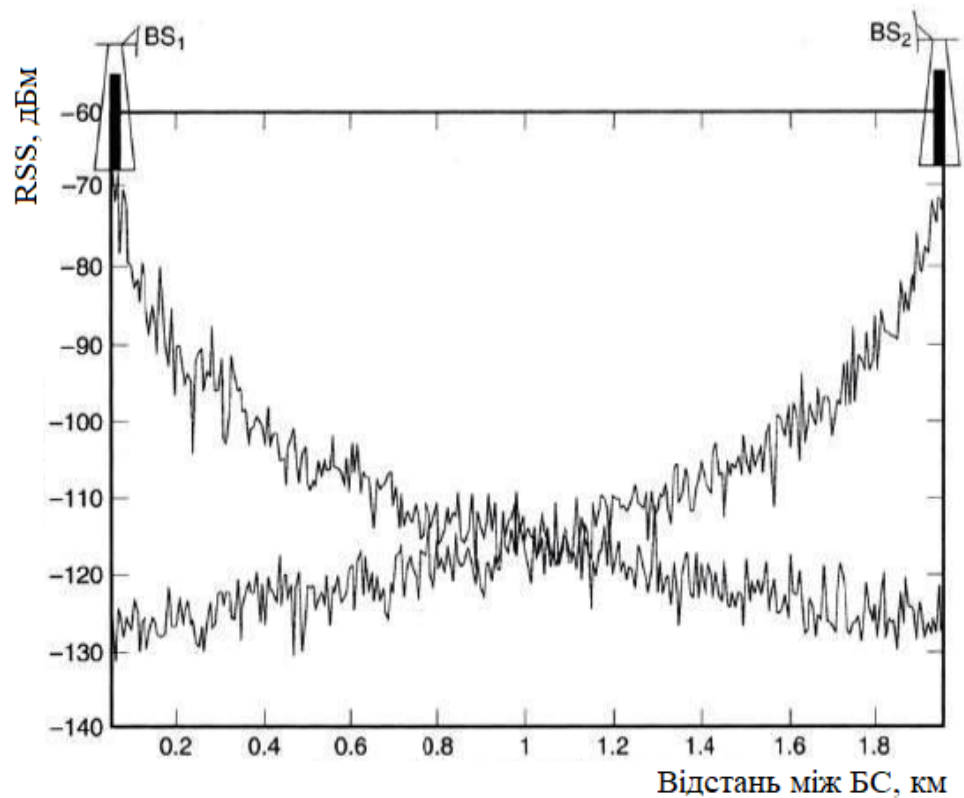


Рисунок 1.8 – Потужність сигналу в залежності від відстані між БС

Хендовер має місце в точці L1, як показано на рис.1.9. Потужність сигналів може змінюватися через поширення радіосигналів, але БС1 RSS цілком достатньо для обслуговування АС. Ефект «пінг-понгу» посилюється непотрібними хендоверами. По мірі збільшення кількості хендоверів ймовірність примусового припинення та перезавантаження мережі зростає. Технології передачі обслуговування, зокрема, повинні уникати таких непотрібних постачальників.

Для усунення ефекту «пінг-понгу» вводять порогове значення для відносної потужності сигналу з відповідним пороговим значенням. Хендовер відбувається лише тоді, коли сигнал на поточній БС є нижчим за попередній поріг, а сигнал від сусідньої БС сильніший.

Для високого порогу Th1 ця схема (рис.1.10) працює так само, як і схема відносної потужності сигналу RSS. Мобільний пристрій може не підійти до нового стільника, якщо порогове значення досить низьке (наприклад, Th3). Порогове значення не використовується як самостійне значення, оскільки його ефек-

тивність залежить від попереднього значення рівня потужності сигналу у точці перетину сигналів по точній БС і можливій новій БС.

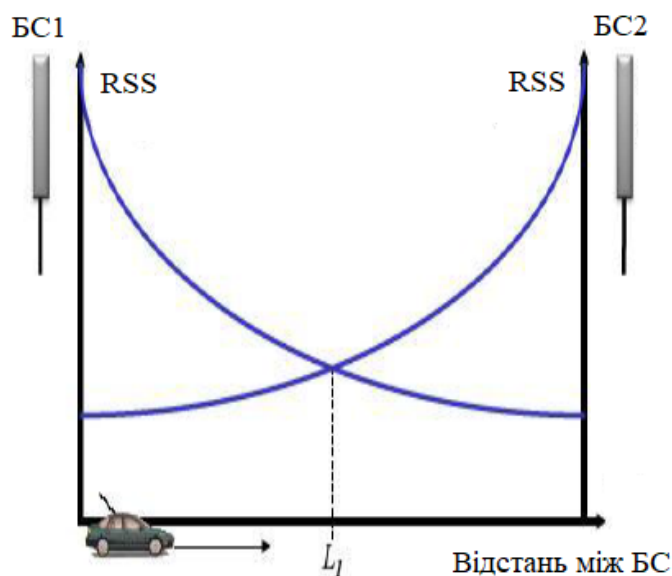


Рисунок 1.9 – Потужність сигналу залежно від відстані між БС для RSS

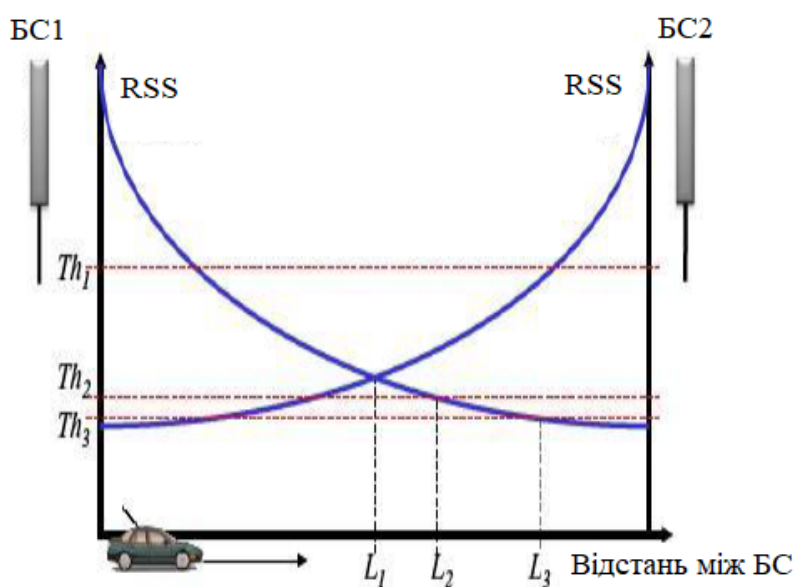


Рисунок 1.10 – Потужність сигналу залежно від відстані між БС для RSS-T

Процес хендовера відбувається тільки в випадку, якщо нова БС буде більш потужною ніж поточна, що розраховується з огляду на межу гістерезису H) (рис.1.10, 1.11).

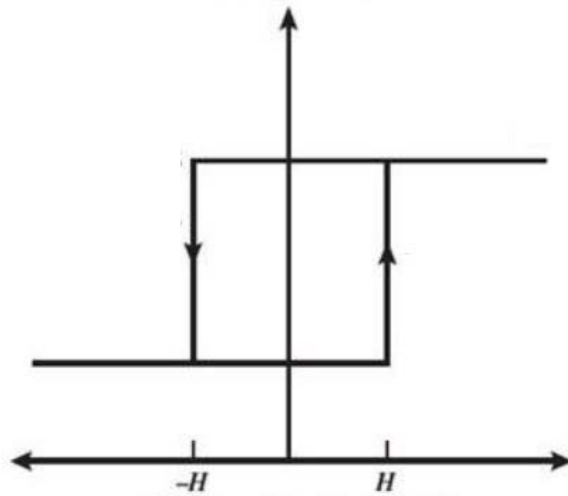


Рисунок 1.10 – Механізм гістерезису

Коли відносна потужність сигналу досягає значення H , мобільний пристрій, що обслуговується БС1, буде передано на іншу БС. Мобільний пристрій залишиться на БС2 до того моменту, поки сигнал хендоверу не буде нижче H . Після цього АС повертається до БС1. У цій схемі немає ефекту «пінг-понгу». Однак, якщо сигнал БС1 все ще має достатній рівень потужності, перший хендовер переадресації може бути непотрібним.

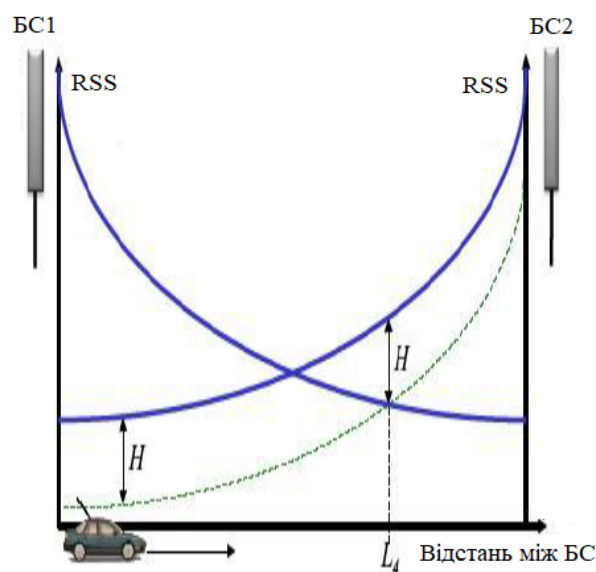


Рисунок 1.11 – Потужність сигналу залежно від відстані між БС для RSS за схемою гістерезису

Відповідно до значення гістерезису H , хендовер відбувається лише тоді, коли рівень поточного сигналу є нижчим ніж порогова величина, а сигнал цільової БС є потужнішим, ніж сигнал поточної БС.

Якщо наявні порогові значення Th_1 або Th_2 , хендовер відбувається в L_4 . Коли порогове значення L_3 дорівнює Th_3 , відбувається хендовер. Коли сигнал від поточної БС є ще достатнім, ця схема дозволяє здійснити хендовер, уникаючи ефекту «пінг-понга». Зниження порогового значення в схемі RSS-HT підвищить ймовірність хендоверу, тобто кількість хендоверів, а також кількість помилкових.

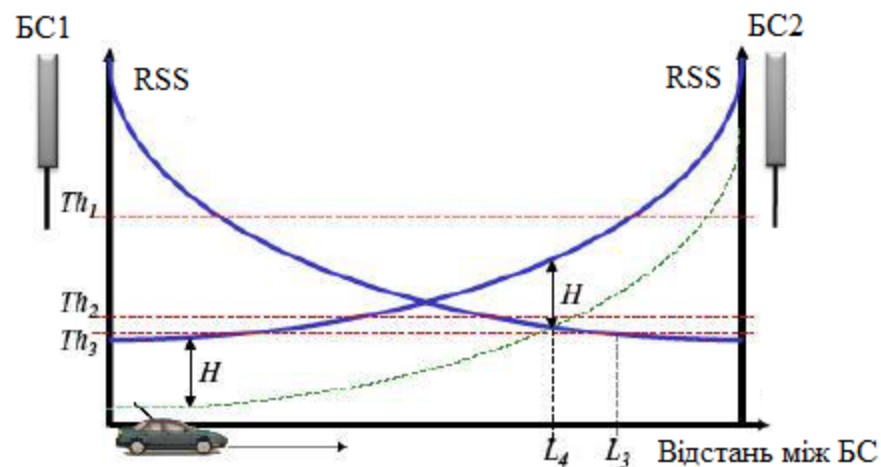


Рисунок 1.12 – Відносна потужність сигналу з пороговими значеннями та схемою гістерезису RSS-TH

1.4 Показники ефективності передачі обслуговування

Основні показники ефективності хендоверу включають наступне:

- Ймовірність блокування виклику — це ймовірність того, що нова спроба здійснення виклику буде заблокована.
- Ймовірність блокування хендовера — це ймовірність того, що спроба здійснення хендовера буде заблокована
- Ймовірність хендоверу — це ймовірність того, що поточний виклик вимагатиме естафетної передачі, до того як він закінчиться під час сеансу зв'язку

в межах конкретного стільника. Ця кількість передачі обслуговування на стільник перевищує середню.

- Ймовірність обриву виклика — це ймовірність що виклик закінчиться через помилку хендоверу. Цей показник можна отримати, використовуючи як ймовірність хендоверу, так і ймовірність блокування хендоверу.
- Швидкість хендоверу визначається як кількість хендоверів на одиницю часу.
- Тривалість переривання — це період часу, протягом якого мобільний пристрій не має зв'язку з базовою станцією.

1.5 Виявлення хендоверу

Вимірювання визначають початок передачі обслуговування. Протоколи передачі даних визначають, як різні системи реалізують хендовер. Мобільний пристрій постійно здійснює вимірювання рівня сигналу в поточному каналі та порівнює його з іншими каналами. Вимірювання показують, що процес прийняття рішення про здійснення хендовера або централізований, або децентралізований. Це означає, що залежно від протоколу керування хендовером мобільний пристрій, мережа або обидва приймають рішення про хендовер. Три підходи відомі для визначення потреби в передачі обслуговування [10]:

- Мобільно-контрольований хендовер (МСНО);
- Мережево-контрольований хендовер (НСНО);
- Спільно-контрольований хендовер (МАНО).

При мобільно-контрольованому хендовері АС постійно відстежує сигнали від навколишніх БС і, коли виконуються певні умови, запускає процес хендоверу. Таким чином, за допомогою цього методу АС постійно контролює потужність і якість сигналу від поточної БС і кількох потенційних базових станцій. Цей метод має досить короткий час реакції — 0,1 секунди.

При мережево-контрольованому хендовері сусідні базові станції виконують вимірювання сигналу АС. Коли виконуються певні умови, мережа починає

хендовер. Якщо якість, так і потужність сигналу АС падають нижче певного порогового значення, то мережа організовує хендовер виклику на іншу БС. Мережа аналізує всі навколишні БС, щоб стежити за сигналом АС. Потім мережа передає результати вимірювання назад у мобільну мережу. Для здійснення хендовера мережа обирає нову БС, інформує через поточну БС обидві АС, а потім знову цільову БС. У цьому випадку процес хендоверу займає від 100 до 200 мс.

Спільно-контрольований хендовер є більш децентралізованим. Як АС, так і БС стежать за якістю зв'язку. АС мережі вимірює сигнали з навколишніх БС за запитом. Згідно зі звітом АС, мережа приймає рішення про здійснення хендовера. Переадресація вирішується в мережі. Час хендоверу між рішенням про передачу і виконанням становить приблизно 1 сек.

Хендовер для МСНО, НСНО та МАНО може бути неефективним через кілька причин. Однією із них є те, що мережа витрачає занадто багато часу після того, як було розпочата процес хендоверу. Інша причина – на цільових БС немає каналу, доступного для використання, або через брак ресурсів мережа припинила обслуговування каналу. Також можливе блокування ресурсів.

1.6 Метод передачі обслуговування в режимі усунення конфліктів розподілу ресурсів

У більшості випадків розглядається лише вирішення конфлікту, коли є оцінки напрямків приходу радіосигналів. Але ситуації з багатопроменевим поширенням більш поширені в реальному житті, особливо в містах. У таких ситуаціях практично неможливо визначити кутові напрямки приходу інтерферуючих сигналів. Відомі способи просторового розділення [9–12] зараз не працюють. Таким чином, опис і аналіз алгоритму хендовера, який використовується з метою для усунення конфліктів і усунення зазначених недоліків, є корисними.

У кожній БС використовується 8-елементна адаптивна антена для просторової селекції прийнятих абонентських терміналів (АТ) сигналів. Режим TDD дозволяє організувати вати ПСС як на лініях від АТ до БС, так і від БС до

АТ. Для досягнення цього БС використовує ті ж вагові коефіцієнти, що формуються адаптивно під час прийому, і використовує їх під час передачі. Алгоритм мінімуму середньоквадратичної по-милки (МСКП) використовується для налаштування ваг.

«Справедливий» алгоритм використовується для керування хендовером у режимі $N = 1$ (тобто усунення конфліктів залучення ресурсів), орієнтований на оцінку амплітудно-фазових розподілів опорних або референсних сигналів (RS), які виявляються на виходах восьми антен.

Кожен так званий елементарний ресурсний блок сигналу RS містить фіксовані врізки (рис. 1.13). Індивідуальні Pilot-врізки, створені на основі Chirp кодів, мають структуру, схожу на ZF послідовності, які використовуються LTE [1].

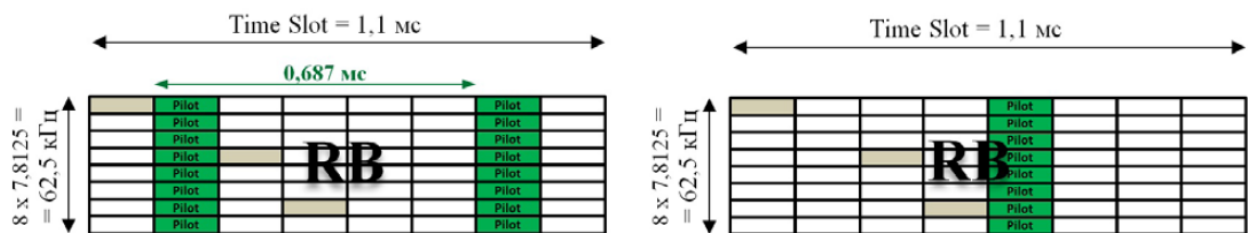


Рисунок 1.13 – Структури елементарних ресурсних блоків з референс-сигналами у вигляді Pilot-врізок

Обслуговуюча БС контролює зайнятість частотних підканалів і часових тайм-слотів, коли абонент запитує у БС доступ до радіоканалу, або працюючий абонент фіксує пониження якості зв'язку та надсилає запит на хендовер « $N=1$ ». Для цього вектори γ рівні ρ на всіх позиціях підканалів і тайм-слотів обчислюються за допомогою узгодженого прийому мобільних врізок літака. Усі записи в реєстрі сусідств БС мають коди Pilot-врізок, які перевіряються. Кожен елемент ресурсу, визначений поєднанням із двох підканалів і тайм-слоту, має код врізки Pilot, який показує відгук узгодженого прийому найвищого рівня [11].

Слід зазначити, що наведений алгоритм не вимагає реалізації безпосередньої оцінки кутів приходу сигналів. Замість цього він використовує доступні на

БС вимірювання корисного та заважаючого сигналів, затримок, кореляції пілотного візка для визначення того, чи можливо виконувати суміщену роботу в ресурсах. Алгоритм автоматично вибирає один з вільних ресурсів, якщо на БС спостерігаються. На рис. 1.14 показано блок-схему роботи алгоритму хендвера.

На рис. 1.5 подано варіант обслуговування абонентів однієї БС. Тут взаємна кореляція відрізняється від 1 лише за ненульових затримок.

Приклад показує, що просторова селекція сигналів також може бути ефективною для абонентів, які обслуговуються однією БС. Однак вона працюватиме, якщо між прийнятими сигналами буде затримка більше 0,6 мкс. Введення додаткової керованої затримки від -1,5 до +1,5 мкс із кроком 0,6 мкс в підтримуваний БС1 алгоритм управління синхронізацією абонентів за часом дозволить досягти цього. Це дозволить розділити сигнали на виході антенної решітки та забезпечити необхідний мінімальний рівень кореляції між візками літака під час прийому.

Програмне забезпечення для управління затримками трансляції АС забезпечує синхронізацію всіх прийнятих сигналів БС. Оскільки алгоритм управління вирівнює рівні сигналів на прийомі для потужності трансляції, просторова селекція сигналів АТ, що обслуговуються однією БС, неможлива. Результати не демонструють затримок або контрастності. Однак просто введення керування додатковими затримками на БС дозволяє використовувати додатковий ресурс, навіть не розширюючи множину Pilot-кодів. ПСС буде доступна одразу, а діапазон затримок залишиться в межах захисного інтервалу.

На рис. 1.16 показано фізичну природу параметра «просторової нерозрізненості», а також те, як він пов'язаний із кутовою відстанню між АС у ситуаціях трас прямої видимості.

Графік чорного кольору відповідає стандартному радіусу решітки $\lambda/2$. У цьому місці також наведено залежності з радіусами 0,4 і 0,6. Здатність розділяти сигнали збільшується зі збільшенням розміру антенної системи, як це видно.

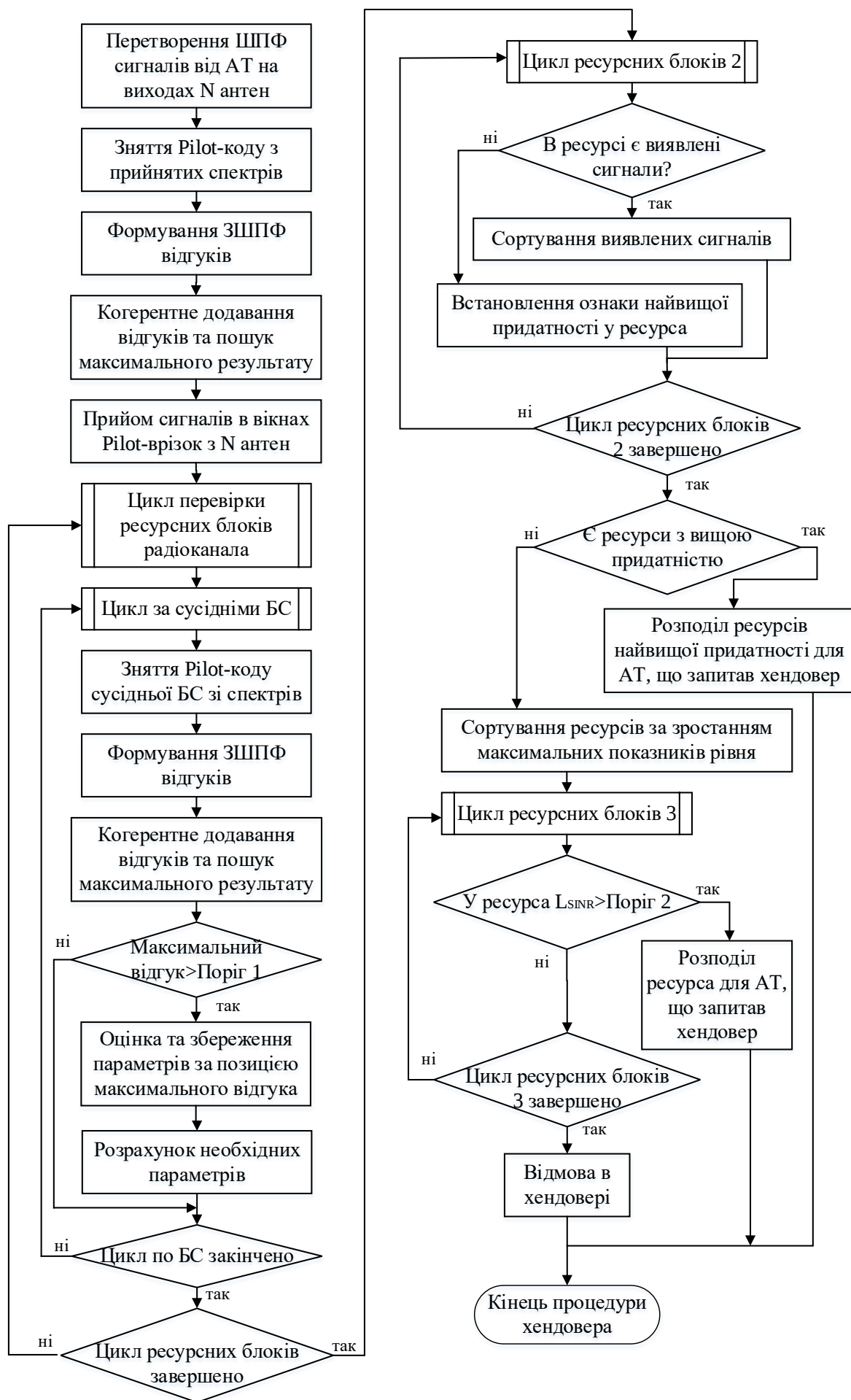


Рисунок 1.14 – Блок-схема алгоритму хендовера

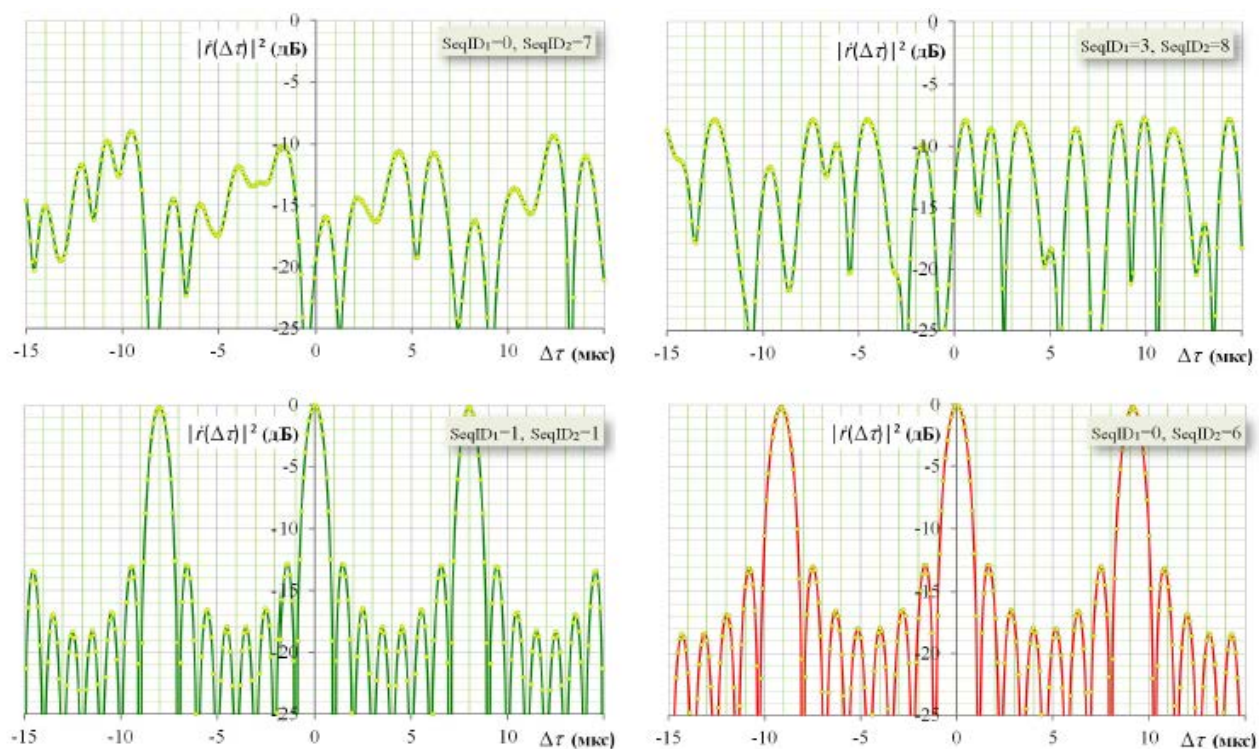


Рисунок 1.15 – Залежність показника взаємної кореляції сигналів Pilot-врізок від затримки сигналів абонентів на БС

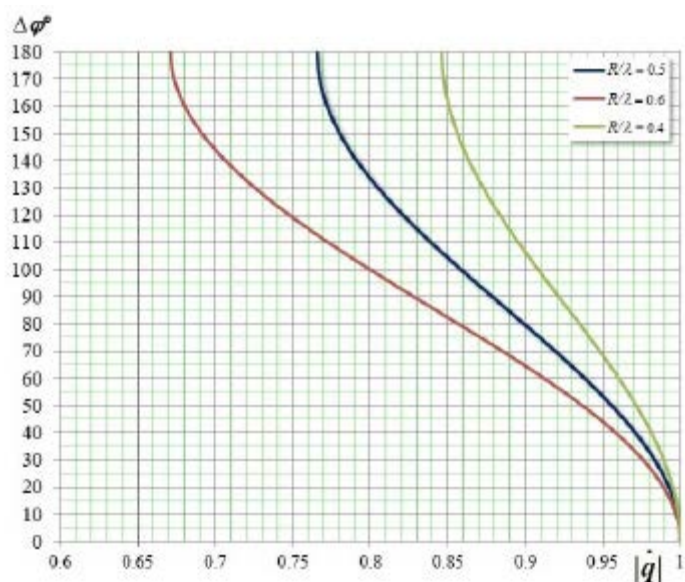


Рисунок 1.16 – Залежність кутової відстані між АС від показника «просторової нерозрізненості» в умовах трас із прямою видимістю.

2 ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКУ

2.1 Показники якості передачі

Показники якості надання послуг мобільного зв'язку – це кількість характеристики, отримані за допомогою параметрів якості, які визначають результати роботи операторів мобільного зв'язку щодо надання послуг і обслуговування споживачів [7].

Рисунок 2.1 показує, як функції управління якістю обслуговування взаємодіють у площині управління. Трансляційна функція перетворює службову інформацію, пов'язану з зовнішньою послугою, у внутрішні примітиви послуги, які включають і атрибути послуги.

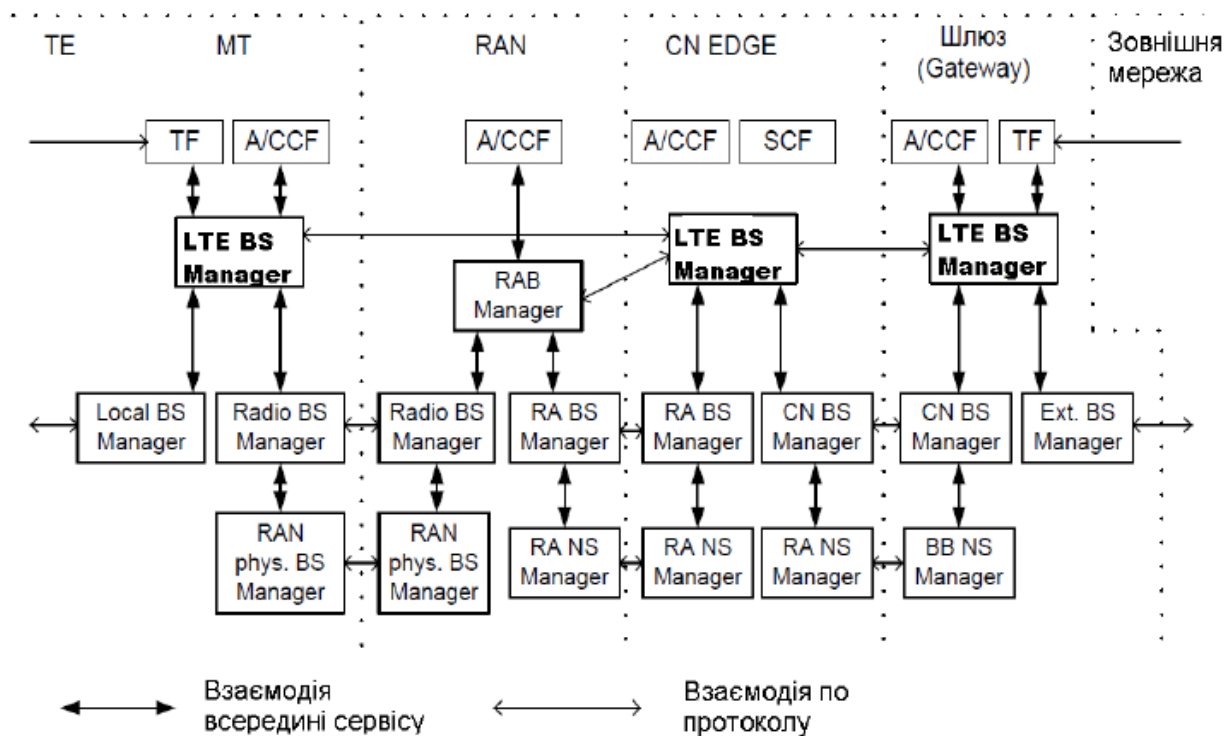


Рисунок 2.1 – Функції керування якістю передачі даних у площині управління

Функція керування послугою розташована в базовій мережі та може встановити або змінити функцію передавання даних за допомогою функції трансляції. Крім того, вона використовує функцію управління можливостями для визначення наявності необхідних ресурсів для послуги, а також функцію керування підпискою для визначення прав абонентів на одержання цієї послуги.

Концепція надання послуг визначає чотири класи трафіку:

- голосовий;
- потоковий;
- інтерактивний;
- фоновий.

Чутливість до затримок є основною відмінністю між переліченими класами. Зокрема, голосовий трафік є найбільш чутливим, тоді як фоновий трафік є найменш чутливим. Класи поточкового та голосового трафіку призначені для використання в режимі реального часу. Інтернет-додатки, такі як інтернет-навігація та електронна пошта, використовують інтерактивні та фонові класи. У порівнянні з трафіком фонового класу інтерактивний трафік має більший пріоритет.

2.2 Функціональна модель передачі даних

При обслуговуванні потоків першого типу необхідно гарантувати максимальну швидкість передавання даних. Обслуговування потоку другого типу вимагає дотримання двох умов: затримка передачі пакетів не повинна перевищувати допустиму; кількість пакетів, затримка передачі яких перевищує граничне значення, має бути нижче граничного значення.

Якість передачі даних залежить від планування пакетної передачі та використання ресурсів радіоканалів. Планувальник — це алгоритм, який відповідає за планування радіоресурсів. Існуючі планувальники розроблені для роботи як з потоками, чутливими до затримок [12], так і з потоками, нечутливими до затримок [10]. Планувальники розподіляють пакети між окремими абонентами,

що дозволяє підвищити пропускну здатність і покращення якості послуги шляхом відстеження змін параметрів каналів і надання пріоритетного обслуговування абонентам з кращими параметрами та затриманням обслуговування абонентів з гіршими параметрами. Виграш від багатокористувацького рознесення є результатом цього.

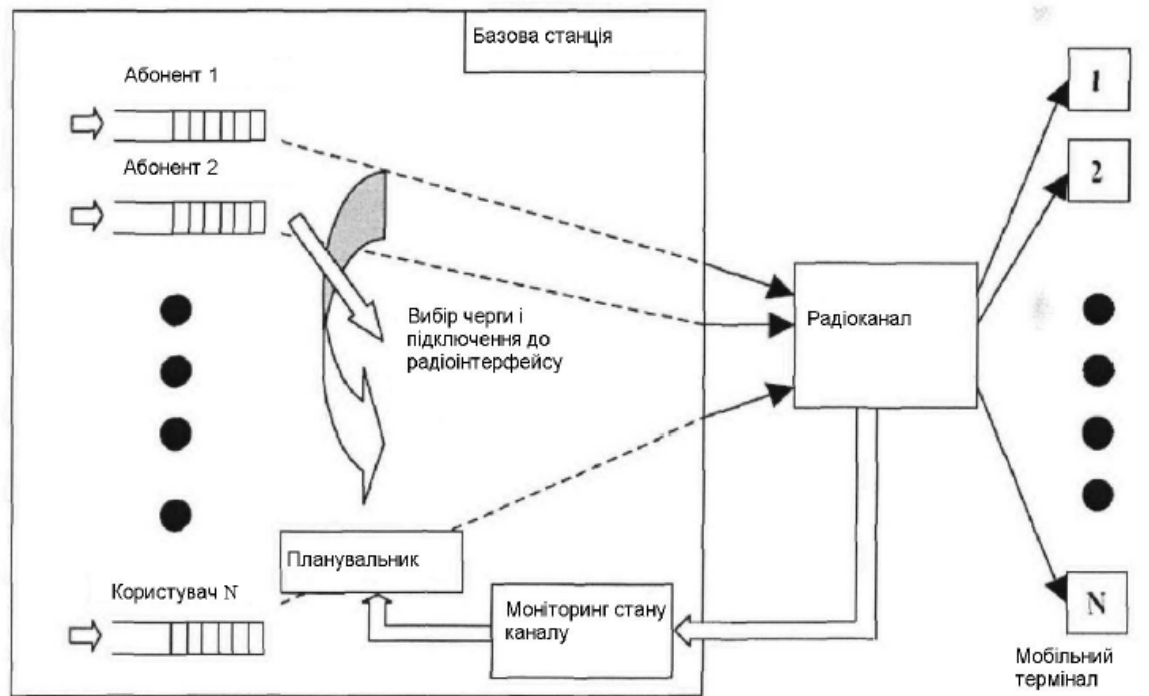


Рисунок 2.2 – Робота планувальника пакетів

На ефективність мережі і показники якості значно впливає тип планувальника. Так, планувальник використовується для максимізації секторної пропускну здатності, вибираючи абонента для обслуговування, щоб максимізувати співвідношення сигналу та шуму на вході приймача. У цьому випадку робота з абонентами з поганим станом каналів зв'язку може призупинитися, доки на вході приймача не підвищиться співвідношення сигналу до шуму. Подібний механізм планування для надання послуг, які вимагають затримок, не може дотримуватися строгих часових рамок, оскільки максимізація секторної пропускну здатності та вибір параметрів затримок для обслуговування абонентів взає-

мозалежні. Неможливо максимізувати пропускну здатність і водночас підтримуючи однакове значення затримки для всіх користувачів.

2.3 Планувальників пакетів прямих каналів

Розглянемо, як працюють планувальники пакетів, використовуючи алгоритми Round Robin, Equal Latency та Relative Fairness. Алгоритм Round Robin призначає окремі часові слоти кожному клієнту один раз за весь період планування. Припустимо, що у стільнику є N абонентських станцій, і згідно з наступним принципом n -му абонентському терміналу призначається поточний часовий слот i :

$$n = \left\{ \frac{i-1}{N} - \left[i - \frac{1}{N} \right] \right\} N + 1. \quad (2.1)$$

Планування рівномірного типу досягається, коли кількість часових слотів, наданих різним абонентам, є однаковою, і абонентській станції надається швидкість відповідно до стану каналу. Припустимо, що територію всіх абонентів можна розділити на N класів відповідно до значення сигналу/шуму на вході абонентської станції та максимальної швидкості передачі даних на лінії "вверх". Приймаємо, що абоненти класу n мають здатність отримувати пакети зі швидкістю R_n кбіт/с. P_n є ймовірністю того, що абонент належить до n класу. Таким чином визначається середня швидкість передачі в регіоні:

$$R_{\text{сеп}} = \sum_{i=0}^N P_{ni} R_{ni}. \quad (2.2)$$

Таким чином, планувальник Round Robin рівномірно розподіляє ресурси каналу між активними абонентами, не беручи до уваги якість каналу чи величину затримок для різних алгоритмів.

Коли цей алгоритм використовується, абоненти з меншими значеннями сигналу та шуму матимуть нижчу швидкість передачі та вищу затримку. Якщо абонент класу n повинен передати інформацію в розмірі B біт, час, необхідний для передачі, складатиметься з B/R_n , а затримка буде обернено пропорційна величині R_n .

У алгоритмі Equal Latency число часових слотів, наданих кожному користувачеві, обернено пропорційна швидкості передачі даних. Приймаємо, що кількість часових слотів, які виділяються абонентом класу n , називається F_n , де $F_n = k/R_n$. Таким чином, середня швидкість передавання даних у певній області:

$$\frac{\sum_{i=1}^{P_n} P_{ni} R_{ni} F_{ni}}{\sum_{i=1}^N P_{ni} F_{ni}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N P_{ni} / F_{ni}} . \quad (2.3)$$

Алгоритм відносної справедливості гарантує максимізацію пропускної здатності, зберігаючи при цьому визначене відношення максимальної затримки до мінімальної затримки $L_{\max}/L_{\min}$. Пропускна здатність може бути визначена таким чином:

$$R_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} P_{ni} + \sum_{i=n_0}^l P_{ni} (L_{\max}/L_{\min})}{\sum_{i=1}^{n_0} P_{ni} / R_{ni} + \sum_{i=n_0}^l P_{ni} (L_{\max}/L_{\min})} , \quad (2.4)$$

Абоненти класу n , які дорівнюють R_n , мають здатність приймати пакети зі швидкістю R_n , кбіт/с, якщо $R_n < R_{\max}$ при $n < n_0$ і $R_n > R_{\max}$ при $n > n_0$.

Оцінка пропускної здатності для алгоритмів планувальників пакетів можлива за допомогою формул (2.1)–(2.2). Для цього необхідно визначити розподіл

ймовірностей P_n потенційних швидкостей R_n . Цей розподіл пов'язаний з відношенням сигналу до шуму на вході абонентської станції.

Застосуємо таку системну модель: мобільна структура є однорідною та має постійну щільність трафіку абонента; логнормальні завмирання рівня сигналу враховуються, короточасні швидкі релеївські завмирання не враховуються.

Втрати сигналу між абонентською станцією та i -ою базовою станцією визначаються таким чином

$$L_i(r, \theta) = D^{-l} K_i, \quad (2.5)$$

де D – це відстань між i -ою базовою станцією і абонентською станцією;

l – це показник ступеня втрат на трасі;

K_i – це випадкова величина з логнормальним закон розподілу.

Використовуючи формули (2.1) - (2.5), можна визначити пропускну здатність системи для різних алгоритмів планування. Завдяки введенню вагових коефіцієнтів розглянуті планувальники пакетів можна змінити, щоб задовольнити різні потреби клієнтів щодо якості обслуговування.

2.4 Процес управління передчею потоків

У мережах мобільного зв'язку існують різні класи еластичного трафіку, включаючи трафік, який може адаптуватися до змін затримки і пропускну здатності під час передачі, щоб задовольнити потреби окремих додатків. Основними характеристиками цього типу трафіку є мала інтенсивність надходження викликів і короткий час обслуговування. Швидкість передачі еластичного трафіку здатна змінюватися в досить широких межах, коли змінюється навантаження на мобільній мережі. З іншого боку, у системах M2M трафіку від різних систем може значно збільшитися в результаті нештатних ситуацій у стільнику. У деяких випадках системи M2M можуть значно збільшити навантаження на мере-

жу, а трафік від них набуває нестабільного характеру та викликає пікові викиди пакетів. Якщо в мобільній мережі відсутні механізми управління різноманітним трафіком, можуть мати місце значні втрати одного з видів трафіку.

У [5] розглядається модель обслуговування різноманітного трафіку в мережі; також обґрунтовано, що необхідно розробити адаптивні інструменти для управління передачею еластичного трафіку, щоб зменшити втрати, пов'язані з обмеженими ресурсами мережі. Резервування ресурсів є відомим методом гарантування якості обслуговування. До початку передачі ресурси резервуються для конктертоно потоку. Після резервування цей потік надсилається в зазначеній якості. Механізми управління трафіком, такі як планування черг, управління доступом тощо, повинні доповнювати резервування запасів, щоб забезпечити високу якість обслуговування. Розробка алгоритмів доступу для еластичних і реальних потоків мобільних мереж є важливою.

Алгоритми управління доступом зараз керують кожною новою заявкою на трафік у мобільних мережах [13]. Ці алгоритми визначають, чи може новий трафік перевантажувати мережу або погіршити якість обслуговування трафіку, який вже є в мережі. Алгоритми планування та організації черг пакетів дозволяють обмежити пропускну здатність на виході вузлів, тим самим розподіляючи її між різними потоками відповідно до вимог до пропускну здатності кожного потоку.

2.5 Особливості керування трафіком користувача

Перевантаження радіоресурсів окремого фрагмента мережі може призвести до значного зниження пропускну здатності цього фрагмента. Це трапляється, коли їх захоплюють інтенсивніші потоки користувачів певних класів, а інші користувачі повністю блокуються. Перевантаження, спричинені значним зростом інтенсивності потоку заявок на виходах вузла, найчастіше викликають локальне керування на вузлах, які обмежують обсяг ресурсів. Підвищення пропускну здатності мобільної мережі тех можливе за допомогою динамічного уп-

равління потоками користувальницької інформації. Це означає управління вхідними та вихідними навантаженнями на вузлах стільникової мережі зв'язку та адаптивну диспетчеризацію їхніх програм.

Автоматична функція мережі SON, яка базується на трьох принципах: самоконфігурація, самооптимізація та самовідновлення, відповідає за керування мережею. Самоконфігурація дозволяє швидше розгортання мережі завдяки скороченню ручних процедур, необхідних для планування, налаштування та введення в експлуатацію нового абонентського обладнання eNB.

Потрібно розробити математичні моделі, щоб підвищити ефективність сумісного надходження та обслуговування заявок на передавання різнорідного трафіку від комунікаційних додатків. Крім того, потрібно провести дослідження розробленої моделі, щоб сформулювати рекомендації щодо її застосування. Мінімальні та максимальні допустимі швидкості передачі еластичного трафіку повинні бути визначені за допомогою чисельних значень.

На вузлах мобільних мереж виконується таке управління, яке обмежує загальну кількість заявок на вузлі або кількість ресурсів, виділених для абонентів з різними класами обслуговування.

Алгоритми SON (Self Organizing Networks) призначені для динамічного управління потоками в мережі [4]. Дві нові функції, автоматична самооптимізація управління мережею SON і ієрархічне управління мережею, були додані до архітектури SAE. SON стандартизував свої функції та працює над створенням алгоритмів адаптивного управління. Вони в цілому дозволяють розширити сферу автоматизації операцій, пов'язаних із управлінням мережею.

Принцип самоконфігурації SON передбачає налаштування на будь-яку мережеву структуру:

- централізовану, де алгоритми функцій SON розміщуються в елементах системи управління на окремих серверах, які керують базовими станціями eNodeB, така архітектура є нестійкою з точки зору надійності;

- розподілену, де алгоритми функцій SON реалізовані безпосередньо на кожній базовій станції, що дозволяє самостійно керувати окремою станцією на основі результатів вимірювань;

- змішану, при цьому використовується комбіноване викорінення, що робить систему управління більш гнучкою, але при цьому ускладнює загальні процедури; -

За допомогою другого принципу оптимізації SON можна максимізувати ефективність функціонування обладнання базової станції eNodeB за рахунок зниження інтерференції, економії енергії, ємності стільників, максимальної дальності покриття.

Розглянемо самооптимізацію більш детально. Виконуються такі функції управління:

1. Координація міжмобільної взаємодії ICIC. Вплив сусідніх комірок, який виникає в результаті використання однієї робочої частоти в мережі, відомий як міжмобільна інтерференція, є основною причиною внутрішньосистемних завад у мережах. Можна пояснити перевагу цієї завади тим, що частотно-часовий ресурс комірки є ортогональним. Таким чином, кожній абонентській станції виділяється ресурсний блок, який не може бути перекритий. Крім того, за допомогою цієї функції можна обмежити потужність передавання окремих блоків.

2. Координація радіопокриття мереж четвертого і мереж третього покоління. Коли мережа четвертого покоління розташована «поверх» мережі третього покоління з несучільним радіопокриттям, функція SON використовує ресурси обох поколінь для передачі даних у розривах радіопокриття. Крім того, це дозволяє вирішувати різноманітні проблеми перерозподілу потоків трафіку. Наприклад, можна звільнити мережу четвертого покоління від голосового трафіку, перемістити його в мережі третього покоління, а також перемістити високошвидкісний трафік в мережу четвертого покоління.

3. Мінімізація кількості вимірювань і перевірочних тестів. Рекомендується виконувати тести мережі на різних етапах її функціонування під час процесу

отримання автоматичних даних про стан мережі від абонентських станцій. Це дозволить значно знизити витрати на обслуговування мережі.

Відповідно до третього принципу SON, самовідновлення дозволяє службі експлуатації відновити мережу в напівавтоматичному режимі в разі збою, обов'язково виконуючи функції початкової діагностики роботоздатності мережі.

Алгоритми SON вбудовані в апаратне забезпечення кожного вузла мережі. У смартфонах встановлюється спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє користувачам отримувати інформацію про якість зв'язку. Базова станція використовується як концентратор, щоб збирати та передавати статистику про характеристики радіотракта.

При проєктуванні та впровадженні мереж для оператора важливими є можливі терміни окупності обладнання та обсяг ресурсів мережі, необхідних для задоволення різноманітних вимог до якості. Під час впровадження нових технологій аналітичне та імітаційне моделювання є єдиними можливими інструментами. Дискретно-подієва архітектура є найпоширенішою архітектурою симуляторів. Основним компонентом моделювання є подія, яка відбувається в певний момент часу та змінює стан системи. Приклади подій, які відбуваються, включають початок і закінчення розмови, встановлення відеоз'єднання, зміну кодека, зміну швидкості передачі тощо. Можливо моделювати радіоканал або алгоритми управління іпротоколами, а також моделювати трафік, мобільність абонентів, профілі їх обслуговування.

2.6 Моделювання каналу передачі

Тестування та оцінювання продуктивності каналів і ресурсних блоків можна здійснити за допомогою програмного пакета MATLAB. В якості вихідних даних було обрано R.12 як тип каналу передачі, а режим передачі в обох напрямках був часовим дуплексом. Кількість переданих кадрів становила 8. Для каналу передачі R.12 кількість ресурсних блоків – 6, а кількість антен – рівень 4. Інтерфейс містить усі необхідні налаштування перед генерацією сигналу (рис. 2.3).

The screenshot shows the 'LTE Downlink RMC Generator' window. It contains several sections for configuring the RMC waveform:

- Reference channel:** R.12 (TxDiver...)
- Duplex mode:** TDD
- Transmission scheme:** TxDiversity
- Cell identity:** 0
- RNTI:** 1
- RV sequence:** [0 1 2 3]
- Rho (dB):** 0
- OCNG:** Off
- Number of subframes:** 8
- Number of codewords:** 1
- PMI set:** [1]
- Number of HARQ processes:** 7
- Windowing (samples):** 0
- Waveform output variable:** rmcwaveform
- Resource grid output variable:** rmcgrid
- RMC configuration output variable:** rmcconfig

RMC parameter summary:

Parameter	Value
Transmission scheme	TxDiversity
Number of downlink resource blocks	6
Number of allocated resource blocks	6
Cell-specific reference signal ports	4
Modulation scheme	QPSK
Transmission layers	4
Total info bits per frame per codeword	1024 bits

Note: * indicates value can change per subframe

Codeword input data:

- Transport info bit stream (codeword 1): User defined [1; 0; 0; 1]
- Transport info bit stream (codeword 2): User defined [1; 0; 0; 1]

Buttons: Generate waveform, Help

Рисунок 2.3 – Параметри каналів передачі даних

Наступним кроком є генерація вихідного сигналу та побудови графіки. Графік, представлений на рис. 2.4, містить вісім кадрів комплексного сигналу контрольно-вимірювального каналу.

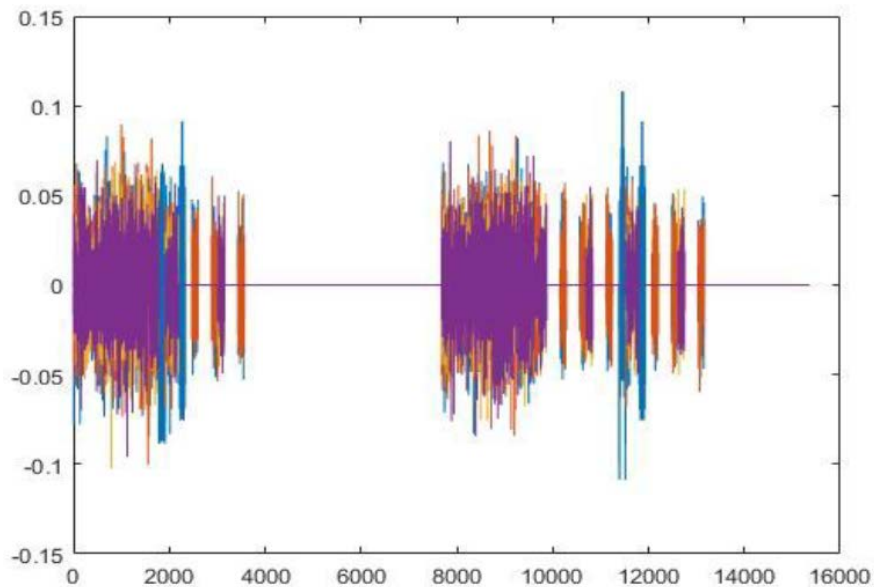


Рисунок 2.4 – Дійсна складова комплексного сигналу

MATLAB створює точно такий же сигнал. Далі випадковим чином створюються дані у діапазонах часу та частоти. Після завершення процесу на екрані відображається спектр сигналу. На рис. 2.5 показано, як шість ресурсних блоків контролюю-вимірювального каналу генерують смугу сигналу у 1 МГц.

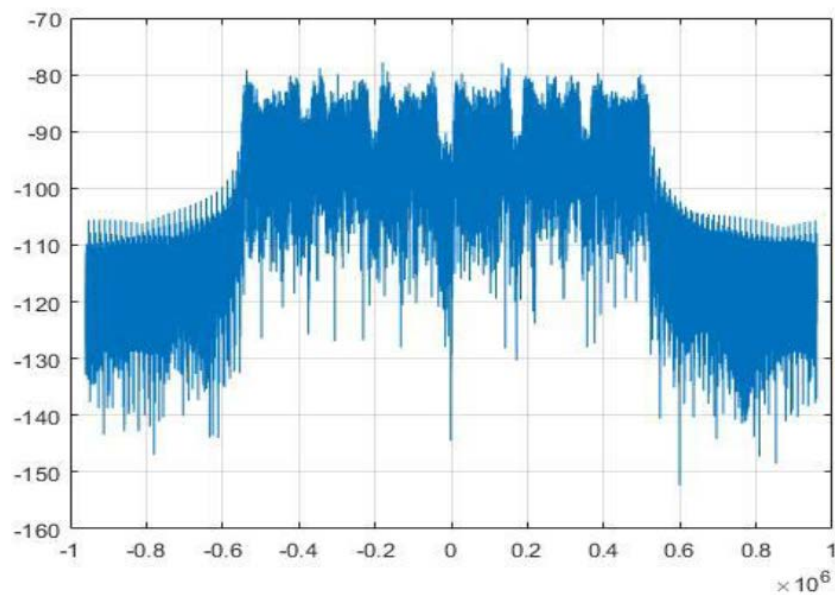


Рисунок 2.5 – Спектр сигналу

Наступним кроком є створення частотно-часової ресурсної сітки. Сигнал, готовий для передавання в ефір, отримується при виведенні функції генерації OFDM-символів (рисунок 2.6).

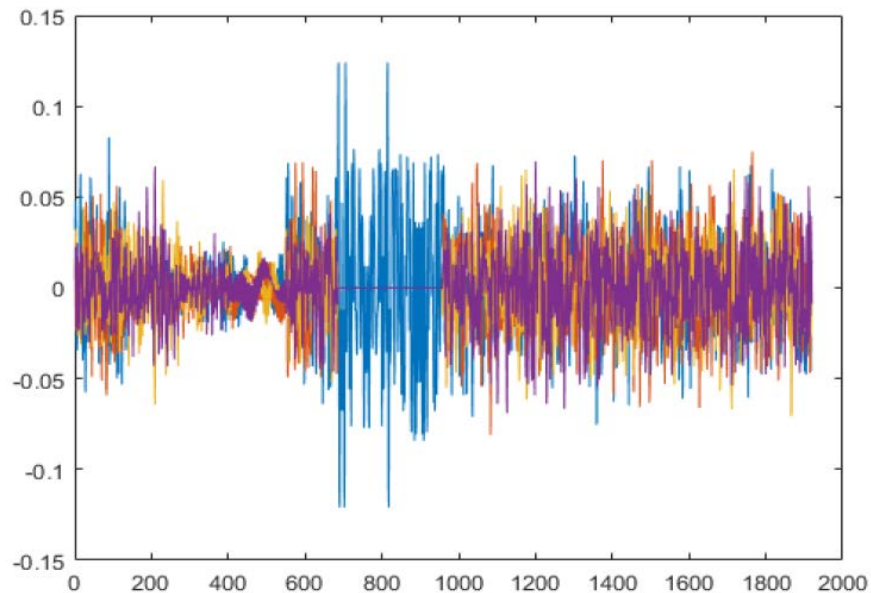


Рисунок 2.6 – Готовий для передачі в ефір сигнал

Після цього радіоканал потрібно перевірити на пропускну здатність при співвідношеннях сигнал/шум 2,3, 0,9 і 3,3. Тестування пропускну здатності проводиться за допомогою одного кадру. Після цього було визначено найменшу пропускну здатність висхідного каналу зв'язку за певним співвідношенням сигналу та шуму. У процесі генерації сигналу шум каналу додається до попереднього сигналу, а потім сигнал демодулюється. За результатами дослідження визначається ресурсна мережа для кожної антени. Оцінка пропускну здатності каналу проводиться для визначення пропускну здатності між кожною парою антен і кожною передачею. Пропускна здатність каналу представлена як у Мбіт/с, так і у відсотках від загального обсягу ємності фрагмента мережі, як показано на рис. 2.7–2.8.

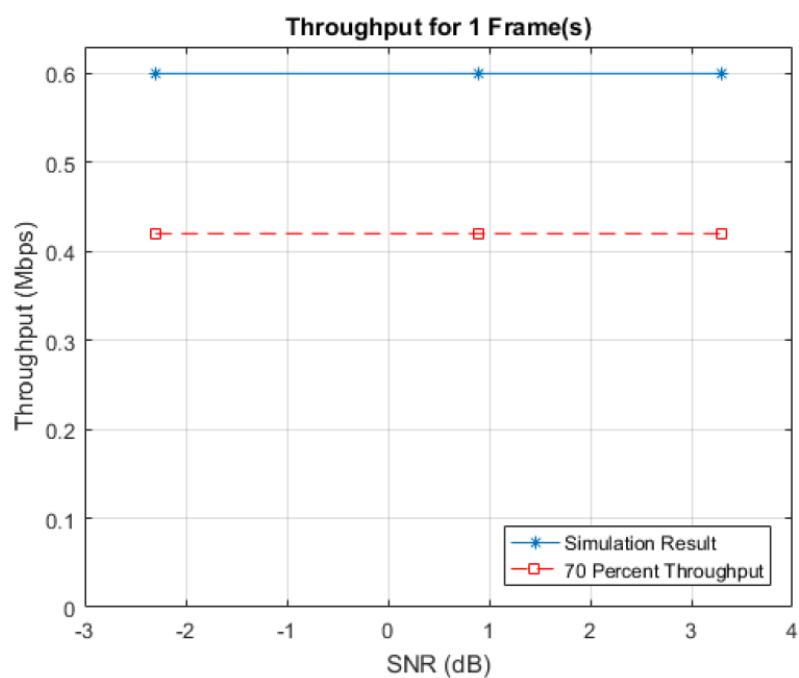


Рисунок 2.7 – Графік пропускної здатності каналу в Мбіт/с

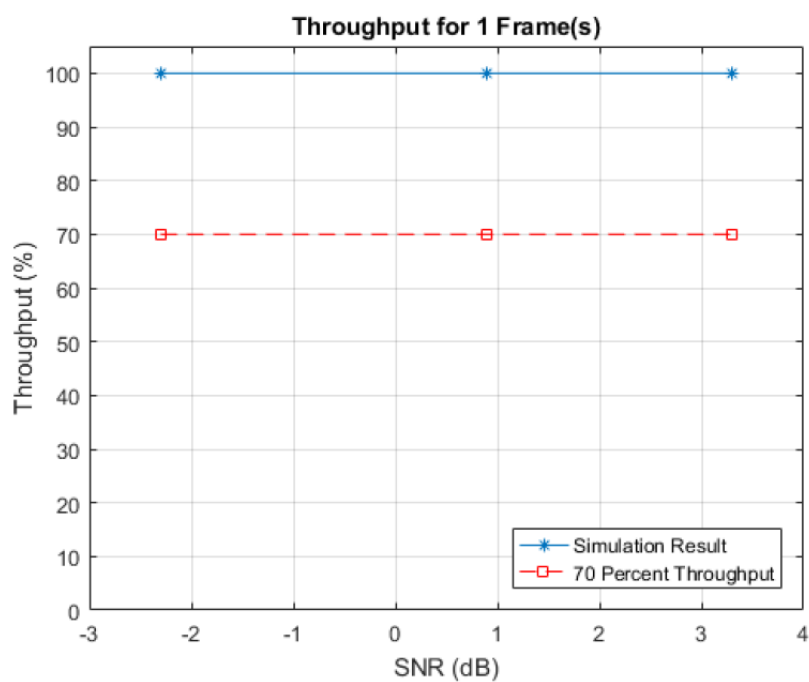


Рисунок 2.8 – Графік пропускної здатності у відсотках

Спектр дослідженого сигналу показано на рис. 2.9. У нижньому каналі передачі сигнал зображений жовтим, а у верхньому каналі зображений синім.

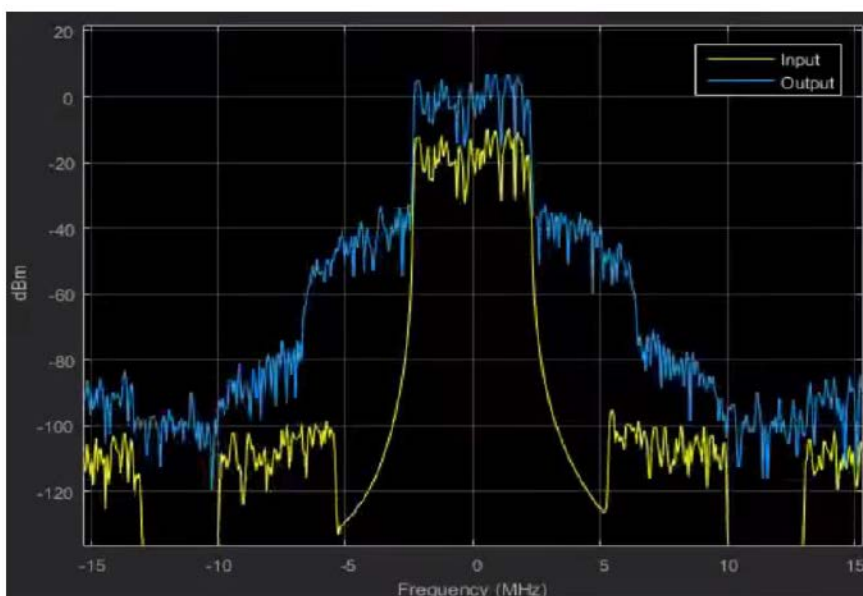


Рисунок 2.9 – Спектри сигналів низхідного та висхідного каналів

На рис. 2.10 зображено спотворення символів OFDM у частотно-часовому фазовому сузір'ї.

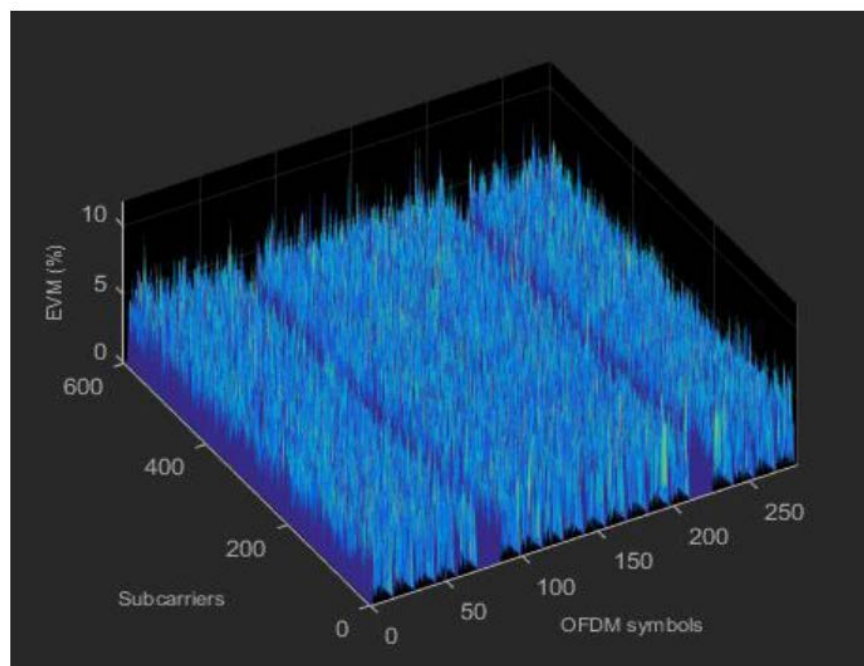


Рисунок 2.10 – Спотворення у частотно-часовому фазовому сузір'ї

3 АЛГОРИТМ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Стандарти обслуговування черги пропонується застосовувати на каналному рівні, щоб зменшити наслідки короточасних відмов каналу зв'язку, які можуть виникнути через інтерференцію чи низький рівень сигналу в мережах. В основі лежать такі ідеї. По-перше, базова станція не повинна зменшувати обсяг каналних ресурсів, необхідних для обслуговування користувачів, для яких не було відмови каналу, щоб не погіршити якість передавання потоку. По-друге, щоб зменшити втрати якості передавання потоку користувачам, які зазнали відмови каналу, базова станція не повинна відкидати пакет після досягнення максимальної кількості спроб передавання пакета. Це дозволяє пакетам передаватися до тих пір, поки не буде перевищено обмеження на час доставляння пакета. Пропонується використовувати змінену дисципліну обслуговування черги замість стандартної дисципліни FIFO для поєднання вказаних двох ідей. Перед відправкою пакета першому користувачу, у якого була відмова каналу, базова станція обов'язково перевіряє, чи може передача призвести до втрати пакетів іншими користувачами.

3.1 Алгоритм обслуговування черги каналного рівня

Коли станція вибере наступний пакет передачі, вона буде повторно переглядати чергу відповідно до цих правил [10].

По-перше, P_i є ймовірністю вибору пакету, адресованого i -тому абоненту. Таким чином, з ймовірністю $1-P_i$ буде розглянуто наступний пакет у черзі. По-друге, якщо другий пакет користувача уже розглядався як потенційний пакет для передачі під час поточного перегляду черги, але не було обрано для передачі, наступний пакет в черзі буде розглянуто. Це означає, що лише перший пакет абонента розглядається під час одного перегляду черги. По-третє, коли черга досягає кінця, це означає завершення поточного перегляду черги. Якщо не виб-

рано пакет для передавання або черга не порожня, перегляд черги запускається з початку.

Останнє, але не менш важливе, базова станція відмовляється від процедури передавання пакета, якщо черга порожня. Після цього вибору спочатку робиться спроба його передати через канал зв'язку. Пакет видаляється з черги, коли він надсилається успішно, і базова станція розпочинає перегляд черги заново. Базова станція робить додаткові спроби передачі цього пакета, якщо перша спроба невдала. Якщо всі спроби передачі пакета, відведені стандартом, виявляються невдалими, пакет не видаляється з черги. Факт відмови каналу повідомляється абоненту, а базова станція розпочинає перегляд черги заново.

Приклад базової модифікованої дисципліни обслуговування черги наведено в рис. 3.1. В цьому випадку у черзі є пакети, призначені для трьох користувачів. Згідно з алгоритмом, який було розглянуто, лише головні пакети кожного абонента (наприклад, пакети 1, 4, 6) розглядаються як кандидати для передачі.

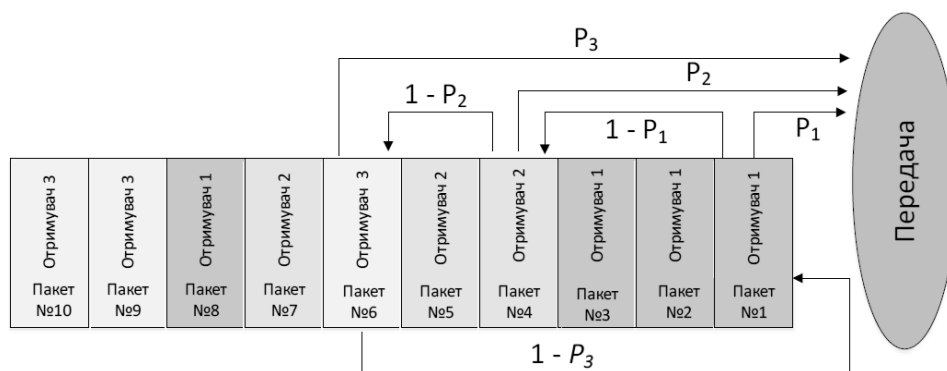


Рисунок 3.1 – Приклад функціонування дисципліни обслуговування черги

У першу чергу буде розглянуто перший пакет. Із ймовірністю P_1 робиться спроба його передачі. Наступний пакет абонента розглядається як кандидат на передачу з ймовірністю $1 - P_1$. Спроба передавання пакета останнього абонента буде реалізована з ймовірністю P_3 , коли алгоритм перегляду черги досягає пакета останнього абонента. З ймовірністю $1 - P_3$ алгоритм знову почне розглядатися як кандидат на передачу першого пакета з черги. Таким чином, спроба

передачі пакета з номерами 1, 4, 6 буде реалізована завдяки роботі алгоритму, який розглядається. Якщо остання спроба передачі пакета буде успішною, то якість каналу вважається достатньо високою, а значення ймовірності P_i вибирається рівним одиниці.

Щоб уникнути блокування інших користувачів і дозволити передачі пакетів, адресованих їм, значення ймовірності зменшується, якщо останні спроби передачі пакета виявилися невдалими. Припускаємо, що пакети від X отримувачів завжди присутні в черзі, а для Y відмова каналу, щоб визначити значення ймовірностей P_i . P є ймовірністю вибору пакету для передачі незадоволеному абоненту з незадоволеною якістю, для якого мала місце відмова каналу. Якщо якість каналу хороша, t_1 буде середнім часом обслуговування пакета, а t_2 буде середнім часом обслуговування пакета у випадку відмови каналу. Значення t_1 і t_2 можна визначити шляхом теоретичного розрахунку або збору статистичних даних [16]:

$$t_1 = T + \frac{CW_{\min} - 1}{2} \cdot \tau^{\text{slot}} +$$

$$+ \sum_{k=1}^{RL-1} \left[T + \frac{\min(CW_{\max}, 2^k CW_{\min}) - 1}{2} \tau^{\text{slot}} \right] (1 - p)^k,$$

$$t_2 = \sum_{k=1}^{RL-1} \left[T + \frac{\min(CW_{\max}, 2^k CW_{\min}) - 1}{2} \tau^{\text{slot}} \right],$$

де T – час передавання пакета і кадру підтвердження, вони визначаються швидкістю передавання, розміром пакетів і протоколом фізичного рівня;

τ^{slot} – тривалість часового слоту, вона визначається протоколом фізичного рівня;

$CW_{\min}$ – це мінімальний розмір конкурентного вікна;

$CW_{\max}$ – це максимальний розмір конкурентного вікна.

При розрахунках припускаємо, що спроба передачі пакета поза інтервалом відмови каналу виявляється успішною з ймовірністю p , спроба передачі пакета завжди є невдалою у інтервалі відмови каналу, а кадр підтвердження доставляється успішно завжди через малий розмір. При наступній спробі значення величини конкурентного вікна подвоюється до значення CW_{max} . У випадку, якщо всі відеопотоки мають однакову інтенсивність, на один відеопотік в середньому припадає $r = 1/X$ каналних ресурсів. Ймовірність того, що один із абонентів задоволений якістю, становить $1-P$, оскільки P — ймовірність вибору пакету обслуговування. Тоді частина каналних ресурсів використовується абонентами, які незадоволені якістю:

$$r = \frac{P \cdot t_2}{t_1 - P \cdot (t_1 + t_2)}.$$

Для того, щоб ресурси, виділені на обслуговування задоволених якостей абонентів, залишалися достатніми, необхідно виконати наступну умову:

$$\frac{P \cdot t_2}{t_1 - P \cdot (t_1 + t_2)} = \frac{Y}{X}$$

Значення ймовірності знаходять за співвідношенням $\sigma = t_1/t_2$:

$$P = \frac{Y \cdot \sigma}{X - Y + Y \cdot \sigma}.$$

Значення ймовірностей P_i можна знайти за збереженим значенням P , де $i = 1, \dots, Y$. Припустимо, що абоненти були пронумеровані відповідно до порядку, в якому вони знаходяться у своїх основних пакетах у черзі. У більшості випадків головні пакети для незадоволених абонентів стоять попереду пакетів для

задоволених абонентів. Таким чином, ми вважаємо, що перші Y -абоненти незадоволені якістю. Відповідне співвідношення повинно бути таким:

$$P_1 = P_2 - P_1 P_2.$$

Розглядаючи кожного із Y абонентів, які незадоволені якістю, послідовно одержуємо:

$$P_2 = P_3 - P_2 P_3$$

$$\dots$$

$$P_{Y-1} = P_Y - P_{Y-1} P_Y.$$

$\prod_{i=1}^Y (1 - P_i) X$ – це ймовірність того, що жодна з незадоволених якістю абонентів Y не отримає пакет обслуговування. Тим не менш, ця ж сама ймовірність за формулюванням становить $1 - P$. Таким чином, потрібно виконати наступну рівність:

$$1 - P = \prod_{i=1}^Z (1 - P_i).$$

3.2 Алгоритм вибору пакета

Значення ймовірності P_i вибору пакета для передачі i -му абоненту визначаються відповідно до базової модифікованої дисципліни обслуговування черги, яка припускає, що на кожен відеопотік витрачається однакове число ресурсів базової станції. Таке припущення звужує діапазон використання основної модифікованої дисципліни обслуговування черги, оскільки відеопотоки можуть значно відрізнятися за структурою та інтенсивністю. Незважаючи на те, що потоки можуть бути ідентичними, якість каналу зв'язку для різних абонентів мо-

же відрізнятися, що призводить до відмінностей у тривалості обслуговування пакета. Крім того, пакети незадоволеної якості абонента можуть втрачатися пізніше, ніж просто під час відмови каналу для незадоволеного абонента. Це пов'язано з тим, що на початку черги відмови каналу зв'язку утворюється велика кількість пакетів для незадоволеного абонента, а послідовна передача завершення відмови каналу потребує багато часу, що призводить до значної паузи в обслуговуванні пакетів для задоволеного абонента. якість. Покращена модифікована процедура обслуговування черги передачі пакетів має два етапи, на відміну від відомої базової процедури, яка вирішує проблему блокування головного пакету черги лише тоді, коли якість з'єднання погіршується для незадоволених абонентів. Перший етап безпосередньо стосується періоду часу, протягом якого відбувається погіршення якості з'єднання для абонентів, які не задоволені якістю. Другий етап — це час, протягом якого система відновлюється до нормального стану після завершення відмови. На відміну від базової, ця дисципліна на першому етапі враховує відмінність у часі обслуговування та інтенсивність відеопотоків. Це також дозволяє швидше визначити момент припинення каналу для незадоволеного абонента. На другому етапі дисципліна враховує той факт, що обслуговування пакетів для незадоволених абонентів на початку черги може призвести до вповільнення обслуговування пакетів для абонентів, які задоволені якістю. У результаті ці пакети можуть бути відкинуті, а якість відеопотоків, які отримують абоненти, які задоволені якістю, може погіршитися. Отже, на другому етапі пакети абонентів, які не задоволені якістю, можуть не обслуговуватися, якщо це спричинить відкидання пакетів абонентів, які задоволені якістю.

Таким чином, для врахування відмінностей у інтенсивності відеопотоків та часі обслуговування алгоритм обрахування ймовірності P_i слід змінити на першому етапі функціонування покращеної модифікованої дисципліни.

Припустимо, що базова станція передає відеопотоки X різним абонентам, і в цей момент для абонентів Y відбувається відмова каналу. Нехай потоки, призначені абонентам, для котрих виникла відмова каналу, мають значення $i =$

1,..., Y. У цьому прикладі λ_i — інтенсивність надходження пакетів і-го відеопотоку до черги, тобто кількість пакетів, що надходять за одну секунду, а t_i — це середній час обслуговування одного пакета і-го відеопотоку поза інтервалом відмови каналу. Коли якість каналу для кожного користувача є хорошою, на k-й відеопотік в середньому припадає наступна кількість каналних ресурсів:

$$r = \frac{\lambda_k t_k}{\sum_{i=1}^X \lambda_k t_k}$$

У цьому випадку припускаємо, що мобільна мережа наближається до насичення. Визначаємо значення t_1 і t_2 . На першому етапі функціонування модифікованої дисципліни базова станція робить одну спробу передачі пакета кожному абоненту, який не задоволений якістю. Однак у неї є можливість виконувати такі спроби частіше, що дозволило б швидше знайти відновлення якості з'єднань, використовуючи такий же об'єм каналних ресурсів. З цієї причини значення t_2 є середнім часом, який потрібний для реалізації однієї спроби передачі пакета для незадоволеного абонента якості. З метою визначення значення t_1 потрібно середній час обслуговування пакета поза проміжком відмови каналу усереднити за всіма потоками, для яких відмова каналу не була використана:

$$t_1 = \frac{\sum_{i=Y+1}^X \lambda_i t_i}{\sum_{i=Y+1}^X \lambda_i}.$$

На основі статистичних даних значення λ_i й t_i оцінюють у процесі функціонування мережі.

Обчислимо Р, ймовірність обрання пакету для незадоволеної якості абонентів. Розрахуємо частку каналних ресурсів, яка зайнята отримувачами, незадоволеними якістю, поза інтервалом відмови каналного:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^Y \lambda_i t_i}{\sum_{i=1}^X \lambda_i t_i}.$$

Відмова каналу не має чинити вплив на розподіл каналних ресу-рсів між окремими абонентами, що еквівалентно дотриманню рівності:

$$\frac{P \cdot t_2}{t_1 - P(t_1 + t_2)} = \frac{\sum_{i=1}^Y \lambda_i t_i}{\sum_{i=1}^X \lambda_i t_i}.$$

Тепер введемо такі позначення: $\sigma = \frac{t_1}{t_2}$, $a = \sum_{i=1}^Y \lambda_i t_i$, $b = \sum_{i=1}^X \lambda_i t_i$.

Тоді значення ймовірності:

$$P = \frac{a \cdot \sigma}{b + a \cdot \sigma - a}.$$

Після цього потрібно визначити значення ймовірностей P_i .

Ймовірність передавання P_i стає рівною одиниці 1 після відновлення зв'язку між базовою станцією та i -тим абонентом (рис. 3.2). У цей момент обслуговування починається, а пакети, призначені для конкретного абонента, розміщуються на початку черги. Відповідно до цього, послідовне обслуговування пакетів може зайняти тривалий час, що може призвести до відкидання абонентів із черги пакетів через незадоволену якість (абонент 2, пакети 4, 5, 7 на рис. 3.3). На другому етапі роботи дисципліни рекомендується відкласти передачу пакетів для «незадоволеного якості» отримувача, якщо це може призвести до втрати пакетів отримувачів, задоволених якістю (рис. 3.3).

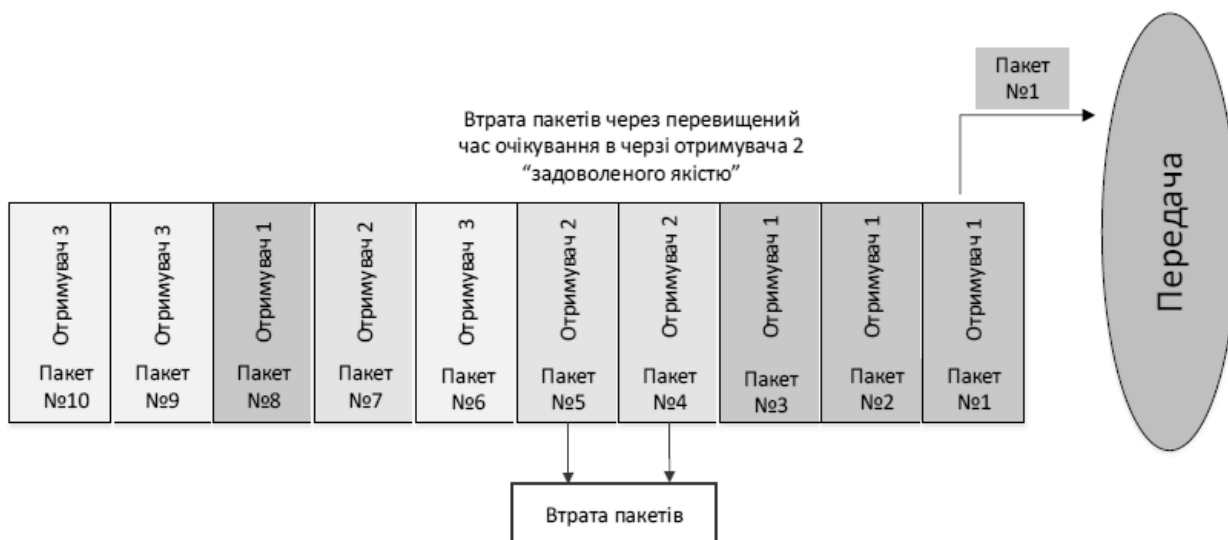


Рисунок 3.2 – Принцип роботи алгоритму обслуговування черг

Базова станція перевіряє, чи може ця передача призвести до втрати пакетів для одного з задоволених абонентів за допомогою модифікованого алгоритму обслуговування черг, який враховує допустимий час очікування перед передаванням пакета першому абоненту, для якого мала місце відмова каналу.



Рисунок 3.3 – Принцип роботи модифікованого алгоритму обслуговування черг

Потім, для кожного пакета задоволених якістю абонентів, котрі розтязані у загальній черзі, необхідно перевірити умова:

$$T_{\max} > t_1 + \sum_{j=4}^i t_j,$$

де $T_{\max}$ – це максимально можливе значення величини затримки i -го пакета,

t_1 – це час обслуговування пакета для абонента, незадоволеного якістю,

t_j – це сумарний час перебування у черзі j -тих пакетів абонентів, задоволених якістю.

Для клієнтів, які задоволені якістю, час перебування пакетів не повинен перевищувати максимально допустиму затримку пакетів, при цьому якість обслуговування відеопотоків реального часу не постраждає. Таким чином, щоб зберегти важливий час очікування у черзі, пакети абонентів, для яких не відбулася відмова каналу, будуть надіслані першими.

3.3 Алгоритмів контролю доступом

Резервування ресурсів є одним із способів гарантувати якість обслуговування в пакетних мережах [4]. Перед початком передачі робиться резервування для потоку заявок на передавання пакетів. Після резервування цей потік передається з певною якістю. Механізми управління доступом і алгоритми планування та організації черг повинні бути додані для забезпечення високої якості обслуговування резервування.

Алгоритми управління доступом визначають, чи може вхідний трафік переважити мережу або погіршити якість обслуговування вже наявного трафіку. Вони контролюють надходження нових за-явок на передавання трафіку через мережу.

Алгоритми планування та організації черг дозволяють обмежити пропускну здатність вузла комутації, розподіляючи її між різними потоками відповідно до вимог до пропускної здатності кожного потоку.

На основі моделі проаналізуємо основні ймовірнісні характеристики моделі передавання трафіку між M2M. Для початку розглянемо моделювання процесу, заснованого на цьому прикладі. Наведемо фіксовані значення вхідних параметрів: $C = 100 \text{ Мбіт/с}$, $c_r = 3 \text{ Мбіт/с}$, $c_1 = 1 \text{ Мбіт/с}$, $c_2 = 5 \text{ Мбіт/с}$, $F = 16 \text{ Мбіт/с}$ і $\mu_r = 1/300$. Прийнемо $T_r = 300 \text{ с}$ – середній час передачі трафіку в реальному часі. Середні мінімальний і максимальний часи передачі файлу $T_{d,1} = F/c_1 = 3,2$ і $T_{d,2} = F/c_2 = 16$.

Прийнемо, що у випадку нестабільної ситуації заявки на передавання трафіку даних поступають у сто разів частіше, ніж заявки на передавання трафіку реального часу, тобто маємо співвідношення $\lambda_r = 100\lambda_d$. Після того, як ми визначимо потенційне завантаження одиниці ресурсу передачі одного стільника ρ , його значення можна знайти за допомогою співвідношення:

$$\rho = \frac{\lambda_r \cdot \frac{1}{\mu_r} \cdot c_r + \lambda_d \cdot F}{C}.$$

Розрахуємо залежності характеристик моделі в зоні перевантаження, збільшуючи ρ до 0,75–1,25. На рис. 3.4 подано результати розрахунку втрат заявок на передачу даних λ_d реального часу і заявок λ_r при значному збільшенні ρ . Втрати заявок очевидно зростають із зростанням завантаження одиниці ресурсу. Коли завантаження системи наближається до одиниці і потім переходить в зону повного навантаження (ρ більше 1), темпи зростання частки втрачених заявок суттєво зростають. Показано, що кількість втрачених заявок на передачу файлів зростає швидше, ніж кількість втрачених заявок на передачу трафіку в реальному часі.

На рис. 3.5 показано результати обчислення частки часу повного завантаження ресурсу стільника π_f при збільшенні завантаження одиниці ресурсу. При збільшенні завантаження одиниці ресурсу стільника до 0,9 ця характеристика отримує значення більше 0,5. Повне завантаження ресурсу стільника скорочується до одиниці, коли параметр ρ збільшується.

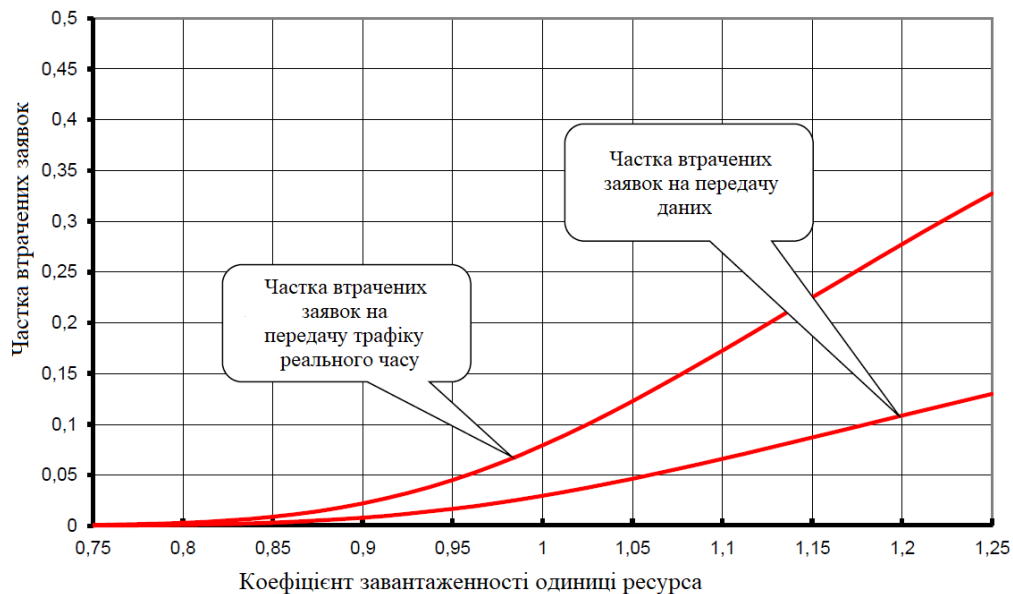


Рисунок 3.4 – Результати обчислення втрат заявок при зростанні мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі корміки вхідним трафіком

На рис. 3.6 показано результати розрахунку середнього числа m_r і m_d , що обслуговуються в стільнику і при різкому збільшенні ρ .

Дослідження показали, що середнє число заявок на обслуговування трафіку реального часу, прийнятих на обслуговування, спочатку зростає, потім зменшується при підвищенні ρ . Це пояснюється тим, що ресурс передачі, необхідний для передачі трафіку в реальному часі, зазвичай менший, ніж необхідний для обробки однієї заявки на передачу файлів. Таким чином, заявки на передачу файлів даних витісняють заявки на передачу трафіку сервісів у режимі реального часу. Цей ефект також відомий при обслуговуванні трафіку реального часу з кількох сервісів [15].

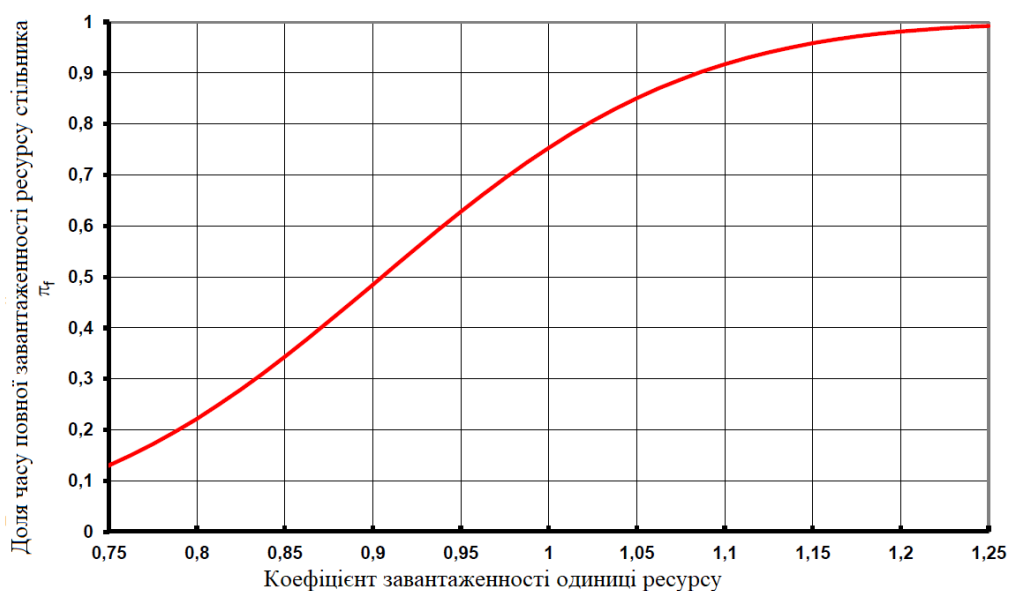


Рисунок 3.5 – Результати обчислення частки часу повного завантаження ресурсу стількомірника при збільшенні мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі комірки вхідним трафіком

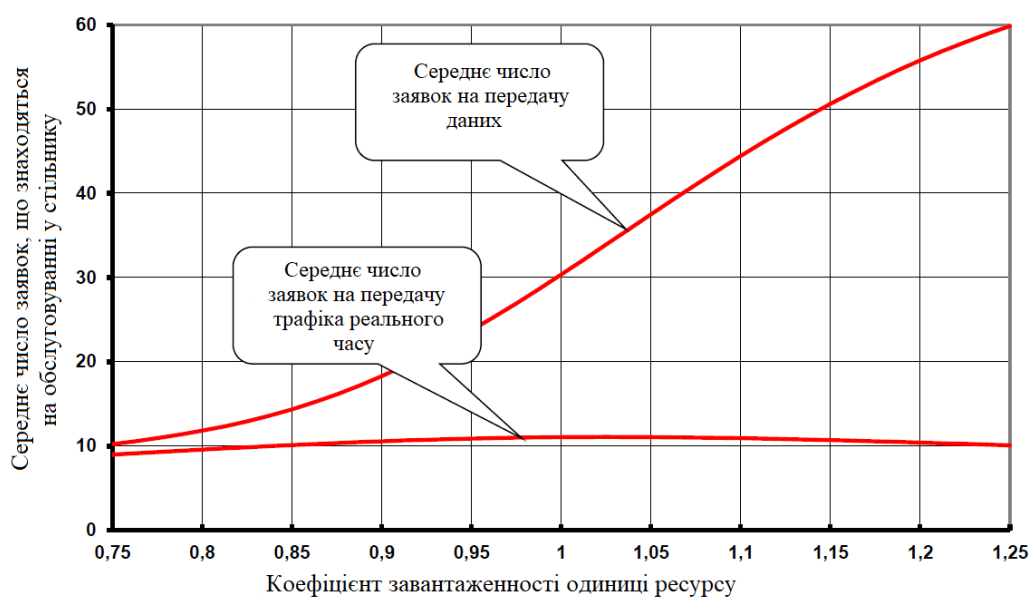


Рисунок 3.6 – Середнє число заявок, розташованих в комірці на обслуговуванні при зростанні завантаження одиниці ресурсу передачі комірки вхідним трафіком

Розглянемо проблему вибору співвідношення між мінімальною швидкістю передачі файлів s_1 і максимальною швидкістю передачі файлів s_2 . Очевидно,

що модель Ерланга описує процес обслуговування даних, коли співвідношення $c_1 = c_2$. Оператор мережі може збільшити швидкість передачі файлів, використовуючи пропускну здатність стільника, не турбуючись про обслуговування трафіку в реальному часі. Продемонструємо це прикладом. Модель стільника має такі чисельні параметри: $C = 100$ Мбіт/с, $c_1 = 1$ Мбіт/с, $c_2 = 1$ Мбіт/с, $c_r = 3$ Мбіт/с, $\mu_r = 1/300$, $F = 16$ Мбіт, $\lambda_r = 0,04$, $\lambda_d = 4$ запити/с. Збільшення c_2 покращує характеристики пропускну здатності стільника за рахунок прискореної передачі трафіку при фіксованих інших значеннях параметрів.

На рис. 3.7 показані результати обчислень, включаючи дані про розрахунок π_r втрат заявок у режимі реального часу та π_d передачі даних, коли швидкість c_2 зростає від 1 Мбіт/с до 40 Мбіт/с. Як і очікувалося, втрати заявок знижуються зі збільшенням швидкості c_2 . Це підтримує заявки на передачу трафіку сервісів у режимі реального часу, а також заявки на передачу даних. Таку залежність створює прискорена звітність ресурсу. Максимальний ефект було досягнуто вже при $c_2 = 10$ Мбіт/с в розглянутих умовах. Значення параметрів незначно змінюються в результаті подальшого збільшення c_2 .



Рисунок 3.7 – Залежність втрат заявок при збільшенні максимальної доступності ресурсу для передачі трафіку даних

3.4 Адаптивний алгоритм

Нечітким регулятором (контролером) FLC приймаються рішення про зміну поточного значення ймовірності скидання/маркування P пакета, що надійшов на основі значень двох вхідних змінних. Перша змінна q_{error} – різниця (поточна помилка) між поточним q та заданим значенням довжини черги Q_{ref} , а в якості другої змінної було запропоновано використовувати інтенсивність трафіку r (*rate*), тобто. відношення кількості отриманих пакетів до максимально можливої переданої кількості за інтервал виміру.

На вхід модуля «Функція управління» модуль «Монітор» передає нормоване значення $q_{errornorm}^i$ відхилення довжини черги від еталонного значення та нормоване значення інтенсивності надходження пакетів на інтервалі Δt_i .

Модуль "Функція керування" використовує значення вхідних параметрів $q_{errornorm}^i$ і r_{norm}^i для розрахунку вихідного параметра – збільшення ймовірності скидання пакету ΔP_i на наступному інтервалі спостереження Δt_{i+1} , $i > 1$. Архітектура нечіткого регулятора, який реалізує функцію управління, показана на рис. 3.8.

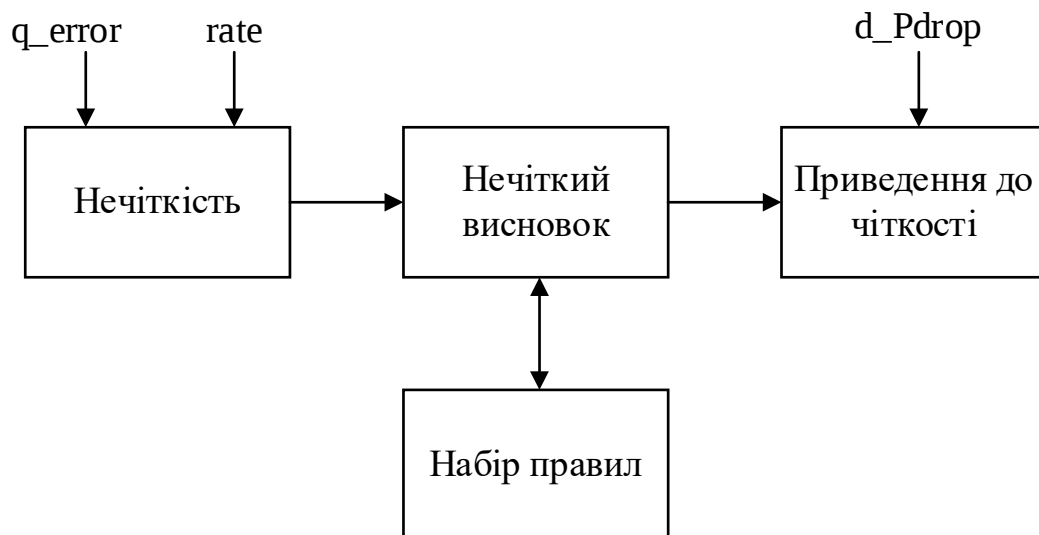


Рисунок 3.8 — Архітектура нечіткого регулятора

Нечіткий регулятор для вхідних змінних обчислює значення функції приналежності μ_x , тобто. ступеня належності нечітким значенням. Функції при-

ладдя вибираються так, що сума значень усіх функцій від вхідний змінної дорівнює одиниці. Нечіткий висновок робиться шляхом операцій над множинами на основі відповідного набору правил, що використовує експертні оцінки.

Відповідно до алгоритму Мамдані, нечіткий висновок робиться на основі набору правил: обчислюється значення істинності для передумови кожного правила (операція *minimum*). Усі нечіткі множини отримані з правил агрегуються разом і формується єдина нечітка множина *C* (Операція *maximum*). Приведення до чіткості виконується зазвичай за допомогою дискретного методу "центру тяжіння".

Дані для форми функцій належності значення (контрольні точки) для вхідних та вихідних змінних наведені в таблицях 3.1 та 3.2 відповідно, де використовуються такі умовні позначення для нечітких множин:

- Z - zero (нуль);
- N - negative (від'ємний);
- P - positive (додатний);
- S - small (малий);
- B - big (великий);
- H - huge (величезний);
- T - tiny (маленький).

Значення двох вхідних змінних, описані за допомогою 7 нечітких величин кожна, дають набір з 49 правил, що відображає всі комбінації значень вхідних змінних. Набір правил, що використовується для нечіткого висновку, показаний в табл. 3.3.

У цій таблиці подано значення вихідної нечіткої величини залежно від двох вхідних нечітких величин. Тобто, якщо значення q_{error} дорівнює "Zero" (нуль), а значення $rate$ дорівнює "Big" (велике), то вихідне значення рівне «Tiny» (малесеньке). Іншими словами, якщо поточне значення довжини черги відповідає заданому значенню, але поточна інтенсивність поступаючого трафіку сильно перевищує інтенсивність обслуговування, то необхідно трохи підвищувати ймовірність скидання/маркування пакетів.

Таблиця 3.1 - Контрольні точки функцій належності вхідних змінних

Нечітка множина	Форма функції	Значення
nh	трапеція	(-1.5,-1.0,-0.75,-0.5)
nb	трикутник	(-0.75,-0.5,-0.25)
ns	трикутник	(-0.5,-0.25,-0.05)
z	трапеція	(-0.25,-0.05,0.05,0.25)
ps	трикутник	(0.05,0.25,0.5)
pb	трикутник	(0.25,0.5,0.75)
ph	трапеція	(0.5,0.75,1.0,1.5)

Таблиця 3.2 - Контрольні точки функцій належності вихідної змінної

Нечітка множина	Форма функції	Значення
nh	трапеція	(-1.5,-1.3,-0.8,-0.6)
nb	трикутник	(-0.8,-0.6,-0.4)
ns	трикутник	(-0.6,-0.4,-0.2)
nt	трикутник	(-0.4,-0.2,0.0)
z	трикутник	(-0.2,0.0,0.2)
t	трикутник	(0.0,0.2,0.4)
s	трикутник	(0.2,0.4,0.6)
b	трикутник	(0.4,0.6,0.8)
h	трапеція	(0.6,0.8,1.3,1.5)

Таблиця 3.3 — Набір правил

	Значення змінної rate							
		NH	NB	NZ	Z	S	B	H
Значення змінної q_{error}	NH	NH	NH	NH	NH	NB	NB	NB
	NB	NH	NH	NB	NB	NS	NS	NS
	NS	NH	NB	NS	NS	NT	NT	NT
	Z	NB	NB	NT	Z	Z	T	T
	S	NS	NS	NT	T	T	S	S
	B	NT	NT	Z	S	S	B	B
	H	Z	Z	T	B	B	H	H

На рис. 3.9 показана графічна інтерпретація нечіткого висновку в програмному забезпеченні Xfuzzy.

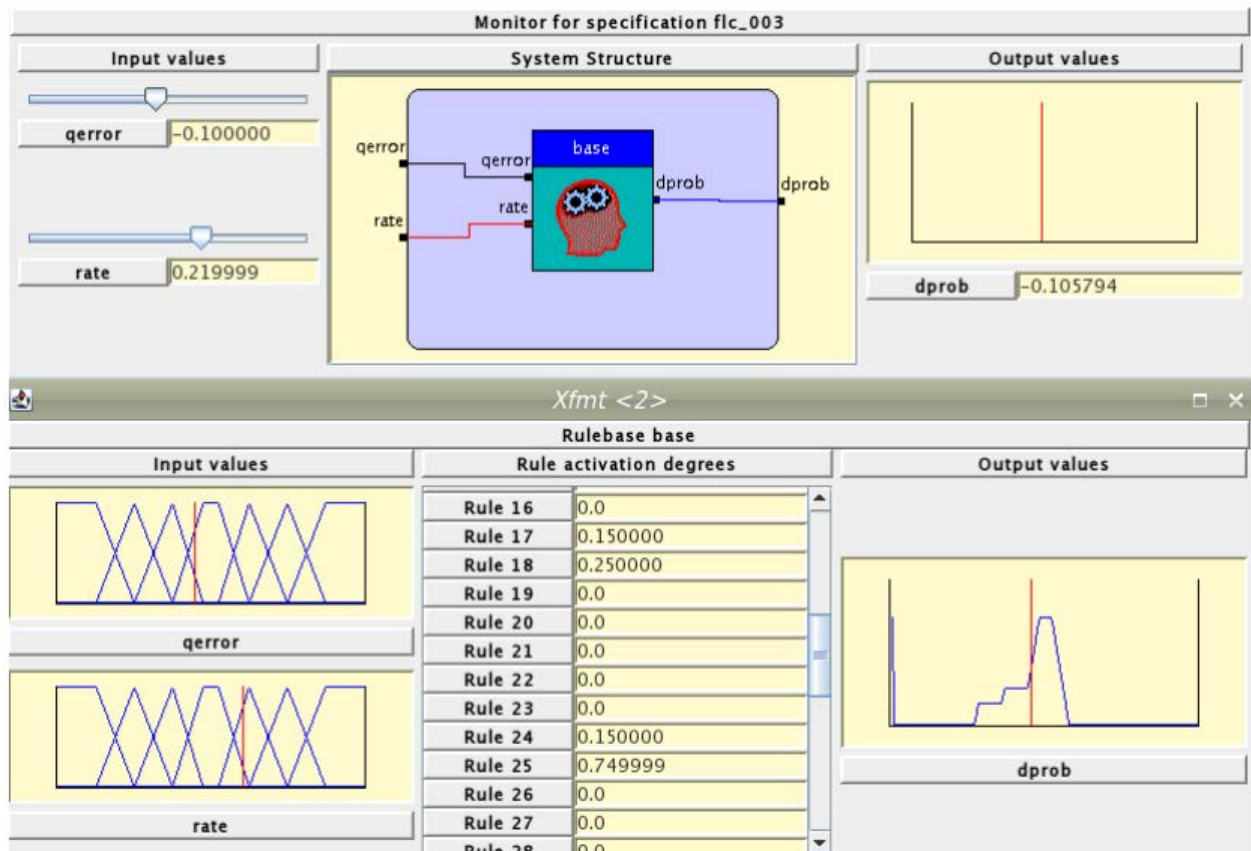


Рисунок 3.9 – Графічна інтерпретація нечіткого висновку у програмі Xfuzzy

Спрощена блок-схема роботи алгоритму програмного модуля FLC наведена на рис. 3.10. При надходженні нового пакета на вхід у чергу, в блоці 1 обчислюються загальна кількість байт та кількість пакетів отриманих на поточному інтервалі вимірювань, фіксується поточний час у змінній *now* та обчислюється час, що минув з моменту останнього виміру *dt*. У блоці 2 порівнюється *dt* з тривалістю інтервалу *sampling*, і якщо час, минулий з моменту останнього виміру, менше встановленого інтервалу *sampling*, то програма переходить до блоку 7, а якщо інтервал вимірювань вже минув, то виконуються блоки 3, 4, 5 та 6 для розрахунку нової ймовірності збору, яка діятиме на наступному інтервалі. У блоці 3 обчислюються значення помилки довжини черги *q_error* та поточна швидкість вхідного потоку даних *p_rate* необхідні для подальшого обчислення збільшення ймовірності скидання *d_prob*. Перед обчисленням в блоці 5

збільшення ймовірності скидання, вхідні змінні нормуються у блоці 4. У блоці 5 викликається функція `flc()` для розрахунку збільшення ймовірності скидання. Отримане збільшення ймовірності скидання в блоці 6 множиться на максимально можливе на інтервалі вимірювань збільшення ймовірності d_sacale та обчислюється нове значення *prob*. Для ухвалення рішення про скидання пакета або приміщення його в чергу, в блоці 7 генерується випадкове число u з рівномірним розподілом на інтервалі $[0, 1]$ та в блоці 8 це випадкове порівнюється розрахованою ймовірністю скидання *prob*. Якщо ймовірність *prob* не потрапляє в інтервал $[0, u]$, то пакет буде поміщений в чергу у блоці 9, а якщо потрапляє, то буде скинутий у блоці 10. Таким чином відбувається обробка при кожному надходженні нового пакета на вхід черги, але ймовірність скидання розраховується та встановлюється лише один раз на кожен інтервал вимірів *sampling*.

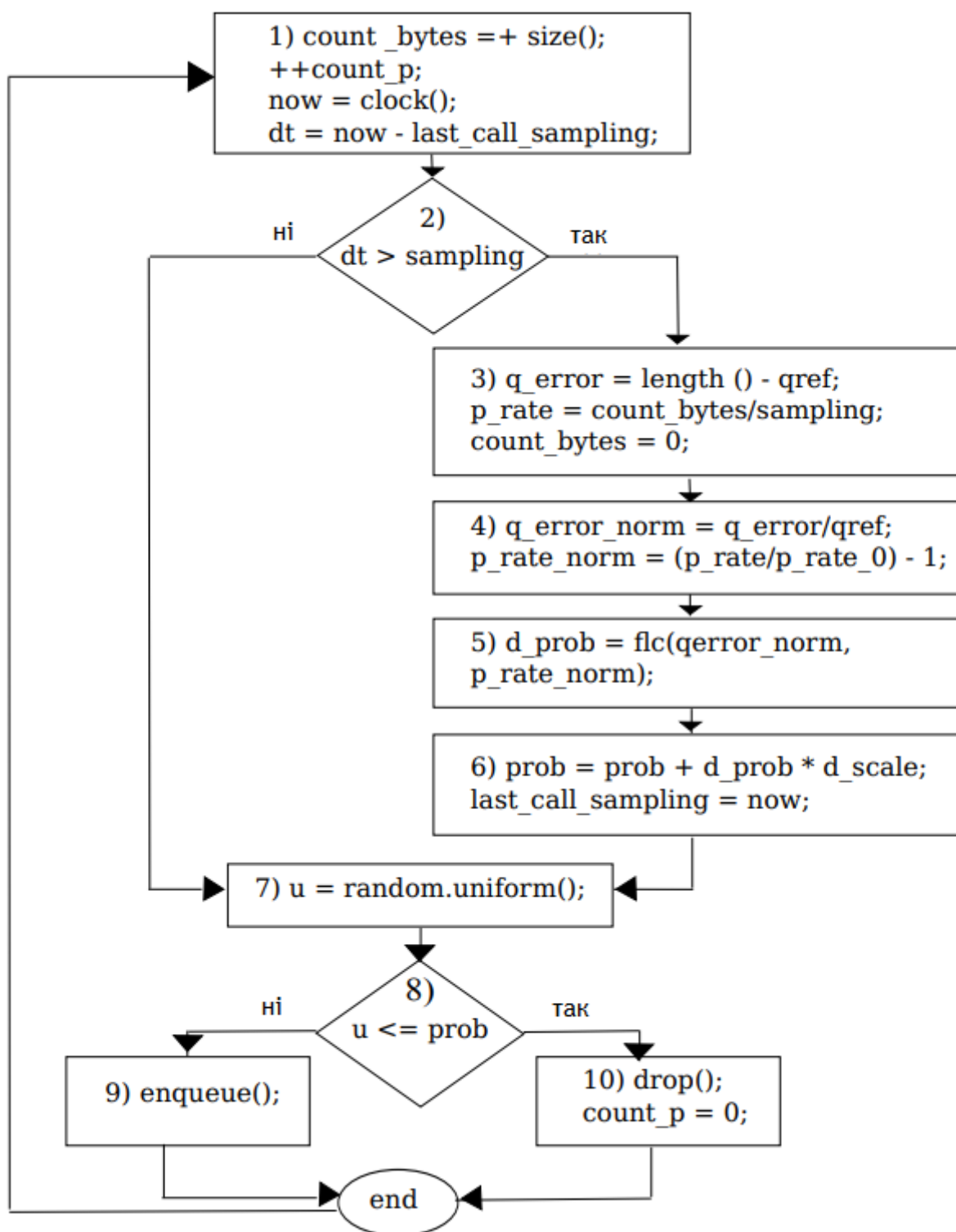


Рисунок 3.10 — Блок-схема алгоритму програмного модуля

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

На сучасному етапі розвитку суспільства, коли роботодавці прагнуть досягти максимального прибутку з мінімальними витратами, питання охорони праці набуває надзвичайної важливості. Часто цільові орієнтири бізнесу призводять до зниження уваги до охорони праці, іноді навіть до ігнорування її вимог. Однак необхідно враховувати, що вплив шкідливих факторів на працівників може значно знизити продуктивність праці. Погана організація робочих місць, включаючи несоответствие ергономічним вимогам, неадекватне розташування обладнання та відсутність умов для відпочинку, також призводить до збільшення непродуктивних витрат часу. Керівники підприємств ігнорують той факт, що поліпшення умов праці сприяє створенню сприятливого психологічного клімату, підвищує ефективність роботи і, відповідно, підвищує продуктивність праці.

Дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку відбувалася в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На розробника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена чи понижена іонізація повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Обладнання робочого місця

Робоче місце – це зона простору, що оснащена необхідним устаткуванням, де відбувається трудова діяльність одного працівника чи групи працівників.

Рационально організоване робоче місце забезпечує умови праці і правильну побудову робочого процесу. Кожне робоче місце має свої специфічні особливості, пов'язані з особливостями організації виробничого процесу, різноманітністю форм конкретної праці.

Конструкція робочого місця розробника і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. [22]

Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і стабільність розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Вимоги до конструкції меблів (робочий стіл, стілець (крісло), розташованих на робочих місцях користувача ПК, визначаються вимогами [25]. Відповідно до вимог екран ПК слід розташовувати на оптимальній відстані від очей працівника, але не ближче 0,4 м залежно від розміру екрана монітора.

Висота робочої поверхні столу для ПК має бути в межах 680 - 800 мм, а ширина - забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота - 725 мм, ширина - 600 - 1400 мм, глибина - 800 - 1000 мм.

Робочий стіл для ПК повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм.

Робочий стіл для ПК, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні - в межах 20 град. Підставка повинна мати рифлену поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм. Застосування підставки для ніг тими, у кого ноги не дістають до підлоги, є обов'язковим.

Основні вимоги щодо роботи на ПК:

- не залишати працюючі ПК і їхні пристрої без нагляду;
- підключати і відключати роз'єми кабелів пристроїв ПК тільки при відключеній напрузі;
- подавати напругу на пристрої і окремі блоки ПК тільки після ретельної перевірки надійності кріплення провідників заземлення, справності кабелів і роз'ємів мережі електроживлення;
- при виявленні запаху горілого в пристроях ПК необхідно вимкнути апаратуру, повторно не включати і звернутися до спеціаліста з технічного обслуговування ПК;
- для профілактики порушень і підтримання працездатності оператора ПК власником повинні бути введені додаткові регламентовані перерви для відпочинку;
- у період роботи за дисплеєм необхідно передбачити через кожні 40 – 45 хв три-п'ятихвилинні перерви для відпочинку. Середня сумарна тривалість роботи за монітором за день не повинна перевищувати 4 год, а за тиждень 20 год [4].

В приміщенні, де проводилося дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки [25].

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- 1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;
- 2) захисне заземлення із використанням природних заземлювачів;
- 3) систематичне проведення інструктажу з електробезпеки;
- 4) суворе дотримання правил електробезпеки на робочому місці.

Таким чином, рівень організації та обслуговування робочих місць значно впливає на ступінь важкості, стомливості й привабливості праці. Чим раціональніше організоване робоче місце, чим воно зручніше, чим краще забезпечене всім необхідним для безперебійної та ритмічної роботи, тим менш утомливою буде праця, тим більша її привабливість, тим вищі працездатність працівника і рівень продуктивності його праці.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Виробниче приміщення – замкнутий простір в спеціально призначених будинках та спорудах, в яких постійно (по змінах) або періодично (протягом частини робочого дня) здійснюється трудова діяльність людей.

Мікрокліматичні умови на робочому місці, у виробничих приміщеннях – найважливіший санітарно-гігієнічний фактор, від якого багато в чому залежить стан здоров'я та працездатність людини. Визначається він поєднанням таких показників або параметрів, як температура повітря і поверхонь, відносна вологість, швидкість руху (рухливість) повітря, тепловевипромінювання.

У санітарних нормах ДСН 3.3.6.042-99 [26] встановлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення (значні або незначні тепловиділення).

Дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку за енерговитратами відноситься до категорії I а

(енерговитрати до 139Дж/с) [27]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні використовується централізована парова система опалення (для підтримання температури в холодний період року) та система кондиціонування (для підтримання температури в теплий період року), а також систематичне (раз за зміну) вологе прибирання.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Чистота повітря виробничого середовища є важливим фактором підтримання стабільної працездатності працівників, формування у них позитивного ставлення до роботи, підвищення продуктивності праці. Багатьма дослідженнями доведено, що система дихання людини найменш пристосована до забрудненої атмосфери. Слизові оболонки, легеневий апарат піддаються більшому впливу забрудненого повітря, ніж очі та шкіряний покрив. Разом з тим велика кількість виробничих процесів супроводжується утворенням дрібних часточок твердих або рідких речовин, які утримуються в повітрі. Кількість домішок –

газів, парів, пилу, які містяться в одному літрі або одному кубічному метрі повітря у грамах, характеризує ступінь забруднення виробничого середовища.

В приміщенні, де виконується дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку, можливими шкідливими речовинами у повітрі є фенол, пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні, через вікна, двері та заноситься співробітниками.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування та вологого прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення на робочих місцях справляє багатоплановий вплив на працівника, зокрема на його емоційний стан, працездатність, мотивацію, продуктивність і безпеку праці. Світло є не тільки важливою умовою роботи зорового аналізатора, а й біологічним фактором розвитку організму людини в цілому. Для людини день і ніч, світло і темрява визначають біологічний ритм – неспання та сон. Отже, недостатня освітленість або її надмірна кількість знижують рівень збудженості центральної нервової системи і активність усіх життєвих процесів. Раціональне освітлення є важливим фактором загальної культури виробництва. Неможливо забезпечити чистоту та порядок у приміщенні, в якому напівтемрява, світильники брудні або в занедбаному стані.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 [28] в приміщенні, де здійснюється дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку за допомогою ПК необхідно застосувати систему комбінованого освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні для роботи зазначені у таблиці 4.4.

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 3) Систематична заміна перегорілих ламп.

4.2.4 Виробничий шум

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено з повною достовірністю. Ступінь такого впливу, переважно, залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть

впливати на більшість органів та систем організму людини. Так, дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо.

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 - 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Джерелом шуму під час дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку є працююча офісна техніка, а також – рух автотранспорту біля будинку. У табл. 4.4 вказані граничні рівні звуку залежно від категорії тяжкості і напруженості праці, що є безпечними відносно збереження здоров'я і працездатності згідно ДСН 3.3.6.037-99 [29].

Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути облицьовані звукопоглинальними матеріалами.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

Таблиця 4.4 – Граничні рівні звуку, дБ, на робочих місцях.

Категорія напруженості праці	Категорія важкості праці			
	I. Легка	II. Середня	III. Важка	IV. Дуже важка
I. Мало напружений	80	80	75	75
II. Помірно напружений	70	70	65	65
III. Напружений	60	60	-	-
IV. Дуже напружений	50	50	-	-

4.2.5 Виробничі випромінювання

Дослідження методів підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку відбувалася за допомогою ПК, відповідно існує ймовірність впливу ЕМП на працівника.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини взагалі залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму. У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму.

Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, в також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи. У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень та захворювань.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в табл.4.5.

Заходи щодо зменшення впливу на працівника електромагнітного випромінювання: оптимальна організація робочого місця, доцільне розміщення тех-

нологічного устаткування, дотримання гігієнічно-обґрунтованих режимів праці та відпочинку, зменшення часу перебування у зоні опромінення.

Таблиця 4.5 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – це стан об’єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств, установ, організацій та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств, установ та організацій.

В приміщенні, де проводилася робота, використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д» [30]. За вогнестійкістю приміщення відноситься до третьої категорії [31].

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де виконувалася робота такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- використання електропобутових пристроїв (електрочайники, обігрівачі); попадання вологи на працююче електрообладнання;
- залишення без нагляду увімкннутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- проведення навчань з питань пожежної безпеки (інструктажі та пожежно-технічні мінімуми);
- суворе дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівлі, технічне переобладнання електромережі, опалення, вентиляції, освітлення тощо;
- заборона паління та застосування відкритого вогню у приміщенні;
- своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів обчислювальної техніки та допоміжного устаткування.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Система протипожежного захисту – це сукупність організаційних заходів а також технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних чинників пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї. Протипожежний захист підприємства здійснюється за такими чотирма напрямками.

1. Обмеження розмірів та поширення пожежі: розміщення будівель та споруд на території об'єкта із дотриманням протипожежних розривів та інших вимог пожежної безпеки; дотримання обмежень стосовно кількості поверхів будівель та площі поверху; правильне планування та розміщення виробничих

цехів, приміщень, діляниць у межах будівлі; вибір будівельних конструкцій необхідних ступенів вогнестійкості; встановлювання протипожежних перешкод у будівлях, системах вентиляції; облаштування систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння.

2. Обмеження розвитку пожежі: обмеження кількості горючих речовин, що одночасно знаходяться в приміщенні; використання оздоблювальних будівельних та конструкційних матеріалів з нормативними показниками вибухопожежонебезпечності.

3. Забезпечення безпечної евакуації людей та майна: вибір такого об'ємно-планувального та конструктивного виконання будівлі, щоб евакуація людей була завершена до настання гранично допустимих рівнів чинників пожежі; застосування аварійного вимкнення устаткування та комунікацій; облаштування систем протидимового захисту, які запобігають задимленню шляхів евакуації; влаштування необхідних шляхів евакуації (коридорів, сходових кліток, зовнішніх пожежних драбин), раціональне їх розміщення та належне утримання.

4. Створення умов для успішного гасіння пожежі: встановлення в будівлях та приміщеннях установок пожежної автоматики; забезпечення приміщень нормованою кількістю первинних засобів пожежогасіння.

У приміщенні на випадок виникнення пожежі для обмеження її розповсюдження знаходиться переносний вуглекислотний вогнегасник типу ОУ-5, що відповідає нормам [32]. Підходи до засобів первинного пожежогасіння та відключення електросхем устаткування вільні.

У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації.

ВИСНОВКИ

Таким чином, для ефективного повномасштабного розгортання мереж мобільного зв'язку, підвищення ефективності їх технічної експлуатації, а також їх метрологічного забезпечення необхідно вирішити низку взаємопов'язаних проблем. Забезпечення ефективного обслуговування трафіку в мережі також належить до таких завдань.

У першому розділі роботи розглядаються основні принципи та методи передачі обслуговування в мережах мобільного зв'язку. Проаналізовано режим хендовера, який призначений для вирішення проблеми усунення конфліктів при розподілі радіоканалів шляхом просторової селекції сигналів абонентів сусідніх базових станцій. Результати показали, що цей режим також може бути поширений на абонентів, які обслуговуються однією базовою станцією. Це дозволяє використовувати метод складання безконфліктних розкладів, який базується на теорії графів усередині стільників.

У другому розділі для обмеження ширини еластичного виду трафіку була розроблена та досліджена математична модель. Вона описує спільне надходження та обслуговування заявок на передачу даних у реальному часі для еластичного трафіку. Модель демонструє, що трафік реального часу має значний вплив на використання ресурсів, зменшуючи швидкість передачі даних, коли вона змінюється в певних межах, при цьому проявляються еластичні характеристики трафіку передачі даних.

У третьому розділі для зменшення короточасних відмов каналу під час передавання кількох відеопотоків у режимі реального часу запропоновано використовувати алгоритм обслуговування черги каналного рівня. Такий підхід допоможе уникнути зниження якості передачі відеопотоків абонентам, для яких якість з'єднання не погіршиться, і зменшити зниження якості передачі відеопотоків абонентам, для яких канал був відключений. Також було розглянуто метод обробки трафіку у черзі на основі регулятора з нечіткою логікою, що дозволяє ефективно запобігати перевантаженню в мережі і не допускає перезап-

внення та спустошення черги. Використання такого методу обслуговування черги дозволить покращити параметри якості передачі даних, такі як відсоток втрати пакетів.

В четвертому розділі було розглянуто питання охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту при здійсненні дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М.М. Климаш, А.Р. Масюк, Г.В. Бешлей, М.І. Бешлей, "Концепція програмно конфігурованої гетерогенної мережі мобільного зв'язку на основі технологій SDN/NFV та SDR," Фізико-технологічні проблеми обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці, 2016 р., с. 35 – 36.
2. М.О. Селюченко, Г.В. Бешлей, А.Р. Масюк, М.І. Бешлей, "Багаторівневе управління ресурсами в гетерогенній мульти-операторській мережі," 1st International Conference "Advanced Information and Communication Technologies"(AICT'2015), Lviv, 2015, pp. 125 – 128.
3. M. Klymash, H. Beshley, O. Panchenko and M. Beshley, "Method for optimal use of 4G/5G heterogeneous network resources under M2M/IoT traffic growth conditions," 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 2017, pp. 1 – 5.
4. M. Klymash, H. Beshley, M. Seliuchenko and M. Beshley, "Algorithm for clusterization, aggregation and prioritization of M2M devices in heterogeneous 4G/5G network," 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 182 – 186.
5. Тимченко І.О., Скулиш М.А., Глоба Л.С. Концепції побудови сучасних мереж. Радиоелектроника и информатика = Radioelectronics & informatics: науч. журн. Харьк. нац. ун-т радиоелектроніки. Харків: ХНТУРЕ. 2018. №1. С. 25-29.
6. Т.А. Максимюк, Б.П. Шубин, Д.О. Мисаковець, В.С. Андрущак, С.С. Думич, "Метод адаптивного логічного розділення мережі 5G на основі глибокого навчання", Вчені записки Таврійського Національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, том 31(70), № 5, С. 36-42, 2020.
7. Глоба Л. С. Метод вибору мережі доступу в мобільній системі SDR при вертикальному хендовері / Л. С. Глоба, С. В. Суліма, В. В. Курдеча // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2014. – № 796 : Радіое-

лектроніка та телекомунікації. – С. 69-74.

8. Климаш М.М. Модель адаптивного управління радіоресурсами в безпроводних гетерогенних мережах / М.М. Климаш, М.І. Бешлей, А.Р. Масюк // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: збірник матеріалів конференції (22-25 квітня 2015р., м. Київ, Україна), 2015 - К.: НТТУ «КПІ». – С.40-42.

9. Бешлей М.І. Модель системи динамічного управління пропускнуою здатністю каналу інтегрованої WI-FI/GSM мережі / М. І.Бешлей, В.П.Ткачук, Б.А. Бугиль, О.А. Лаврів // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2014.- № 796. - С. 83-96.

10.Бешлей М.І. Підвищення ефективності роботи гетерогенних мереж методом динамічного перерозподілу ресурсів між різними безпроводовими технологіями / Бешлей М.І., Селюченко М.О., Гуськов П.О., Масюк А.Р. // Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології»: матеріали науково-технічної конференції (17-20 листопада 2015 р. м.Київ), Т.2 – К: ДУТ. – 2015. – С. 49–50.

11.Масюк А. Р. Алгоритм інтелектуального вертикального хендверу в гетерогенній мобільній мережі на основі хмарних обчислень / А. Р. Масюк, І.Б. Стрихалюк, М. В. Брич, І. О. Кагало, Г. В. Бешлей // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. — № 874. — С. 110–121.

12.Єрохін В. Ф. Аналіз і прогноз розвитку систем мобільного зв'язку загального користування / В. Ф. Єрохін, Б. А. Гиндич, О. В. Кувшинов. — Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ” № 1. — 2011. — С. 54–64.

13.Бондарєв А.П., Мандзій Б.А., Давіденко С.В. Пристрої цифрових систем мобільного зв'язку. Навчальний посібник. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. — 224 с.

14.Масюк А. Р. Алгоритм інтелектуального вертикального хендверу в гете-

рогенний мобільній мережі на основі хмарних обчислень / А. Р. Масюк, І.Б. Стрихалюк, М. В. Брич, І. О. Кагало, Г. В. Бешлей // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Радіoeлектроніка та телекомунікації. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. — № 874. — С. 110–121.

15.Одарченко Р.С. Дослідження структури мережі LTE та можливостей її оптимізації. Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації: зб. матеріалів доп. учасн. наук.- практ. конф., 25-28 лютого 2015 р. Київ. 2015. С. 80-82.

16.Одарченко Р.С., Даков С. Ю. Основні тренди в розвитку безпроводових стільникових мереж. Комп'ютерні системи і мережні технології: зб. матеріалів доп. учасн. VIII міжнародної науково-технічної конференції , 21-23 квітня 2015р. Київ. 2015. С. 51-52.

17.Лаврів, М. І. Бешлей, М. М. Гнатчук, А. В. Поліщук, “Модель системи управління ресурсами мультисервісних мереж в умовах самоподібності трафіку,” Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, серія “Радіoeлектроніка та телекомунікації ”, №. 738, с. 165–172, 2012.

18.Семенова О. О. Застосування нейронної мережі у процедурі вертикального хендверу [Текст] / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2020. – № 3. – С. 14-21.

19. О. Семенова, А. Семенов, і О. Войцеховська, «Застосування нечіткого контролера у процедурі вертикального хендверу», ІТКІ, вип. 51, вип. 2, с. 37–44, Жов 2021.

20.Семенова О. О. Прогнозування втрат у системах стільникового зв'язку за допомогою нейронних мереж [Текст] / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2020. – № 3. – С. 96-101.

21.ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.

22.ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у

положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

23.НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

24.Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням: 90/270/ЕЭС. Брюссель : Рада Європейських співтовариств, 1990. URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>

25.Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

26.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

27.Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

28.ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

29.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

30.ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

31.ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

32.Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКУ
В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
назва бакалаврської дипломної роботи

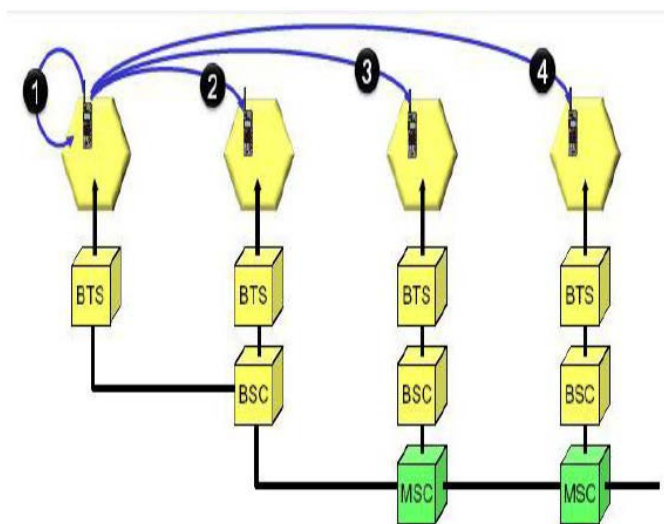


Рисунок 1 1) внутрішньостільниковий хендовер;
2) хендовер;
3) міжбазовий хендовер; 4) хендовер між MSC

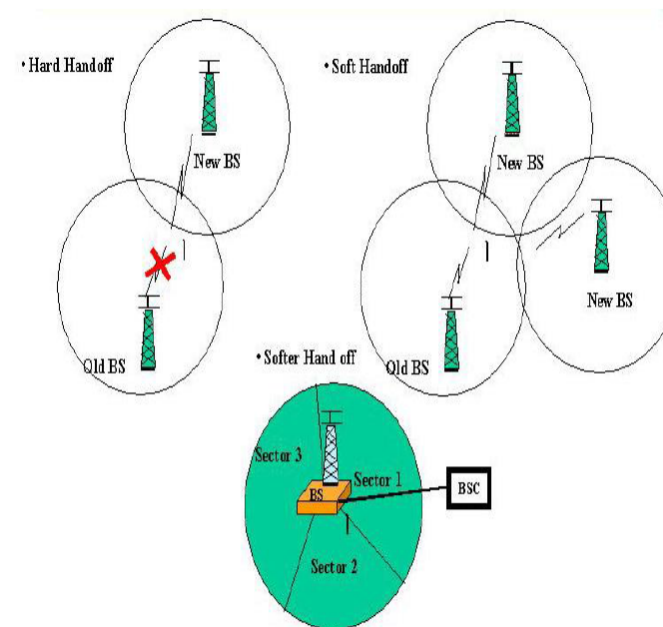


Рисунок 2 – Жорсткий, м'який та делікатний хендовер

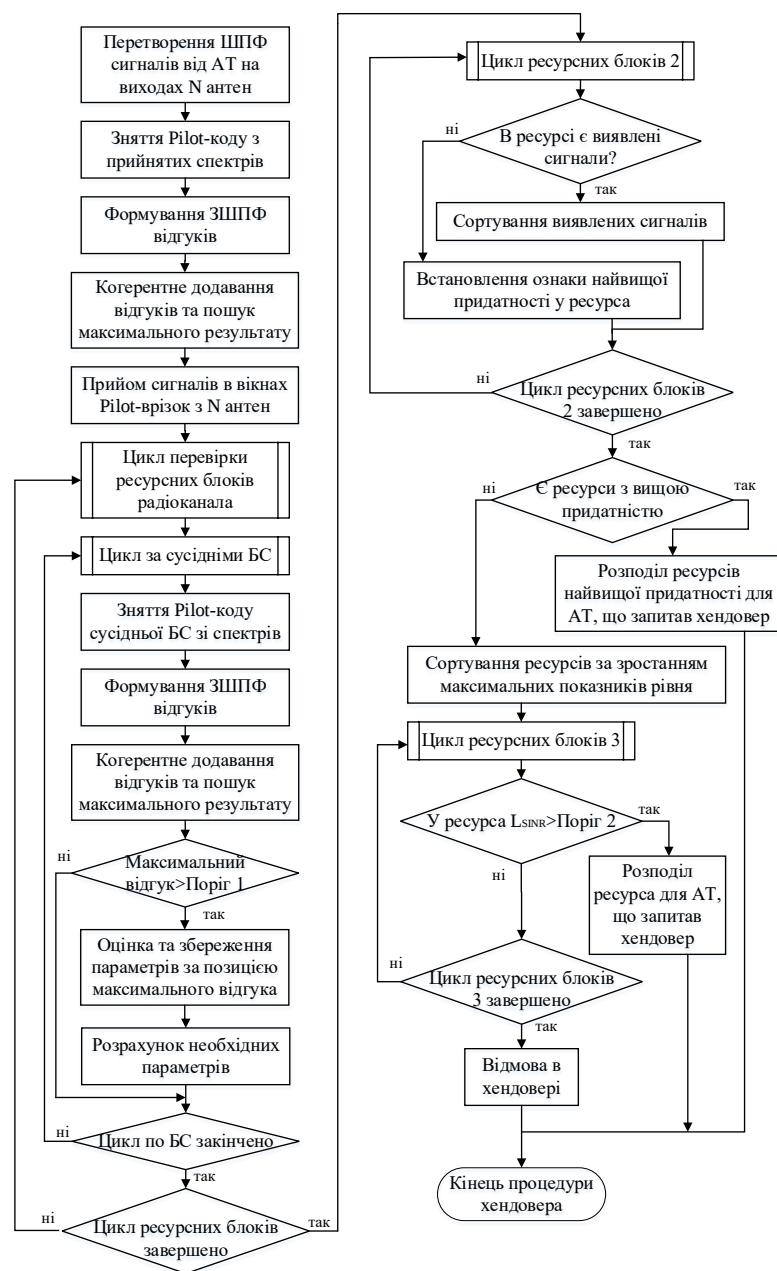


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму хендовера

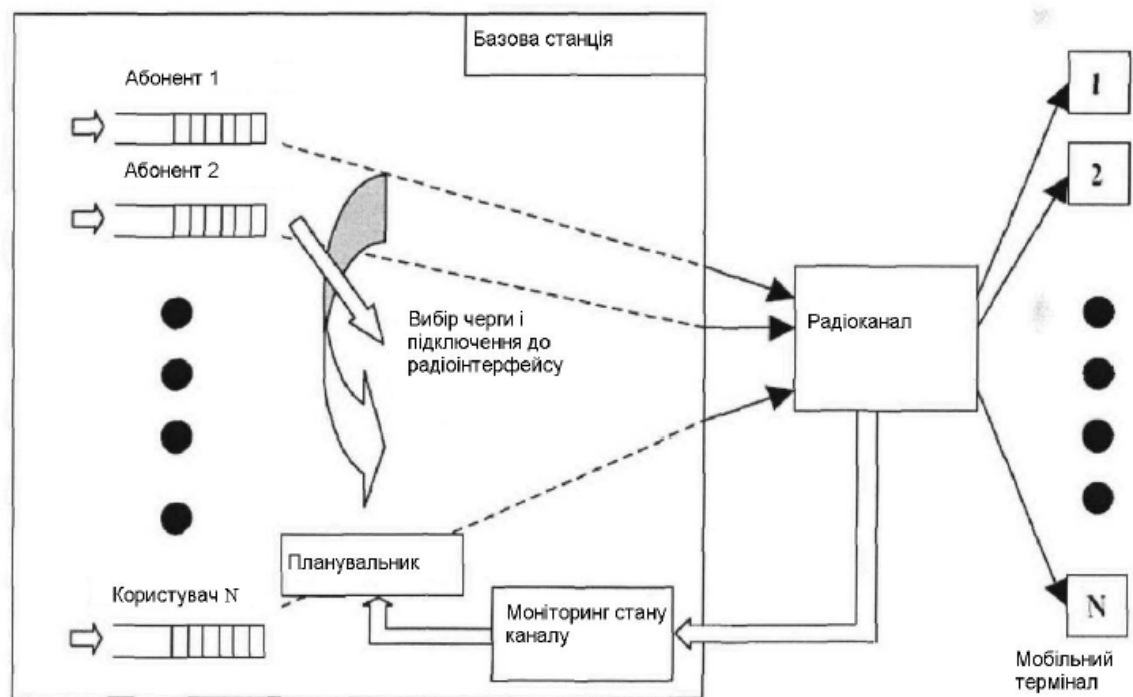


Рисунок 4 – Функціонування планувальника пакетів

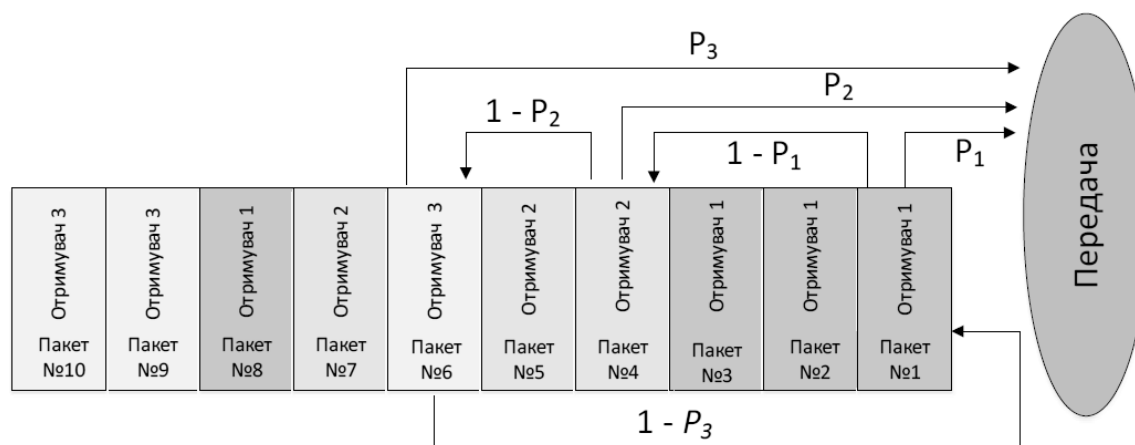


Рисунок 5 – Принцип роботи алгоритму обслуговування черги

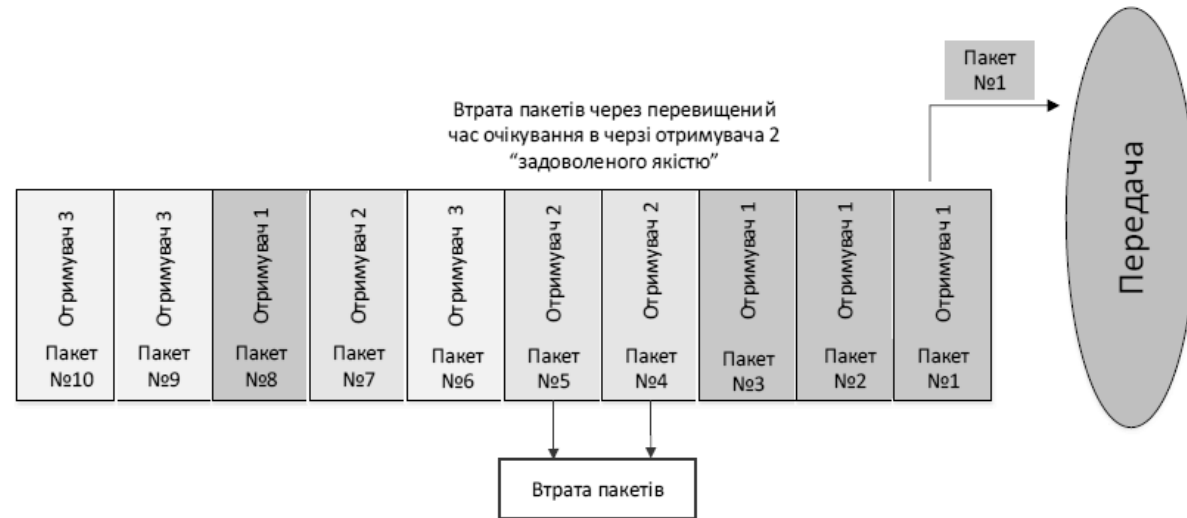


Рисунок 6 – Принцип роботи існуючого алгоритму вибору пакета

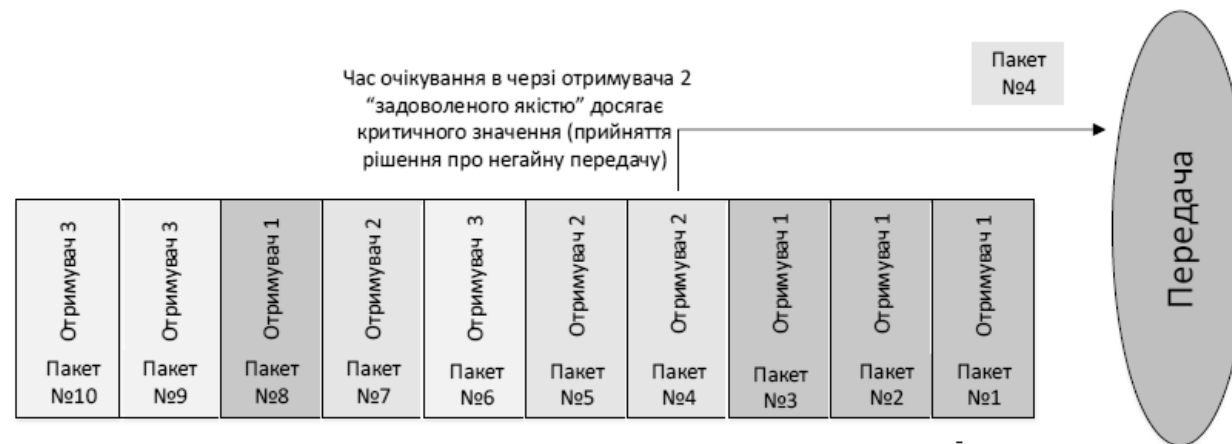


Рисунок 7 – Принцип роботи модифікованого алгоритму вибору пакета

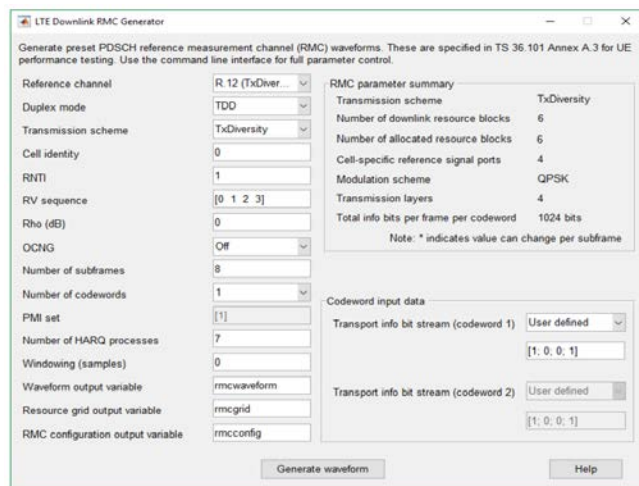


Рисунок 8 – Параметри каналів передачі

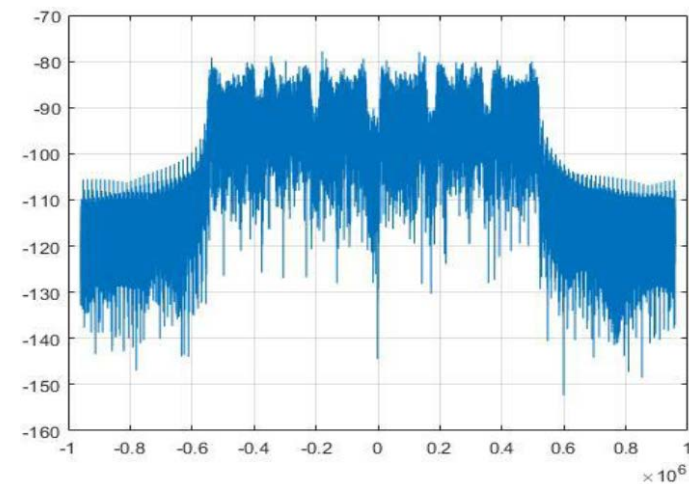


Рисунок 9 – Спектр сигналу

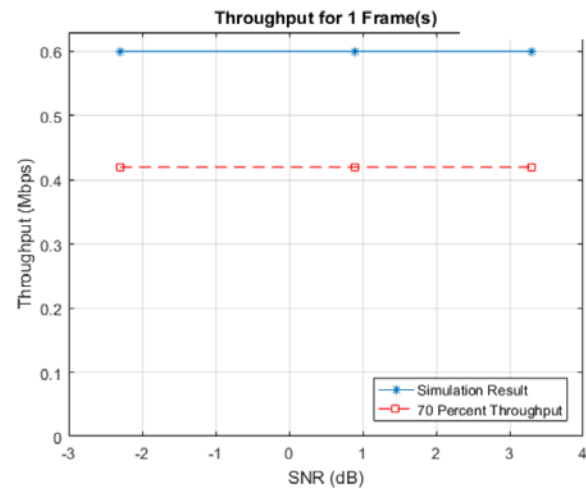


Рисунок 10 – Графік пропускної здатності каналу в Мбіт/с

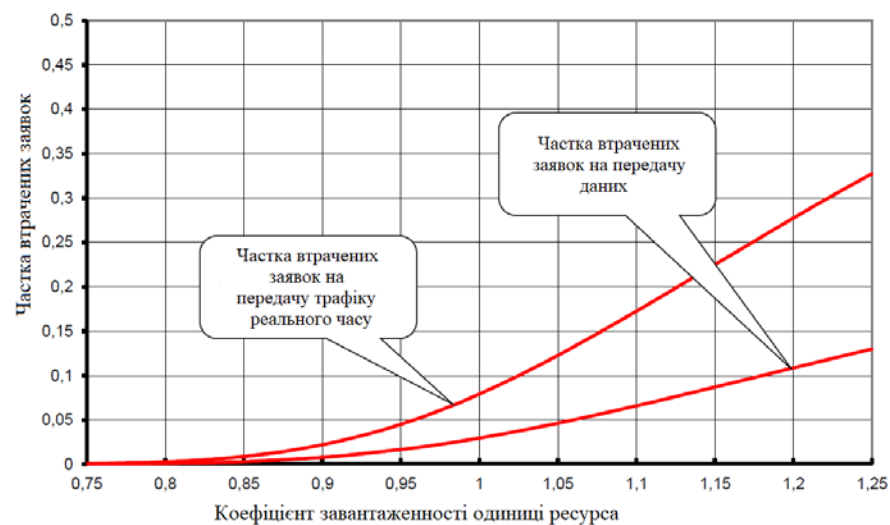


Рисунок 11 – Результати розрахунку втрат заявок з ростом мінімального потенційного завантаження



Рисунок 12 — Залежність втрат заявок при збільшенні максимальної доступності ресурсу

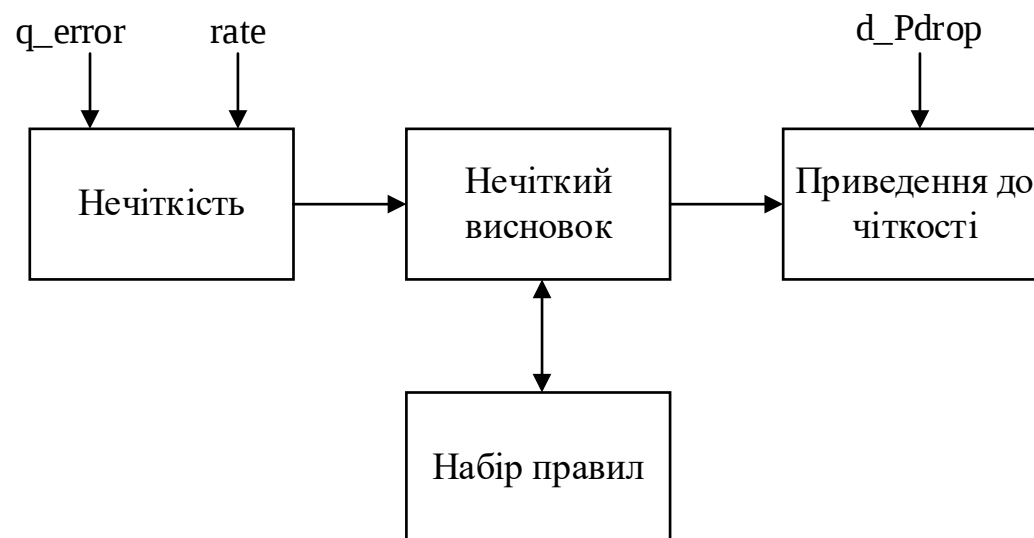


Рисунок 13– Структура нечіткого регулятора

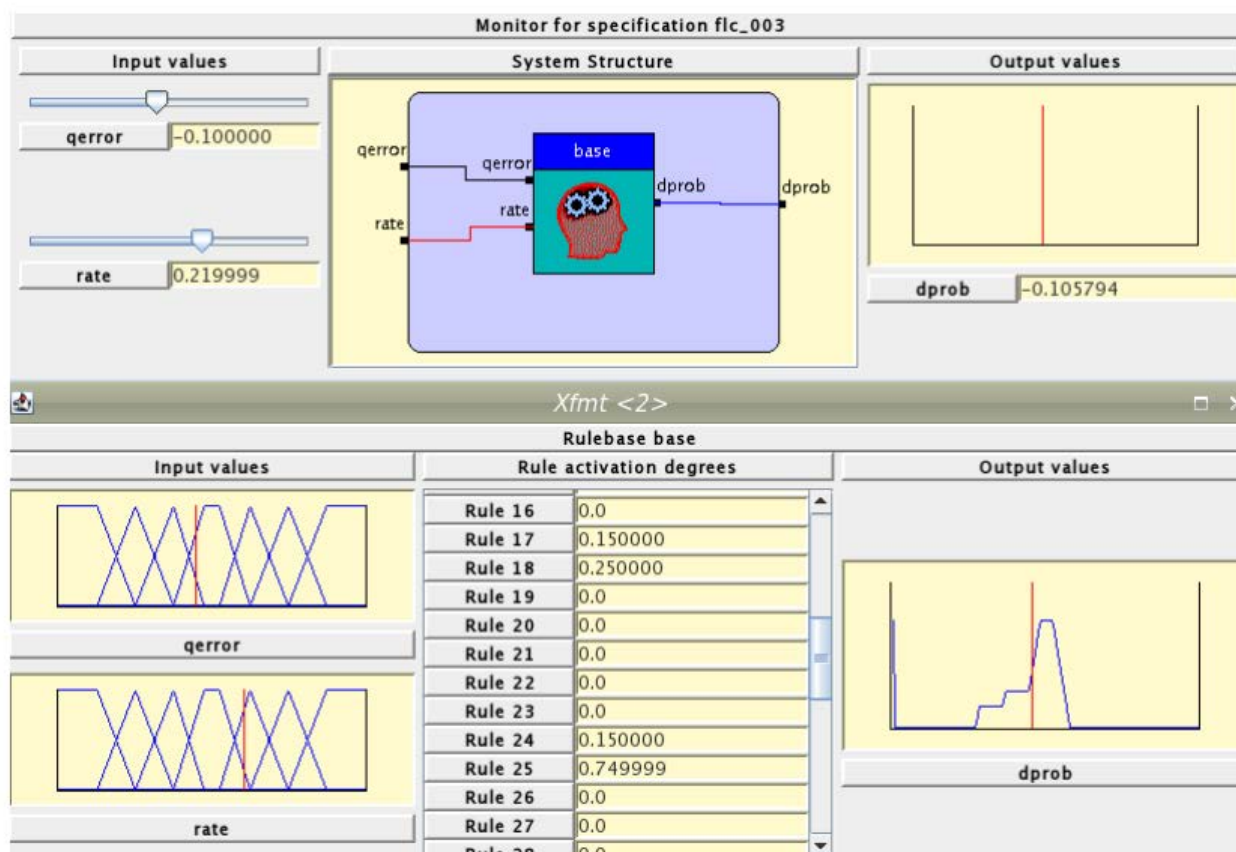


Рисунок 14– Графічна інтерпретація нечіткого логічного висновку

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Методи підвищення ефективності обслуговування трафіку в системах мобільного зв'язку

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

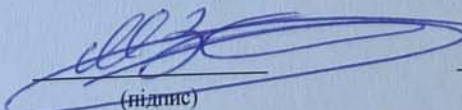
Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 98,2 % Схожість 1,8 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

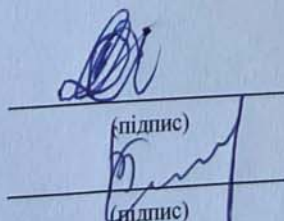
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Луб'яний Д. О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

Воловик А.Ю.
(прізвище, ініціали)