

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

**КАФЕДРА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ І
СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ**

«На правах рукопису»
УДК 004.72

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри СПСКС

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

“ ___ ” _____ 2020р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

на тему: Способи розподілу навантаження між базовими станціями
безпроводових мереж

Виконала

студентка II курсу, групи КВ-93мн Курій Катерина Андріївна _____

Науковий керівник

доцент кафедри СПСКС, к.т.н., доцент, Олександр ЩЕРБИНА _____

Консультант з нормоконтролю

доцент, с.н.с., к.т.н. Юлія БОЯРІНОВА _____

Рецензент _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2020 року

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

Факультет прикладної математики

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
за освітньо-професійною програмою
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(Спеціалізовані комп'ютерні системи)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

«01» грудня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентці**

Курій Катерині Андріївні

1. Тема дисертації «Способи розподілу навантаження між базовими станціями безпроводових мереж», науковий керівник дисертації Щербина Олександр Андрійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «12» листопада 2020 р. № 3298-С
2. Термін подання студентом дисертації «14» грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження: безпроводові мережі технологій LTE, LTE-A.
4. Предмет дослідження: способи розподілення обслуговуючого навантаження на базові станції безпроводових мереж.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - провести аналіз існуючих алгоритмів розподілу навантаження;
 - дослідити особливості побудови безпроводових мереж;
 - розробити метод балансування навантаження на базові станції безпроводової мережі;
 - розробити структуру та алгоритм роботи модуля для виконання розподілу;
 - розробка програмного продукту для емуляції роботи мережі з використанням створеного модуля;
 - проведення аналізу отриманих результатів.
6. Перелік ілюстративного матеріалу :
 - презентація.
7. Перелік публікацій:

- Тези доповіді «Порівняльний аналіз мережних технологій мобільного зв'язку»
- Тези доповіді «Порівняльний аналіз мережевих сховищ»
- Тези доповіді «МОДИФІКОВАНИЙ СПОСІБ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА БАЗОВІ СТАНЦІЇ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ»

8. Дата видачі завдання «04» жовтня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Ґрунтовне ознайомлення з предметною галуззю	17.10.2019	
2.	Визначення структури магістерської дисертації; вивчення літератури, пошук додаткової літератури, патентний пошук	04.12.2019	
3.	Робота над першим розділом магістерської дисертації; проведення наукового дослідження	15.02.2020	
4.	Проведення наукового дослідження; робота над другим розділом магістерської дисертації; розроблення програмного забезпечення	05.04.2020	
5.	Проведення наукового дослідження; робота над третім розділом магістерської дисертації	15.09.2020	
6.	Проведення наукового дослідження; робота над четвертим розділом магістерської дисертації	8.10.2020	
7.	Завершення роботи над основною частиною магістерської дисертації; підготовка ілюстративного матеріалу; підготовка матеріалів доповіді на конференції ПМК-2020	05.11.2020	
8.	Оформлення текстової і графічної частини магістерської дисертації	20.11.2020	
9.	Попередній розгляд магістерської дисертації на кафедрі	26.11.2020	

Студентка

Катерина КУРІЙ

Науковий керівник

Олександр ЩЕРБИНА

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. З кожним днем збільшується кількість користувачів мережею Інтернет, відповідно стрімко розвиваються засоби телекомунікацій, які вимагають забезпечення якісного безпроводного та мобільного зв'язку з мережею. Через те, що кількість абонентів зростає занадто швидко, а також через велику їх концентрацію в окремі проміжки часу на певній території мережі зазнають перенавантаження. Задача забезпечення користувача мережі послугами надійного та якісного зв'язку вимагає чіткої роботи механізмів, які керують мобільністю та виконують розподіл абонентського навантаження.

Мета роботи: підвищення ефективності розподілу навантаження на базові станції безпроводових мереж за рахунок аналізу поточного трафіку та стану мережі.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання.

1. Аналіз існуючих способів розподілу навантаження на базові станції мережі.
2. Дослідження проблеми пошуку оптимізації методів для розподілення обслуговування абонентів між базовими станціями відповідно до характеристик та стану безпроводової мережі.
3. Розробка модифікованої імітаційної моделі мережі.
4. Розробка способу підвищення ефективності розподілу навантаження на базові станції з використанням програмного контролера, що базується на контролі стану кожної базової станції та перенаправленні абонента для обслуговування до менш навантаженої станції.

Об'єктом дослідження є безпроводові мережі технологій LTE, LTE-A.

Предметом дослідження є способи розподілу обслуговуючого навантаження на базові станції безпроводових мереж.

Методи дослідження. В роботі використовуються методи оптимізації та моделювання комп'ютерних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

1. Проаналізовано основні методики балансування абонентського навантаження в безпроводових мережах та показано, що на сьогодні залишається невирішеним питання виникнення ірраціонального розподілення навантаження, що призводить до повторного навантаження на базову станцію за короткий проміжок часу.
2. Запропоновано спосіб підвищення ефективності розподілу навантаження на базові станції з використанням програмного контролера для аналізу пропускної спроможності та радіусу покриття базових станцій мережі.
3. Розроблена модифікована імітаційна модель для проведення безпечних тестувань та збору тестових даних.

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що запропонований спосіб підвищує показники ефективності розподілу навантаження за допомогою аналізу трафіку та пропускної спроможності, що дозволяє отримати вигоду у часі та ефективності в порівнянні з вже існуючими аналогами, і при цьому він не має впливу на безпеку функціонування мережі та протоколу, з яким працює.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи були представлені та обговорювались на 3-х наукових конференціях, а саме:

- «КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ» (м. Львів, 10-12 ЖОВТНЯ 2019 р.) з темою «Порівняльний аналіз мережевих сховищ»;
- ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ПРТК-2019) ДВАНADЦЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ з темою «Порівняльний аналіз мережних технологій мобільного зв'язку»;
- XIII наукова конференція молодих вчених «Прикладна математика та комп'ютинг» ПМК-2020 (Київ, 18-20 листопада 2020 р.) з темою «МОДИФІКОВАНИЙ СПОСІБ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА БАЗОВІ СТАНЦІЇ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ».

Публікації. За результатами магістерської дисертації було опубліковано 3 наукові роботи, з них 3 тези доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків.

У вступі надано загальну характеристику проблематики перенавантаження безпроводових мереж, сформульовано мету дослідження, показано практичну цінність роботи.

У першому розділі надано детальне обґрунтування актуальності напрямку досліджень, виконано оцінку поточного стану в даній сфері, представлено теоретичний огляд особливостей безпроводових мереж та їх базових станцій.

У другому розділі проаналізовано ефективність існуючих способів розподілу навантаження; сформовано пропозиції для покращення та підвищення ефективності алгоритмів балансування навантаження.

У третьому розділі розроблено та описано імітаційну модель, для тестування способу підвищення ефективності алгоритмів розподілу навантаження.

У четвертому розділі розроблено та описано програмний контролер для підвищення ефективності алгоритмів розподілу навантаження на базові станції, враховуючи часово-просторові характеристики.

У висновках проаналізовано отримані результати роботи.

Ключові слова: базова станція, безпроводова мережа, хендовер, пропускна спроможність, трафік, розподіл навантаження, імітаційна модель.

ABSTRACT

Actuality of theme. The number of Internet users is increasing every day, and the means of telecommunications are rapidly developing, which require high-quality wireless and mobile communication with the network. Due to the fact that the number of subscribers is growing too fast, as well as due to their high concentration at certain intervals in a certain area of the network are overloaded. The task of providing the network user with reliable and high-quality communication services requires a clear operation of the mechanisms that control mobility and perform the distribution of subscriber load.

Purpose: to increase the efficiency of load distribution to base stations of wireless networks by analyzing the current traffic and network status.

To achieve this goal, the following tasks are solved in the work.

1. Analysis of existing methods of load distribution to base stations of the network.

2. Research of the problem of search of optimization of methods for distribution of service of subscribers between base stations according to characteristics and a condition of a wireless network.

3. Development of a modified network simulation model.

4. Development of a method to increase the efficiency of load distribution to base stations using a software controller based on monitoring the status of each base station and redirecting the subscriber for service to a less busy station.

The object of the study is wireless networks of LTE, LTE-A technologies.

The subject of research is the methods of distribution of service load on base stations of wireless networks.

Research methods. The paper uses methods of optimization and modeling of computer networks.

The scientific novelty of the obtained results is as follows.

1. The main methods of balancing the subscriber load in wireless networks are analyzed and it is shown that today the issue of irrational load distribution,

which leads to reloading on the base station in a short period of time, remains unresolved.

2. A method for improving the efficiency of load distribution to base stations using a software controller to analyze the bandwidth and coverage radius of network base stations is proposed.

3. Developed a modified simulation model for safe testing and collection of test data.

The practical value of the obtained results is that the proposed method increases the efficiency of load balancing through the analysis of traffic and throughput, which allows you to gain time and efficiency compared to existing counterparts, and it does not affect the security of the network. and the protocol it works with.

Approbation of work. The main provisions and results of the work were presented and discussed at 3 scientific conferences, namely:

- "COMPUTER MODELING AND INFORMATION TECHNOLOGIES" (Lviv, October 10-12, 2019) with the topic "Comparative analysis of network storage";

- INTEGRATED INTELLECTUAL ROBOTICS COMPLEXES (IIRTC-2019) TWELFTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE on the topic "Comparative analysis of network technologies;

- XII Scientific Conference of Young Scientists "Applied Mathematics and Computing" PMK-2020 (Kyiv, November 18-20, 2020) with the topic "MODIFIED METHOD OF LOAD DISTRIBUTION AT BASE STATIONS OF WIRELESS MEASURES".

Publications. According to the results of the master's dissertation, 3 scientific papers were published, including 3 abstracts at conferences.

Structure and scope of work. The master's dissertation consists of an introduction, four sections, conclusions and appendices.

The introduction provides a general description of the problem of overloading wireless networks, formulates the purpose of the study, shows the practical value of the work.

The first section provides a detailed justification of the relevance of the research direction, an assessment of the current state in this area, a theoretical overview of the features of wireless networks and their base stations.

The second section analyzes the effectiveness of existing methods of load distribution; proposals for improving and increasing the efficiency of load balancing algorithms are formed.

In the third section, a simulation model is developed and described to test a way to increase the efficiency of load distribution algorithms.

The fourth section develops and describes a software controller to increase the efficiency of load distribution algorithms on base stations, taking into account the space-time characteristics.

The results of the work are analyzed in the conclusions.

Keywords: base station, wireless network, handover, bandwidth, traffic, load distribution, simulation model.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	12
ВСТУП.....	14
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ	
1.1. Безпроводові мережі зв'язку.....	15
1.2. Базові станції.....	18
1.3. Модель локалізації абонентів в просторі.....	23
Висновки до розділу 1.....	29
2. СПОСОБИ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ	
2.1. Балансування навантаження на базові станції.....	30
2.2. Розподіл навантаження при введенні в мережу нової базової станції.....	38
2.3. Розподіл навантаження при хендвері.....	42
2.4. Модифікований спосіб розподілення навантаження.....	48
Висновки до розділу 2.....	52
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ ТА МОДУЛЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ	
3.1. Структура мережі та її складові.....	53
3.2. Структура модуля, що розподіляє навантаження.....	58
3.3. Алгоритм роботи модуля.....	63
3.4. Аналіз результатів розробленого алгоритму.....	68
Висновки до розділу 3.....	71
4. ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ	
4.1. Призначення та опис програмного продукту.....	72
4.2. Опис методів, що реалізовані в програмі.....	74
4.3. Опис бази даних, що використовується в програмі.....	78
4.4. Опис інтерфейсу користувача.....	80
Висновки до розділу 4.....	88
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	89

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90
ДОДАТКИ.....	92
Додаток А. Презентація.	
Додаток Б. Копії публікацій.	
Додаток В. Фрагменти лістингу програм.	
Додаток Г. Довідка про використання результатів роботи.	

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Авторизація	- керування засобами доступу до певного захищеного ресурсу.
БС	- базова станція.
Безпроводова мережа	- тип комп'ютерної мережі, що використовує безпроводове з'єднання для виконання передачі даних та підключення до мережевих вузлів.
CDMA	- Code Division Multiple Access, кодовий роздільний доступ (кодове мультиплексування).
CSFB	- Circuit-switched fallback, резервне перемикання ланцюга.
E-UTRAN	- Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, універсальна мережа наземного радіодоступу.
ETSI	- Universal Mobile Telecommunications Standards Institute, інститут стандартів універсальних мобільних телекомунікацій.
FDD	- Frequency Division Duplex, дуплексний розподіл частот.
FDMA	- Frequency Division Multiple Access, частотний розподіл множинного доступу.
G	- Generation, покоління.
GPS	- Global Positioning System, система глобального позиціонування.
GPRS	- General Packet Radio Service, загальна послуга пакетної радіозв'язку.
GSM	- Global System for Mobile communications, глобальна система мобільного зв'язку.
3GPP	- 3rd Generation Partnership Project, партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній.

HSCSD	- High Speed Circuit Switched Data, дані високошвидкісного комутації.
HSPA	- High Speed Packet Access, високошвидкісний пакетний доступ.
HSS	- Home Subscriber Server, сервер абонентських даних мережі мобільного зв'язку стандарту LTE.
IMT-Advanced	- International Mobile Telecommunications Advanced, міжнародний мобільний зв'язок.
MIMO	- Multiple Input/Multiple Output, множинний ввів/множинний вивід.
MME	- Mobility Management Entity, суб'єкт управління мобільності.
OFDM	- Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, мультиплексування з ортогональним частотним поділом.
PCell	- Primary Cell, первинна сота.
PGW	- Packet Gateway, пакетний шлюз.
RE	- Resource Element, ресурсний елемент.
SAE	- обслуговуючий шлюз мережі LTE.
SCells	- Secondary Cells, вторинна сота.
WWAN	- Wireless Wide Area Network, безпроводна глобальна обчислювальна мережа, різновид безпроводних комп'ютерних мереж.
WLAN	- Wireless Local Area Network, безпроводова локальна мережа.
WiMAX	- Worldwide Interoperability for Microwave Access, всесвітня взаємодія для мікрохвильового доступу.

ВСТУП

Сьогодні доступ до інформації без прив'язки до конкретного робочого місця є життєво необхідним та забезпечується безпроводовими мережами передачі даних. Безпроводові мережі все більше розвиваються і це безпосередньо пов'язано зі стрімким збільшенням кількості мобільних пристроїв та появою нових стандартів і технологій для забезпечення високих швидкостей передачі даних. Задачею сучасних безпроводових мереж є забезпечення користувача миттєвим доступом до мережі Інтернет та високою швидкістю передачі даних.

В даній роботі розглянуто та проаналізовано існуючі способи розподілення навантаження на базові станції безпроводових мереж, їх основні характеристики, переваги та недоліки, структури цих мереж, досліджено алгоритми розподілу. В результаті розроблено структуру безпроводової комп'ютерної мережі та спосіб і алгоритм розподілу навантаження між базовими станціями цієї мережі, який дозволяє надати користувачеві швидкий доступ до мережі у будь-якій її частині, а також не перевантажувати базові станції.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1. Безпроводові мережі зв'язку

Від початку свого існування мобільні мережі зазнали значних змін і до цього часу продовжують стрімко розвиватись. З появою мережі Інтернет та стрімким зростанням кількості її користувачів стали все більш актуальними задачі пошуку рішень для забезпечення швидкого доступу до ресурсів мережі та збільшення швидкості передачі даних в мережі.

Безпроводові мережі базуються на цілій групі технологій, об'єднаних однією спільною ознакою: відсутністю необхідності в проводах для передачі даних на відстань від одного пристрою до іншого. На безпроводових технологіях тримається весь інтернет речей, навіть мінімальна домашня мережа не зможе функціонувати без них.

Існує широка класифікація безпроводових технологій за різними характеристиками. Також використовуються різні способи передачі інформації: радіохвилі, оптичні та інфрачервоні випромінювачі [2].

Безпроводові технології для передачі даних використовують навколишнє середовище замість кабелю, забезпечуючи при цьому користувачеві значну мобільність завдяки широкій області покриття. Вони активно розвиваються та розширюються, підвищується стабільність сигналу, зростає швидкість передачі даних, знижуються витрати. Потреба в розвитку таких технологій все більше зростає, оскільки кількість користувачів та їх потреб збільшується з кожним днем.

Найпоширеніші види безпроводових технологій за характеристикою області поширення сигналу (рисунок 1.1):

- WPAN. Персональні мережі, Bluetooth, ZigBee;
- WLAN. Локальні мережі, Wi-Fi;
- WMAN. Мережі міського масштабу, WiMAX;
- WWAN. Найглобальніший різновид мереж, GPS, EDGE, HSPA і інші.

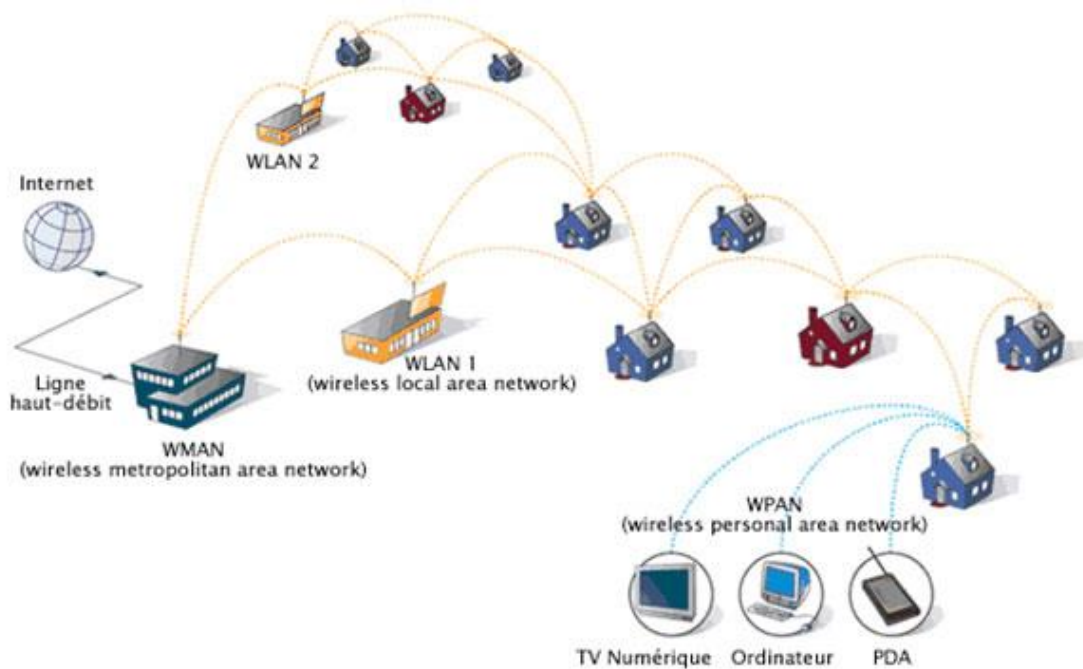


Рисунок 1.1 – мережі безпроводових технологій

Такі мережі, як WMAN та WWAN, мають найбільший радіус покриття території. WMAN охоплює місто, WWAN може поширюватись на ще більшу площу. WWAN переважно використовується для мобільного зв'язку [2].

Серія WMAN, головним представником якого є WiMAX, може покривати ціле місто. WiMAX дозволяє здійснювати доступ до мережі Інтернет з високою швидкістю та з набагато більшим покриттям, ніж у мережі Wi-Fi. Це дозволяє використовувати технологію як «магістральні канали», продовженням яких виступають традиційні DSL-ні виділені лінії, а також локальні мережі. Такий підхід дозволяє створювати високошвидкісні мережі в масштабах цілих міст.

Мережі WWAN використовують безпроводові технології стільникового зв'язку, такі як GPS, EDGE, 3G, GPRS, GSM, UMTS, CDPD, HSDPA. Дзвінки з мобільного телефону та користування мережею Інтернет зі смартфона не через Wi-Fi – це робота з мережами типу WWAN.

Працюють вони за принципом комутації каналів або пакетної передачі даних. Дані в мережі шифруються, але надійність у них не найвища [2].

Точки безпроводового доступу забезпечують підключення мобільних пристроїв та обмін даними між клієнтами з проводовою мережею. Пристрої монтується в місцях розташування користувачів, адже якість зв'язку і швидкість передачі інформації залежить від відстані між ними і точкою доступу. Точки працюють автономно або можуть управлятися централізовано за допомогою контролера. Крім прямого підключення точок доступу до проводової мережі, існує можливість непрямого підключення за допомогою безпроводових зв'язків між точками [3].

Для пристроїв, які створюють безпроводові канали зв'язку для з'єднання сегментів мереж, обирають обладнання в залежності від умов середовища експлуатації, необхідної швидкості передачі інформації та дальності з'єднання, що може становити від десятків метрів до десятків кілометрів.

Для централізованого управління точками безпроводового доступу використовують пристрої, що забезпечують:

- централізоване налаштування безпроводових мереж та сервісів;
- узгодження режимів роботи радіопередавачів для досягнення оптимального покриття та мінімізації впливу від сусідніх точок доступу і сторонніх пристроїв на роботу сервісу;
- централізовану аутентифікацію клієнтів;
- забезпечення безшовного роумінгу при переході клієнта з однієї зони доступу до іншої [3].

Такі системи можуть визначати місця розташування мобільних пристроїв та датчиків на основі аналізу властивостей їх радіосигналу, прийнятого точками доступу, що знаходяться поруч. Вони використовуються для:

- пошуку пристроїв;
- збору статистичних даних по кількості та потоку клієнтів;

- можливості надання клієнтам залежної від місця розташування інформації та реклами при інтеграції з допоміжними системами.

Безпроводові мережі чутливі до шумів та завад в радіоефірі, а також піддаються атакам зловмисників. Це пов'язано і з тим, що самі мережі не мають чітких кордонів і розповсюджуються за межі приміщень організації. Тому питання захисту даних користувачів та інфраструктури мережі в цілому є одним з основних для надійної роботи сервісу і безпеки інформації. Системи захисту важливі навіть у випадку заборони використання самого сервісу безпроводового зв'язку в організації, їх наявність вимагається, наприклад, правилами PCI-DSS. Системи захисту включають рішення для:

- детектування ворожих пристроїв, визначення їх місцезнаходження та протидії їм;
- виявлення та протидії атакам з використанням вразливостей безпроводових протоколів передачі інформації;
- аналізу якості радіоефіру, виявлення шумів та завад, визначення їх місця знаходження та налаштування роботи безпроводової інфраструктури для мінімізації впливу перешкод [3].

1.2. Базові станції

У безпроводових мережах передачі даних базова станція (БС) — це приймач радіосигналу, який виконує роль концентратора в проводових локальних мережах. Зазвичай базова станція складається з малопотужного трансивера і безпроводового маршрутизатора [4].

Найбільш складним і важливим з точки зору реалізації в будь-якій мережі безпроводового зв'язку є інтерфейс між базовою станцією (BTS) та мобільною станцією (MS) (рисунок 1.2). Найбільша складність полягає у необхідності в обмеженому частотному діапазоні при впливі перешкод передавати якомога більше інформації чим більшій кількості користувачів. Один стандарт стільникового зв'язку від іншого відрізняється в першу чергу

саме принципами організації радіоінтерфейсу. Від того, наскільки ефективно буде вирішена вищевказана проблема і залежить успіх цієї чи іншої системи стільникового зв'язку [5].

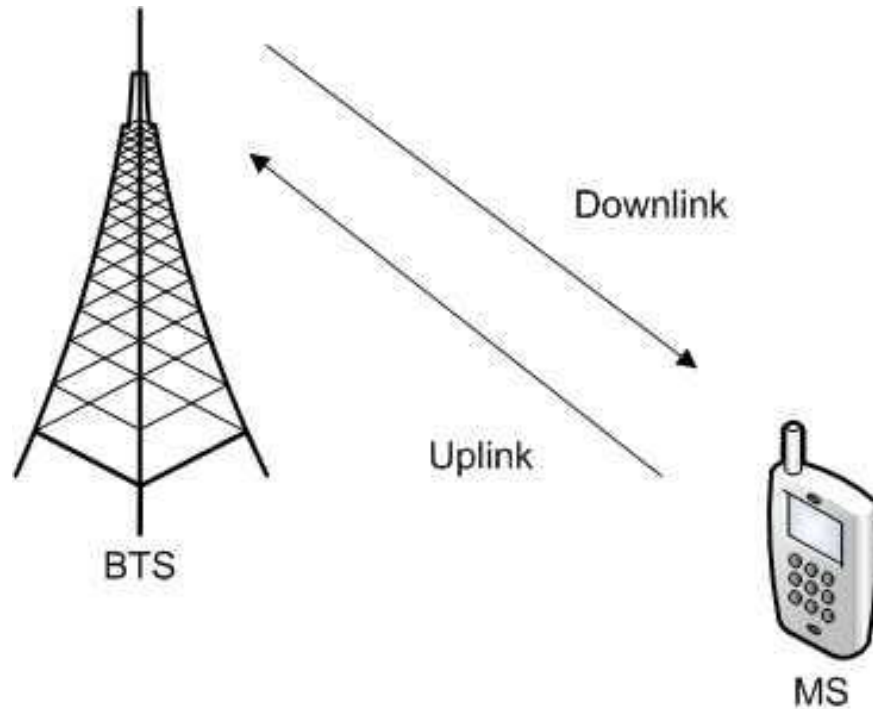


Рисунок 1.2 – Інтерфейс між базовою та мобільною станціями

Інтерференція в радіопросторі погіршує якість з'єднання, через що весь час будуть виникати помилки і потрібні будуть повторні запити, що кінцевому результату, може призвести до переривання з'єднання. Щоб уникнути виникненню інтерференції, весь частотний діапазон поділено на діапазони (смути).

Канал зв'язку від БС до мобільної станції отримав назву Downlink (DL), а від мобільної станції до базової - Uplink (UL) (рисунок 1.2). Зазвичай у всіх системах зв'язку для цих каналів однакові максимальні швидкості передачі даних і ширина частотного каналу. Після отримання частотного діапазону і розділення його на UL і DL наступним важливим завданням є розмежування доступу між абонентами в мережу. Для цього існує декілька технологій множинного доступу: FDMA (Frequency Division Multiple

Access), TDMA (Time Division Multiple Access), CDMA (Code Division Multiple Access), а також їх різновиди та поєднання [5].

Базові станції можуть керуватись місцево або дистанційно. Місцеве управління забезпечується локально з використанням обладнання для керування, що встановлене на самій базовій станції. При дистанційному керуванні управління здійснюється через диспетчерський пульта. Команди передаються з використанням сигналів змінного струму тональної частоти або сигналів постійного струму (4-20 мА). Команди проходять обробку на схемах управління на самій базовій станції. Зв'язок базової станції з диспетчерським центром виконується за допомогою виділеного телефонного каналу або через канал радіозв'язку, відмінний від каналу зв'язку з рухомими об'єктами. У деяких системах для зв'язку базових станцій з диспетчерським центром використовують чотирьохпроводові телефонні лінії або радіоканали повного дуплексного зв'язку, а інші системи використовують двопроводові телефонні лінії або напівдуплексні радіоканали [4].

Базова станція у стільниковому зв'язку є комплексом радіопередавачів (ретранслятори, прийомо-передавачі), що здійснюють зв'язок з кінцевим абонентським пристроєм — телефоном. Одна базова станція стандарту GSM може підтримувати до 12 передавачів, а кожен передавач може одночасно бути на зв'язку з 8-ма абонентами, що спілкуються. Група поряд розташованих базових станцій утворює соту. Базові станції з'єднані з комутатором стільникової мережі через контролер базових станцій. Комутатор з контролером встановлюють в одному приміщенні та з'єднують за допомогою прямої оптичної лінії. Кожна БС підключається до контролера за допомогою транспортної мережі, яка побудована на базі радіорелейних, волоконно-оптичних і мідних ліній [4].

Мережа базових станцій також може використовуватись для збору метеорологічної інформації, зокрема виміру швидкості та напрямку вітру, вияву зон турбулентності [6].

Модуль базових станцій використовується для керування та обміну даними між декількома базовими станціями, при цьому їхня кількість може змінюватись від 10 до 100. Відбувається прийом інформації від телефонних терміналів, керується процес призначення радіоканалів, контролюється процес з передачі даних від однієї БС до іншої (якщо обидві БС підпорядковуються даному модулю, з'єднання з БС інших модулів виконується підсистемою мережі і комутації MSC (Mobile Switching Centre). Головна функція цього модуля – це концентрація, яка виконує перетворення різних потоків низької ємності (з відносно низьким стиском) з базових станцій в схожі цифрові потоки, але набагато менші за допомогою більшого стискання даних, і направляє їх в підсистему мережі та комутації MSC. Структура такої мережі - це розподілена мережа модулів БС, оточених базовими станціями, які об'єднуються у великі сайти під контролем комутаторів MSC [7].

Функції контролера не обмежені лише управлінням базовими станціями. Розвиток технологій забезпечує розробників можливістю мати обладнання для перетворення цього елемента у повноцінний комутаційний центр у вигляді системи сигналізації з центром комутації стільникового рухомого зв'язку, а для з'єднання з мережею Інтернет — з підсистемою GPRS. Функція для обміну даними з підсистемою підтримки (Operation Support Subsystem, OSS) робить цей елемент незамінним для здійснення моніторингу стану мережі [7].

Модулі побудовані з використанням архітектури для розподілу обчислень, що дозволяє зберегти стійкість при великій кількості елементів, що некоректно працюють, гарантуючи працездатність в критичних умовах.

База даних, де зберігається вся інформація про сайти мережі, робочі частоти, списки змінних несучих, потужності обладнання, охоплення території — вся дана інформація зберігається в пам'яті модуля базових станцій. Вона використовується при плануванні, будівництві та експлуатації

мережі, допомагаючи контролювати рівень поширення сигналу і передачу трафіку [7].

Оператори, які будують такі складні структури мереж, можуть зустрітись з проблемами, пов'язаними з налаштуванням роботи систем. На етапі планування мереж проєктувальники вдаються до різних математичних моделей розрахунку і прогнозування покриття та абонентського навантаження. Але ці моделі використовуються тільки на етапі планування мереж або при введенні в експлуатацію нових базових станцій. Коли ж мережа вже в експлуатації, аналіз роботи мережі здійснюється за допомогою оцінки статистичних даних щодо подій в системі, використовуючи різні аналітичні програмні комплекси [10]. Існує декілька показників якості, які можна оптимізувати і які характеризують роботу мережі в цілому і окремих її складових:

- ціна системи або окремих її вузлів;
- пропускна спроможність системи;
- хендоверні характеристики;
- інтерференційні показники.

Не дивлячись на те як стрімко розвиваються мережі мобільного зв'язку в області радіочастотного ресурсу, вищеперераховані показники якості необхідно тримати під безперервним контролем і управлінням. Якщо система побудована і її функціонування за певними показниками якості задовільне, то це не означає, що потрібно забути про моніторинг якості системи. Абонентське навантаження постійно зростає, створюючи, в певних частинах мережі перевантаження і впливає, тим самим, на інші показники якості, наприклад, невдалі хендовери за рахунок перевантажень, як на каналах трафіку, так і управління [10].

Основними показниками якості роботи мережі для мобільних мереж зв'язку є абонентське навантаження (GoS Grade of Service - відсоток відмов) і хендоверні характеристики. У зв'язку з цим, для контролю та оптимізації

якості обслуговування абонентів необхідно знати, як розподілене абонентське навантаження, тобто кількість абонентів в просторі і часі.

Транскодер відповідає за перекодування кодування голосового каналу між кодуванням, що використовується в мобільній мережі, і кодуванням, що використовується світовою мережею з комутацією каналів, Громадською комутованою телефонною мережею. Зокрема, GSM використовує кодер регулярного імпульсного довгострокового прогнозування (RPE-LTP) для передачі голосових даних між мобільним пристроєм та BSS, але модуляцію імпульсного коду (А-закон або μ -закон, стандартизований в ITU G.711) перед BSS. RPE-LPC кодування призводить до швидкості передачі даних для голосу 13 Кбіт/с, де стандартне кодування РСМ призводить до 64 Кбіт/с. Через цю зміну швидкості передачі даних для одного і того ж голосового виклику, транскодер також має функцію буферизації, так що 8-бітні слова РСМ можуть бути перекодовані для побудови блоків трафіку GSM 20 мс [4].

Блок управління пакетами (PCU) - пізніше доповнення до стандарту GSM. Він виконує деякі завдання обробки BSC, але для пакетних даних. Розподіл каналів між голосом і даними контролюється базовою станцією, але як тільки канал призначений PCU, PCU бере повний контроль над цим каналом.

PCU може бути вбудований в базову станцію, вбудований в BSC або навіть, у деяких запропонованих архітектурах, він може бути на сайті SGSN. У більшості випадків PCU - це окремий вузол, який широко взаємодіє з BSC на радіотехнічній стороні та SGSN на стороні Gb [4].

1.3. Модель локалізації абонентів в просторі

Перша встановлення з'єднання мобільної станції з БС здійснюється за напрямом «вгору» (напрямок від мобільної станції до базової станції). Дане з'єднання відбувається у вигляді пакету доступу (AB - access burst) по каналу паралельного доступу (RACH - random access channel) [10].

Пакет доступу характеризується тим, що крім послідовності синхронізації (49 біт) і бітів кодування (39 біт) також передається інформація про часову затримку поширення сигналу від мобільної станції до базової станції. Інформація про часову затримку віддається в захисному інтервалі (GP - guard period), часова тривалість якого становить 68.25 біт або 252 мкс.

Використовуючи ці дані, можна визначити відстань між базовою станцією і мобільною станцією, яка може бути записана у вигляді

$$R = \frac{D_{RT}}{2} (TA),$$

де: TA – час затримки для звичайного радіусу сот; D_{RT} – відстань від мобільної станції до базової станції, яка визначається

$$D_{RT} = vt,$$

де: v – швидкість світла $3 \cdot 10^8$ [м/с]; $t = 1$ біт = 48/13 [мкс] [10].

Незважаючи на те, що апаратно-програмна реалізація обладнання центру комутації і контролера базових станцій мають багато можливостей, неможливо оцінити кількість абонентів, що одночасно обслуговуються в поточній соті і число системних подій на кожного абонента, що обслуговується в цій соті окремо.

Таким чином, для визначення абонентського навантаження в просторі необхідно виконати прив'язку кількості прийнятих результатів вимірювань до абонентського трафіку при занятті каналу. Але слід враховувати і те, що при будь-якому доступі в систему мобільною станцією результати вимірювань передаються не тільки на канали трафіку, а й на канали управління [10].

Нижче приведено список процесів, що пов'язані з заняттям каналу управління SDCCN:

- оновлення розташування (Location Updating);
- включення і виключення мобільної станції (IMSI Attached / Detach);
- вхідний/вихідний дзвінок (Terminated / Originated Call);

- передача/прийом коротких повідомлень (SMS);
- вхід/вихід факсимільного повідомлення.

Експериментально було досліджено, що час зайнятості SDCCN каналу при різних видах доступу мобільною станцією відрізняється, а тому і кількість результатів вимірювань, що передаються. Загальне навантаження на каналах трафіку і каналах управління також впливає на час заняття каналу SDCCN [10].

Нижче наведені результати 20 спроб установки вихідних/вхідних дзвінків, а саме: час зайнятості SDCCN каналу, а також кількість переданих результатів вимірювань при різних спробах встановлення зв'язку між мобільною станцією і системою (рисунки 1.3 – 1.4).

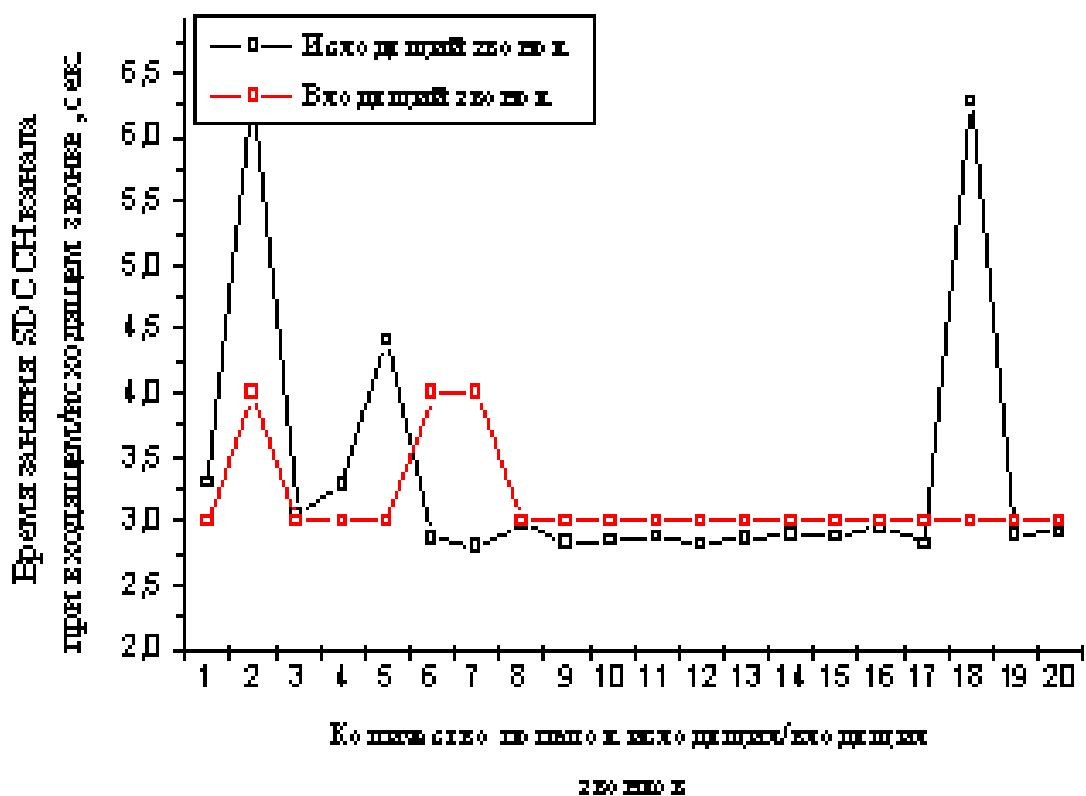


Рисунок 1.3 - Час зайнятості SDCCN каналу для вхідних/вихідних дзвінків

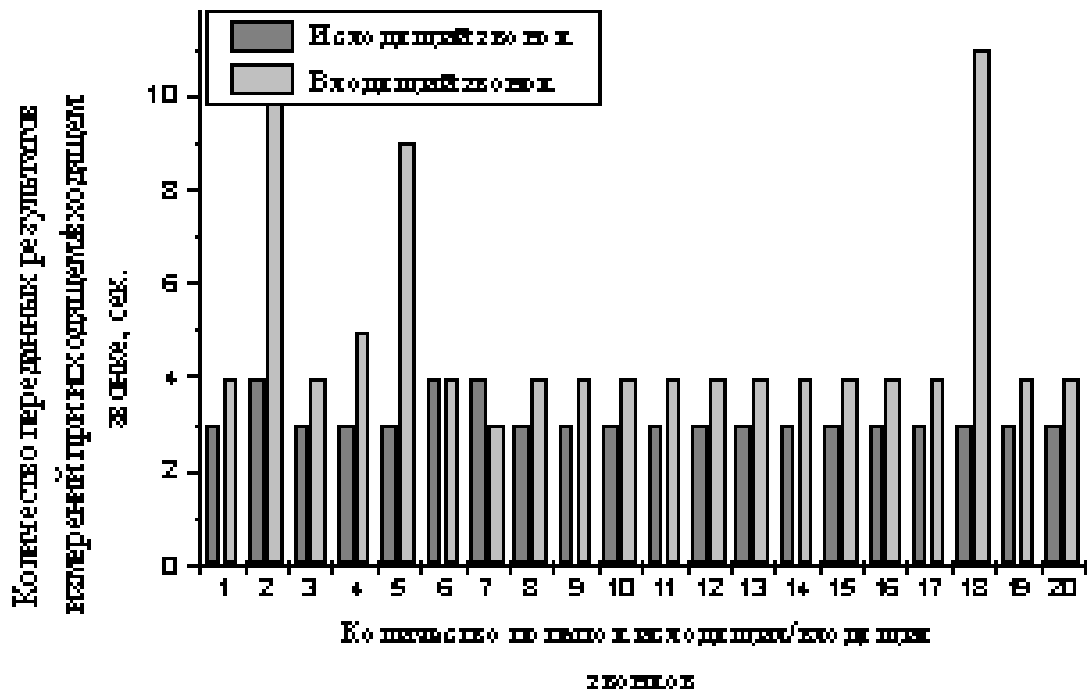


Рисунок 1.4 - Кількість результатів вимірювання, що передаються для вхідних/вихідних дзвінків

Часово-просторовий розподіл абонентського трафіку досить ефективний. По-перше, він дозволяє наочно локалізувати абонентський трафік в просторі. По-друге, визначити динаміку переміщення абонентського трафіку в часі. По-третє, він визначає ефективну і діючу зони обслуговування, а також зонні «острови» - зони недосягання чи поганого досягання зв'язку (рисунок 1.5).

Оператори, використовуючи даний метод, можуть виконувати заходи для усунення острівних зон, покращуючи якість обслуговування абонентів. Бувають випадки, коли є більш доречним для якості обслуговування абонентів, не забезпечувати зв'язок на таких далеких відстанях [10].

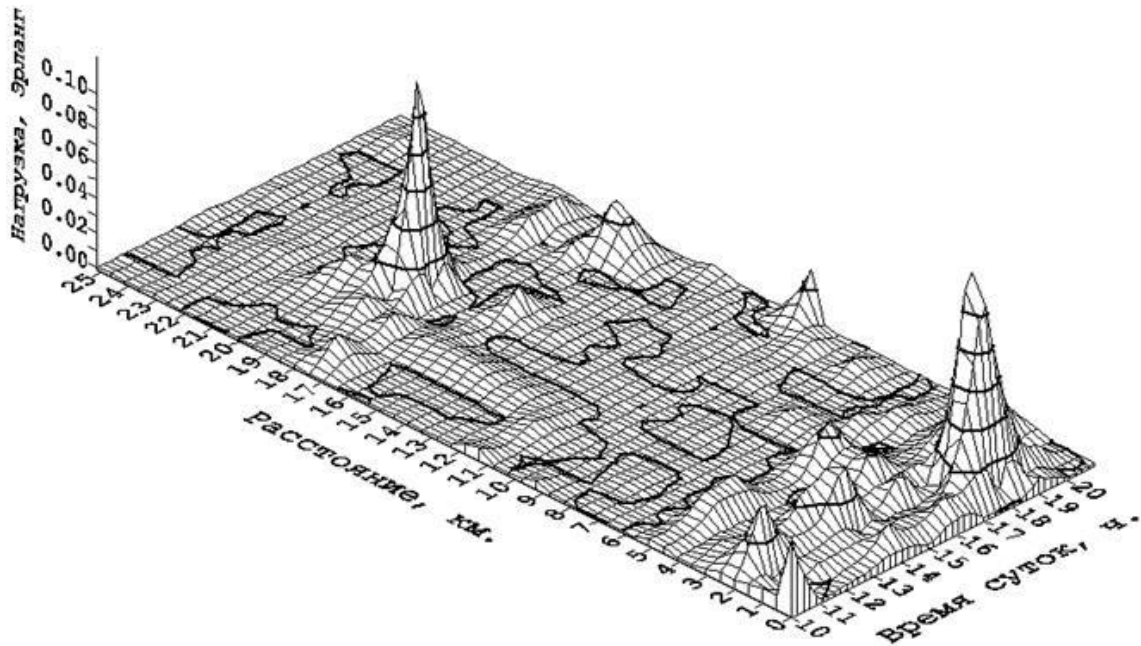


Рисунок 1.5 - Часово-просторовий розподіл абонентського трафіку

Під час дослідження розподілу абонентського трафіку в дводіпазонних сотах недостатньо оцінювати лише часово-просторовий розподіл. Оскільки це пов'язано з тим, що дводіпазонні стільники, що мають однакові географічні координати і працюють з однією азимутальною прив'язкою антенних систем, обслуговують один і той же просторовий сектор (випадок секторного побудови сот), і цим ділять навантаження між собою в різних співвідношеннях. Тому, крім оцінки часово-просторового розподілу трафіку, необхідно оцінювати розподіл сумарного трафіку дводіпазонних сот протягом доби, а також частку навантаження, яка забирається з кожної сотої окремо (рисунок 1.6).

Крім сумарного та дольового трафіку необхідно оцінювати перевантаження, як на каналах трафіку, так і на каналах управління з урахуванням певної кількості радіоканалів трафіку і підканалів управління [10].

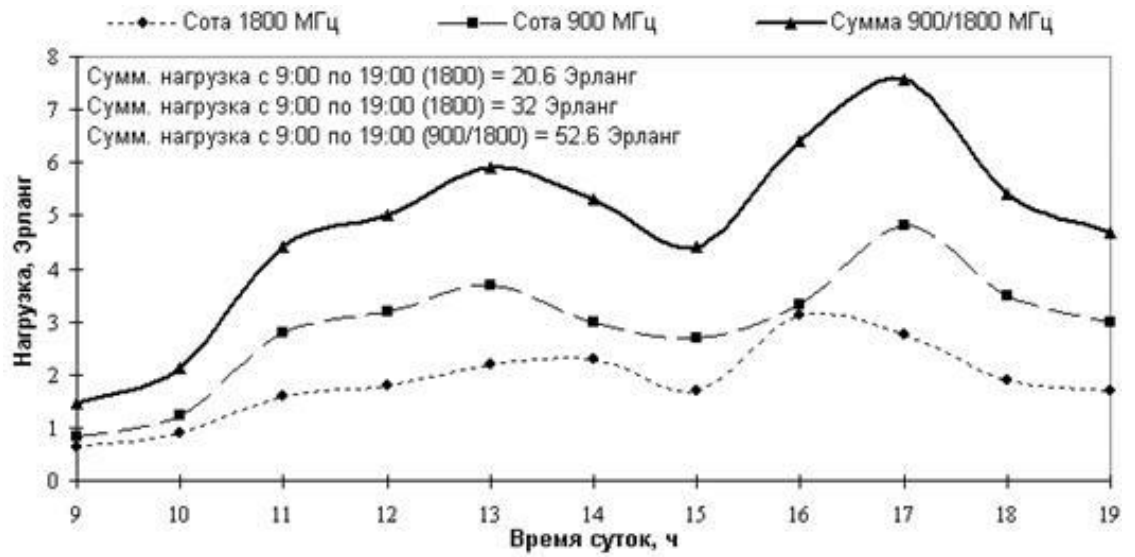


Рисунок 1.6 - Розподіл сумарного абонентського трафіка для дводіапазонних сот на протязі доби

Висновки до розділу 1

Проаналізовано основні характеристики безпроводових мереж та їх стрімке поширення в сучасному світі, та показано, що їх актуальність і надалі буде зростати. Доведено, що збільшення кількості користувачів породжує проблему з навантаженням існуючих мереж та створює необхідність у пошуку вирішення цієї проблеми. Розглянуто основні характеристики безпроводових мереж та проаналізовано характеристики й особливості базових станцій, як керуючих частин безпроводових мереж, та визначено, що питання навантаження на ресурси безпроводових мереж є і на сьогодні надзвичайно актуальними.

Доведено, що на теперішній час виникає необхідність оцінювати не лише часово-просторовий розподіл, а й розподіл сумарного трафіку сот протягом доби, а також частку навантаження, що забирається кожною сотою окремо, щоб коректно розподіляти навантаження на базові станції та забезпечити якісним зв'язком усіх користувачів.

2. СПОСОБИ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ

2.1. Розподіл навантаження на базових станціях в мережах LTE

Проблема безпроводових мережах полягає в тому, що користувачі розміщені на території не рівномірно. Причиною цьому є скупчення всередині громадських закладів, парків, переміщень з масовим скупченням абонентів на протязі дня. Як наслідок, навантаження базових станцій не рівномірне, оскільки деякі з них можуть не використовуватись або використовуються дуже мало, а інші можуть бути перевантажені та надавати абонентам не якісні послуги. Базові станції у безпроводових мережах LTE мають основні зони, що не перетинаються та периферійні зони, де можливий вибір базової станції, до якої потрібно підключити користувача. Має бути реалізований критерій вибору, що буде враховувати швидкість обслуговування користувача, загасання, затримку сигналів. Таким чином, користувачі будуть розподілені і підключені до менш завантажених базових станцій з кращими характеристиками якості обслуговування.

Для реалізації мережі потрібно визначити радіус покриття кожної базової станції та розташування абонентів в мережі. Для визначення розмірів основних та периферійних зон використовується SUI – модель, що розповсюджує радіохвилі. Вона базується на результатах аналізу експериментальних досліджень роботи безпроводових мереж з частотним діапазоном 1,9-3,5 ГГц, оскільки на частотах більше 5 ГГц знижується точність результатів розрахунків. Умови для застосування системи поширення радіохвиль наступні [8]:

- радіус сот в межах 100 м - 8 км;
- антени для приймачів вмонтовані на дахах або стінах з піднесенням 2-10 м;
- висота для підвісу антени базової станції від 10 до 80 м.

Ймовірність прийому в соті взята високою: 80-90%. Метод базується на результатах експериментальних досліджень роботи безпроводових мереж з визначеним частотним діапазоном.

Розрізняють три види місцевості:

- вид А – характеризується максимальним загасанням сигналу в радіоканалі та горбистою поверхнею місцевості, вкритою як помірною, так і густою рослинністю;
- вид В – характерне помірне загасання сигналу в радіоканалі та виділяється горбистою з невеликою рослинністю місцевістю або рівним рельєфом з щільною рослинністю від помірної до великої;
- вид С – характеризується мінімальним загасанням сигналу в радіоканалі та вирізняється плоским рельєфом з не густою рослинністю [8].

Для моделі було визначено частотний діапазон 2,1 ГГц, вид місцевості вибрано В.

Загасання сигналу визначається за формулою:

$$L = \left[A + 10 \left(a - bh_y + \frac{c}{h_y} \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) \right) \right] + X_f + X_h + y_v x,$$

де A – втрачена потужність при розповсюдженні хвилі у просторі на відстань, що дорівнює опорному віддаленню d_0 ; a, b, c – константи, які залежать від виду місцевості; h_y – висота підвісу антени передавання; d – відстань до місця кріплення передавальної антени; X_f – коригуючий частотний параметр; X_h – коригуючий параметр, що зумовлений висотою підвісу приймальної антени h ; y_v – значення середньоквадратичного відхилення величини послаблення потужності; x – випадкова величина, визначена за нормальним законом розподілу з нульовим показником математичного очікування та середньоквадратичним одиничним відхиленням [8].

Чим вище прикріплена антена, тим менші будуть значення загасання сигналу. При розрахунку радіусу покриття враховується також потужність передавача, чутливість приймача та загасання в каналі.

Для дослідження висоти підняття антени – 10 м, координати для базових станцій визначаються рандомним чином, проте враховується умова, що основні зони не повинні перетинатись. Абоненти також розміщуються рандомно. Результати після моделювання покриття представлено на рисунку 2.1 [8].

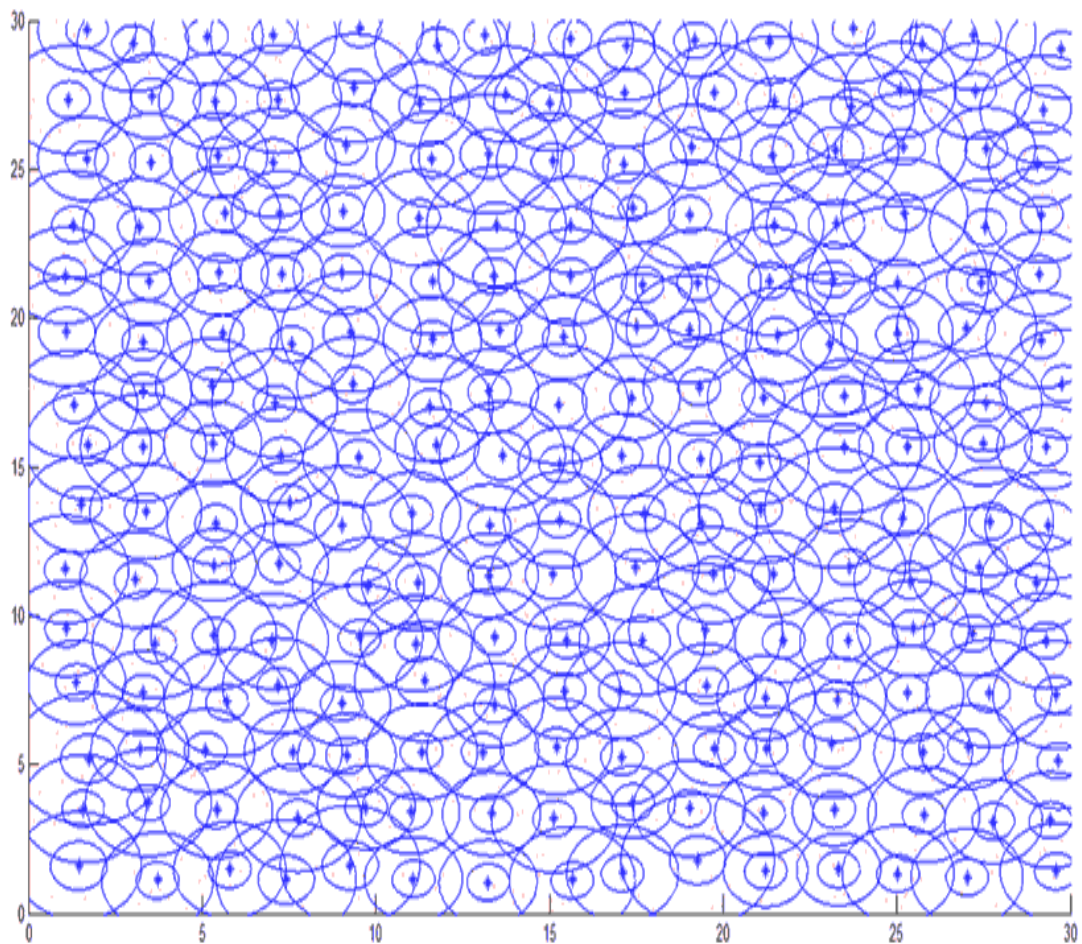


Рисунок 2.1 – Розташування базових станцій і покриття

На рисунку 2.1 зображено територію 30 на 30 км. Позначення: зірочки - базові станції, точки - користувачі. Біля кожної з базових станцій зображено основну та периферійну зони. Насправді антени базових станцій

не мають такої ідеальної кругової форми, але в моделі, що досліджується, допущено дане спрощення.

На рисунку 2.1 можна побачити перетин периферійних зон двох чи чотирьох базових станцій і саме для користувачів, які знаходяться в цих зонах, потрібно визначити базові станції, які будуть їх обслуговувати.

Для забезпечення найкращою якістю зв'язку, послуги потрібно розділити на декілька категорій, щоб надалі мати можливість покращити показники QoS (Quality of service) по різному окремо для кожного виду.

Основні послуги безпроводової мережі LTE: VoIP, IPTV, інтернет. Послуга інтернет розуміється як завантаження вебсторінок, файлів та інших додатків. Для кожної послуги потрібно задати швидкість виконання роботи. При використанні для послуги VoIP голосового кодека G.711 необхідно забезпечити пропускну спроможність, яка складе 90 Кбіт/с. Для послуги IPTV використовується 4 Мбіт/с, для інтернету - 5 Мбіт/с. Дані можна змінювати в моделі [9].

Для голосового трафіку визначається найвищий пріоритет, де швидкість з'єднання залишається постійною і не знижується. Для двох інших послуг при перевантаженні швидкість з'єднання на базовій станції буде знижуватися. Відсотковий розподіл користувачів в мережі: VoIP - 10%, IPTV - 45%, інтернет - 45%. Співвідношення може змінюватись, але такі значення обрані для моделі, що досліджується, оскільки передбачається, що мережа LTE буде надавати широкосмуговий доступ.

Для визначення базової станції, до якої потрібно підключити абонента, необхідно проаналізувати параметри каналів зв'язку, характер трафіку, вибрати оптимальний варіант розподілу навантаження, який дозволить зберегти прийнятні характеристики обслуговування.

Кожен вид трафіку має свої характеристики вимог до параметрів каналів зв'язку. Якщо голосовий трафік більш чутливий до затримок в мережі та їхніх відхилень, то передача даних може реагувати на утворення та втрату пакетів. Тому доцільно ввести функцію корисності для кожного

виду переданих даних, яка виконує оцінку каналу зв'язку для передачі цього трафіку в поточний момент [9].

Для трафіку голосового визначають залежність функції корисності u від допустимої пропускної спроможності b і вона буде мати наступний вигляд:

$$U_b = \frac{\text{sgn}(b - B_{min}) + 1}{2},$$

де B_{min} – мінімальна пропускна спроможність, яка потрібна для роботи кодека і протоколу голосового зв'язку; b – пропускна спроможність, що надається.

Передача даних з відеовмістом в режимі реального часу подібна до передачі голосу за своїми характеристиками, однак при використанні методів для кодування та контролю джитеру затримки допустиме зниження пропускної спроможності [8].

До смуги пропускання найменш вимогливою є передача даних. Функція, що визначає корисність для даного виду трафіку така:

$$U_b = \frac{\log(b + 1)}{\log(B_{max} + 1)}$$

де B_{max} – максимальна пропускна спроможність; b – пропускна спроможність, що надається.

На якість обслуговування впливає затримка при доставці даних. Також як і для пропускної спроможності, залежність якості обслуговування від затримки у кожного типу трафіку своя. Найбільш чутливими до затримок є передача голосових та відео повідомлень, особливо з використанням алгоритмів стиснення з високим коефіцієнтом. За рекомендацією ІТУ-Т G.114 для того, щоб забезпечити якість голосового зв'язку вище за середню, то наскрізна затримка має бути менша 400 мс. Для передавання відео даних затримка має становити 1000 мс. Джитер також має вплив на передачу повідомлень з вмістом голосу і відео. Для голосу є обмеження, що становить 10 мс [9].

Таким чином, сформовано залежності рівня забезпечення потреб користувачів відносно затримки, джитера та пропускної спроможності, при користуванні кожної з трьох послуг. В результаті вагомим критерієм є добуток трьох показників на коефіцієнт, що визначає затухання:

$$K = U_b U_t U_j c$$

де U_b – показник корисності для пропускної спроможності; U_t – показник корисності для затримки; U_j – показник корисності для джитера; c – коефіцієнт, що враховує згасання.

Рисунок 2.2 наочно відображає стан безпроводової мережі перед виконанням алгоритму досліджуваної моделі, де зображено перевантаження центральної базової соти та низьке завантаження сусідніх базових станцій.

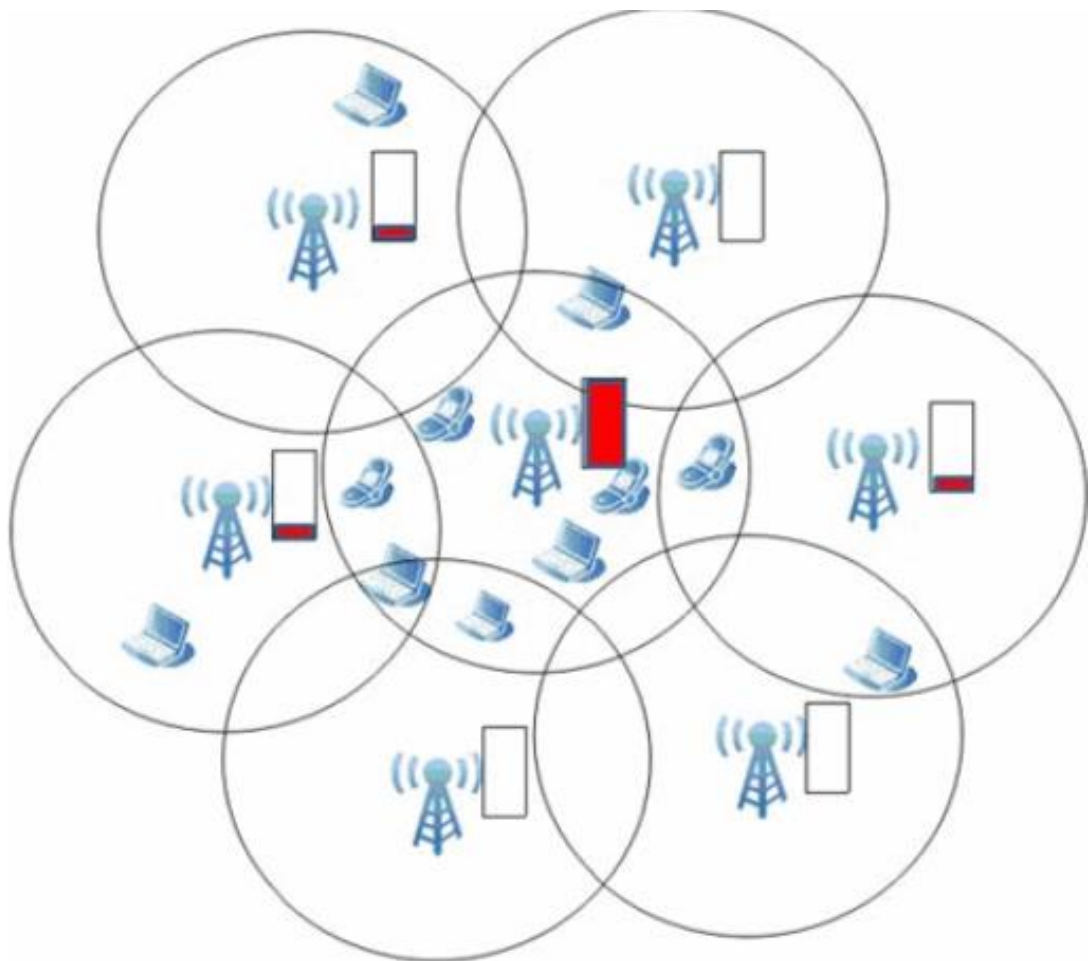


Рисунок 2.2 – Мережа до застосування алгоритму моделі

Запропонований спосіб, що дозволяє абонентам, що перебувають у русі, перемикатися на менш завантажену базову станцію. Такий підхід дозволяє базовим станціям ініціювати процес хендовера, що надає можливість більш рівномірно розподіляти навантаження між базовими станціями.

Рисунок 2.3 наочно відображає роботу досліджуваної моделі, де зображено результат виконання алгоритму основної програми розподілу навантаження. Послідовність дій, яка виконується даною моделлю така:

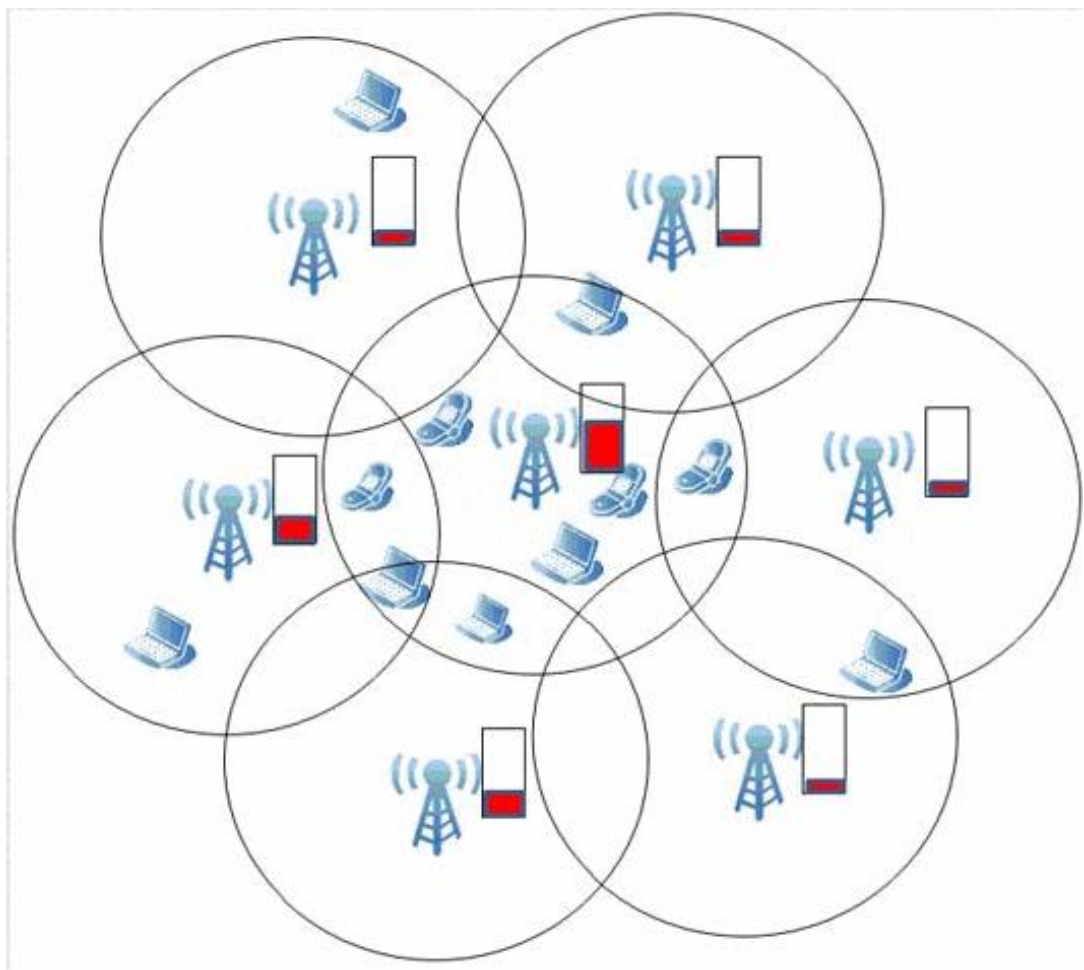


Рисунок 2.3 – Мережа після застосування алгоритму моделі

1. Задаються параметри мережі, координати розташування базових станцій, координати абонентів, робоча частота, частотний діапазон та ін.

2. Визначається для кожної базової станції основна та периферійна зони, з використанням моделі SUI (Stanford University Interim).
3. Абоненти, розташовані в основних зонах, відразу підключаються до відповідних базових станцій.
4. Для користувачів, які в периферійних зонах, виконується алгоритм вибору базової станції.
5. Спосіб для визначення базової станції проводить розрахунок критерію вибору та визначає максимальний критерій.
6. Відбувається перевірка, чи не перевантажена базова станція.

Для моделі, яка досліджується встановлена максимальна пропускна спроможність БС, що дорівнює 40 Мбіт/с. Ця цифра відповідає пропускній спроможності LTE-FDD (Frequency Division Duplex), при ширині каналу 20 МГц. При навантаженні на базову станцію, яке перевищує 40 Мбіт/с, швидкість з'єднання абонентів з інтернетом знижується і при наступній ітерації алгоритму буде обрана інша, менш завантажена станція.

7. Описаний алгоритм виконується до тих пір, поки всі базові станції будуть перевантажені менше максимальної пропускної спроможності.

Алгоритм роботи такої моделі зображено схематично на рисунку 2.4.

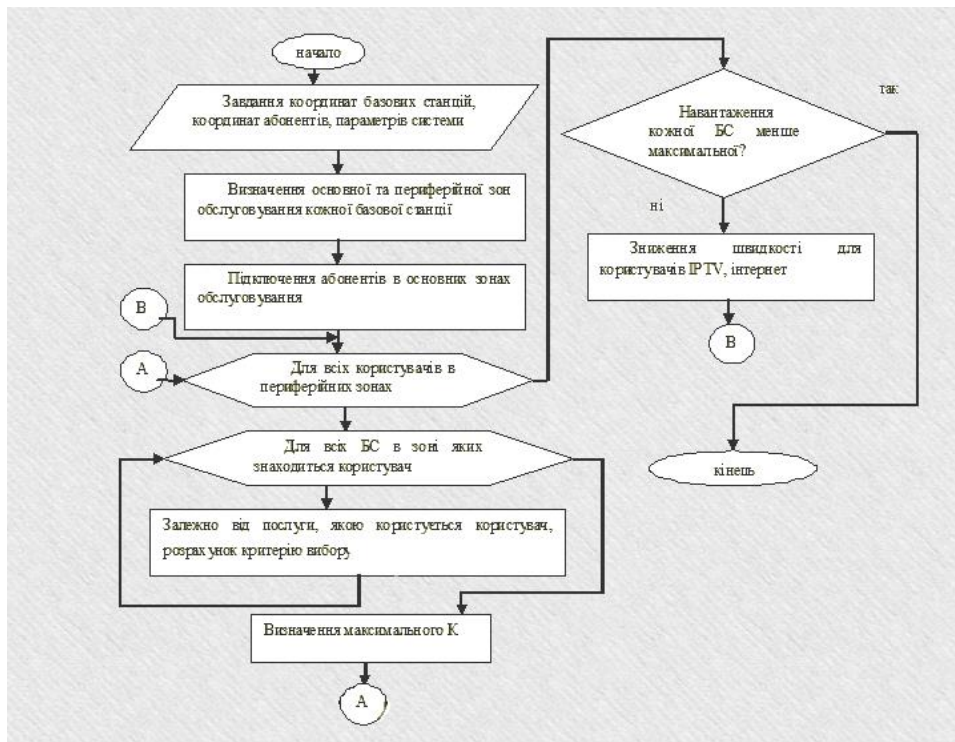


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи моделі розподілу навантаження в мережах LTE

2.2. Розподіл навантаження при введенні в мережу нової базової станції

Навантаження на базової станції посилюється зі збільшенням кількості абонентів, які обслуговуються у співвідношенні до розміру трафіка, який необхідний, пропускною спроможністю висхідного/низхідного каналів, зі збільшенням частоти відмов у передачі та зменшенням рівня надійності каналів зв'язку. Цим самим збільшується потреба в додаткових частотах для збільшення пропускної спроможності мереж. Для вирішення цієї проблеми потрібний досить великий радіочастотний ресурс, а, отже, більша кількість базових станцій та правильне розподілення навантаження між ними.

Для початку розглянуто алгоритм аналізу та балансування навантаження за допомогою введення нової базової станції для розширення самої мережі та для зменшення навантаження на інші.

1. Прийняття рішення про розширення мережі.

На даному етапі проводиться аналіз роботи мережі в поточній соті. Визначається, чи потрібно додавати нову базову станцію, чи достатньо активувати додаткові системні опції, наприклад, динамічний розподіл навантаження між сотами.

2. Розрахунок покриття суміжних зон обслуговування.

Даний крок відноситься до етапу прогнозування. З використанням розрахункових програмних засобів, на даному етапі визначається радіочастотне покриття, як всієї безпроводової мережі, так і кожної соти окремо [10].

3. Визначення об'єктів статистичного дослідження.

Необхідно відзначити, що основною інформацією для проведення аналізу розподілу міжсотового трафіку є не покриття в чистому вигляді, отримане на попередньому кроці, а суміжні зони обслуговування сусідніх сот, які є безпосередніми кандидатами на хендовер та на розподіл міжсотового трафіку. Таким чином, на даному етапі визначаються соти, які будуть потенційними сусідами для соти базової станції, що вводить в експлуатацію.

4. Визначення вихідних параметрів сот.

Одночасно з визначенням сусідніх сот, визначаються їх частоти, які, в свою чергу, будуть прописуватися в списку висхідних/низхідних несучих для кожної нової соти. Дані частоти прослуховуються мобільними станціями, і потрібні для того, щоб знати на яку соту з якою частотою здійснювати хендовер. Необхідно виключити стільники з однаковими частотами зі списку сусідніх сот. Виняток робити виходячи з найбільших суміжних зон обслуговування, а також їх віддаленості від базових станцій.

5. Введення інформації про нову базову станцію.

Після того, як складені списки кандидатів на хендовер, а також відповідні їм номери висхідних/низхідних несучих, необхідно прописати всю системну інформацію про нову базову станцію в контролер базових станцій. До останньої відноситься:

- висхідні/низхідні частоти для випадку декількох сот-сусідів;
- списки висхідних/низхідних несучих сусідніх сот;
- інформація про поведінку мобільних станцій в сотах роботи з базовою станцією, як в режимі IDLE, так і ACTIVE і т.д [10].

Необхідно відзначити, що після введення інформації про нову базову станцію, остання не запускається ні в тестову, ні в комерційну експлуатацію.

6. Запис статистики.

На даному етапі, активується статистика з аналізу часово-просторового розподілу трафіку на визначені сусідні соти. Часово-просторовий розподіл трафіку визначається короткочасними і довготривалими записами статистики. Довгострокові записи - це записи статистики за тривалий часовий інтервал (добу, кілька діб, тиждень). Короткочасні записи - період запису статистики всередині одного довгострокового запису (хвилина, година, кілька годин). Звичайно, чим менше інтервал короткочасного запису, тим детальніше часово-просторова картина розподілу трафіку.

7. Контроль роботи сот в період запису статистики.

Даний крок передбачає собою моніторинг роботи модулів дослідження в період запису статистики за даними об'єктам. Основним контрольованим параметром є простій об'єкта дослідження. Перерахуємо об'єкти дослідження, над якими повинен бути встановлений контроль:

- базова станція (причина зупинки: розрив з'єднувального тракту між контролером базових станцій і самою базовою станцією, вимикання живлення базової станції, вихід з ладу одного з головних механізмів бази тощо);
- група базових станцій, сот (причина зупинки: розрив каскадного з'єднання базових станцій, розрив оптичного кільця, в яке включена група базових станцій і т.д.);

· сота (причина зупинки: вихід з ладу приймача, вихід показників в антенно-фідерному тракті стільника за допустимі межі, вихід з ладу одного з головних механізмів бази тощо).

8. Запис статистики поточного стану мережі.

9. Перевірка моніторингу.

Якщо хоча б один з об'єктів дослідження виходив з роботи в період зняття статистики, то виконується перехід до пункту 10, якщо поломка не було, то до пункту 11.

10. Деактивація і активація нової статистики.

11. Запис статистики в базу даних.

У базі даних зберігається інформація про добовий трафік для кожного з досліджуваних об'єктів, перевантаження, середній час зайнятості каналу, а також просторовий розподіл абонентів. Дана інформація, що зберігається, необхідна в подальшому для аналізу перерозподілу абонентського трафіку після введення в експлуатацію нової базової станції.

12. Запуск в експлуатацію нової базової станції.

На даному етапі, активізуються приймачі сот базової станції – відбувається запуск в експлуатацію нової базової станції [10].

13. Запис статистики.

Активується статистика з аналізу часово-просторового розподілу абонентського трафіку між новою базовою станцією і сусідніми сотами. Оскільки, спочатку невідомо, чи правильно налаштоване міжсотове співвідношення, мережеві параметри нової базової станції і сусідніх сот не можна активувати збір статистики на довгий час. Тому, досить активувати короткочасний запис (максимально добу).

14. У разі якщо в експлуатацію вводиться обласна базова станція, то є необхідність проводити аналіз часово-просторової статистики за кілька діб. Для обчислення останнього необхідно скористатися виразом (7).

15. Перевірка розподілу міжсотового трафіку.

Після того, як виконано збір статистики з нововведеної базової станції, а також з її сусідів, необхідно зіставити дані, отримані на кроці 6, 8 існуючого алгоритму і дані, отримані після системних нововведень. На даному етапі приділяється більше уваги часовому-просторовому розподілу трафіку, а часовому, за період вимірювання. І на цьому етапі вже цікавлять максимальні значення навантаження і перевантаження в сотах при заздалегідь встановлених системних параметрах, визначених міжсотових співвідношеннях і активних системних опціях. У разі якщо результати не задовільні, то необхідно вдаватися до методів регулювання перерозподілу трафіку - крок 16, якщо ж все задовільно, то необхідно перейти до кроку 17 [10].

16. Регулювання абонентського трафіку.

У разі якщо після запуску чергової базової станції в експлуатацію або активації нової системної опції, виявляється, що прогнозована якість обслуговування абонентів незадовільна: нерівномірність розподілу трафіку, невдалі хендовери, скинуті з'єднання, то необхідно вдаватися до своєчасного регулювання якості обслуговування абонентів. Оскільки мова йде про абонентський трафік, то і до його врегулювання. Методи регуляції останнього диференціюються на кілька категорій:

- 1) регуляція потужних характеристик (16, 17);
- 2) регуляція кутом нахилу антен базових станцій (18);
- 3) регуляція обмеженням за часовою затримкою поширення сигналу між мобільною і базовою станцією (19);
- 4) регуляція міжсотових співвідношень (20 -22);
- 5) регуляція з використанням додаткових системних опцій, наприклад, (1).

17. Запис до бази даних і складання звіту.

Отримані дані записуються в базу даних для можливості використання останніх в майбутньому, наприклад, побудови тренду

зростання трафіку, в окремому територіальному районі. Після цього складається звіт про виконану роботу, з коментарями і рекомендаціями [10].

2.3. Розподіл навантаження при хендовері

Процес хендовера може бути спричинений як рухомим вузлом, так і базовою станцією, в результаті вимірів якості сигналу прилеглих базових станцій і порівняння його з заданим граничним значенням. Рухомі вузли, для яких якість сигналу прилеглих базових станцій близька до граничного значення, розглядаються базовою станцією як потенційні кандидати для виконання хендовера.

У запропонованій модифікації способу розподілу навантаження в базові станції додається модуль, для оцінки значення пропускної спроможності висхідного каналу, а також додано порогове значення його пропускної спроможності дорівнює 75% від максимальної. Таким чином, коли значення поточної пропускної спроможності досягає порогового, базова станція виконує розсилання повідомлень всім рухомим вузлам та виконує перевірку на наявність менш завантажених сусідніх зон для переключення рухомих вузлів. Якщо є в наявності такі сусідні зони з меншим завантаженням, то базова станція надсилає повідомлення всіх кандидатів про необхідності їх перемикання [11].

Для запуску хендовера конкретного потрібне виконання таких умов:

- різниця співвідношення сигнал-шум в соті обслуговування базової станції повинна бути не більше 5 ДБ ($\Delta S \leq 5$):

$$\Delta S = S_n - S_{n-1}, S_n = \frac{P_{S_n}}{P_{n_n}}, S_{n-1} = \frac{P_{S_{n-1}}}{P_{n_{n-1}}},$$

де S_n - відношення сигнал-шум для соти, в яку переходить вузол; S_{n-1} - відношення сигнал-шум в поточній соті; P_S - середня потужність сигналу; P_n - середня потужність шуму;

- сота, в яку переходить абонент, повинна мати не менше 25% вільної пропускної спроможності висхідного каналу.

Після оцінки якості сигналу для всіх рухомих вузлів і вибору відповідних вузлів для перемикання проводиться ініціювання процесу хендовера. На рисунку 2.5 показана діаграма обробки хендовера відповідно до запропонованої модифікації способу, на якій показано процес передачі повідомлень (DSAREQ, MOB_BSHO-RSP, MOB_BSHO-RSP, MOB_HOIND) між рухомими вузлами і базовими станціями [11].

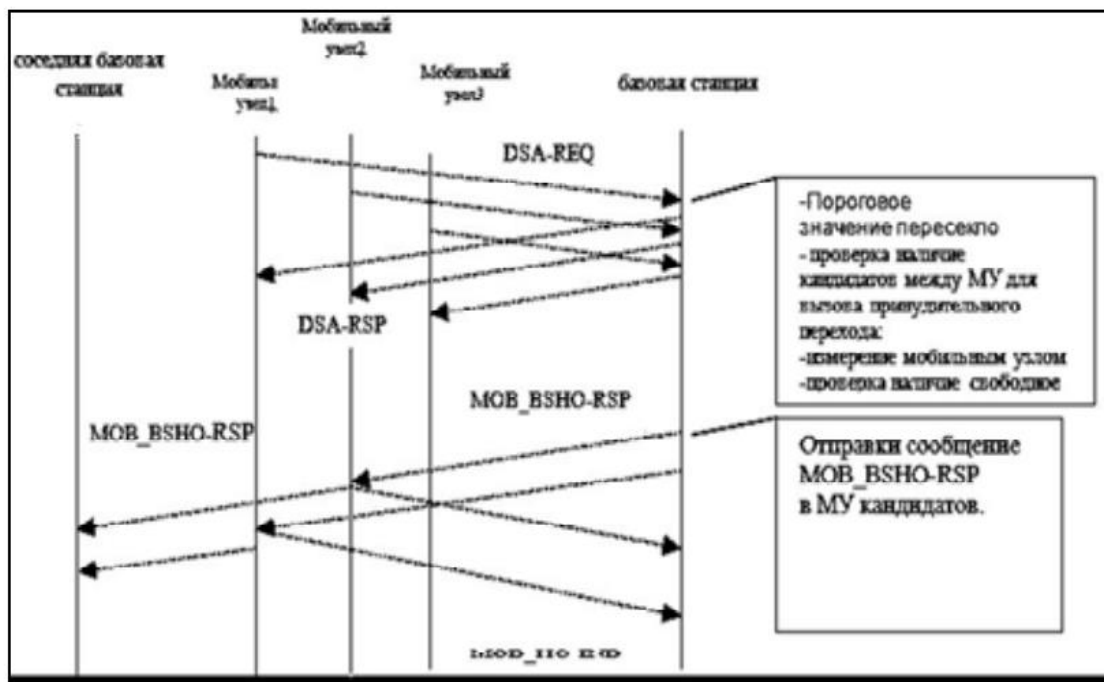


Рисунок 2.5 – Діаграма хендоверу

На наведеному нижче прикладі показаний один з варіантів розташування рухомих вузлів і базових станцій (рисунок 2.6) і представлені результати порівняльного аналізу процесу хендовера в мережах.

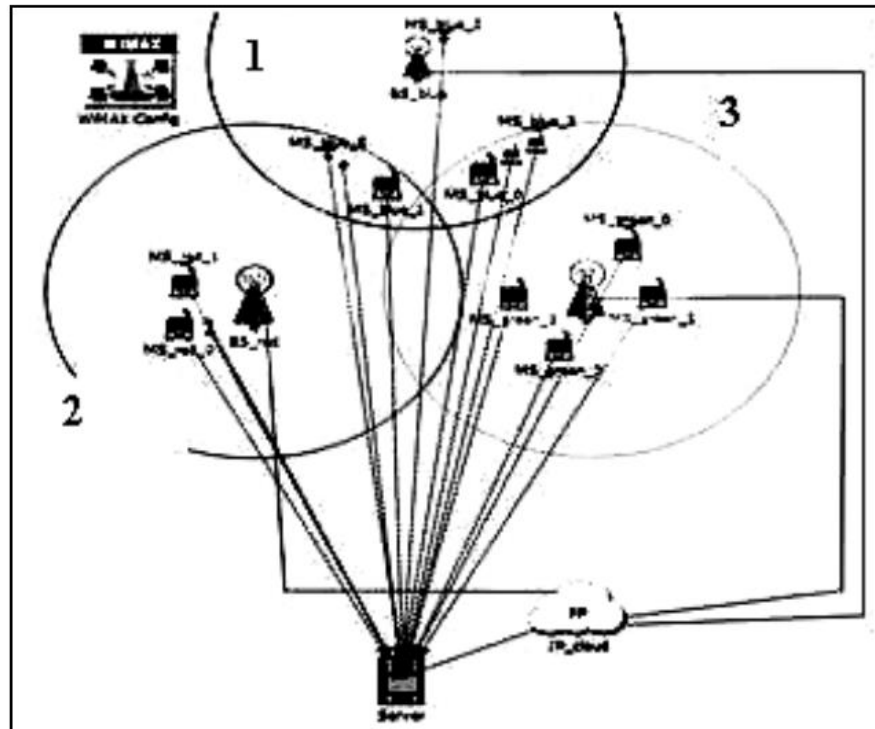


Рисунок 2.6 – Топологія моделі з хендовером

Використовувана модель мережі включає три зони обслуговування WiMAX. У першій зоні присутні сім рухливих вузлів, а в другій і третій – по чотири. Всі рухомі вузли одночасно відправляють голосовий трафік сервера. Вузли першої зони є нерухомими, а двох інших зон - рухаються у напрямку до першої зони [11].

Процес хендовера відбувається при переході рухомих вузлів з другої і третьої зон в першу. При запуску процесу моделювання переміщення починається на 110-й секунді часу моделювання. Вхід в першу зону всіх рухомих вузлів відбувається зі 115-ї по 120-у секунду (рисунок 2.7 – 2.8).

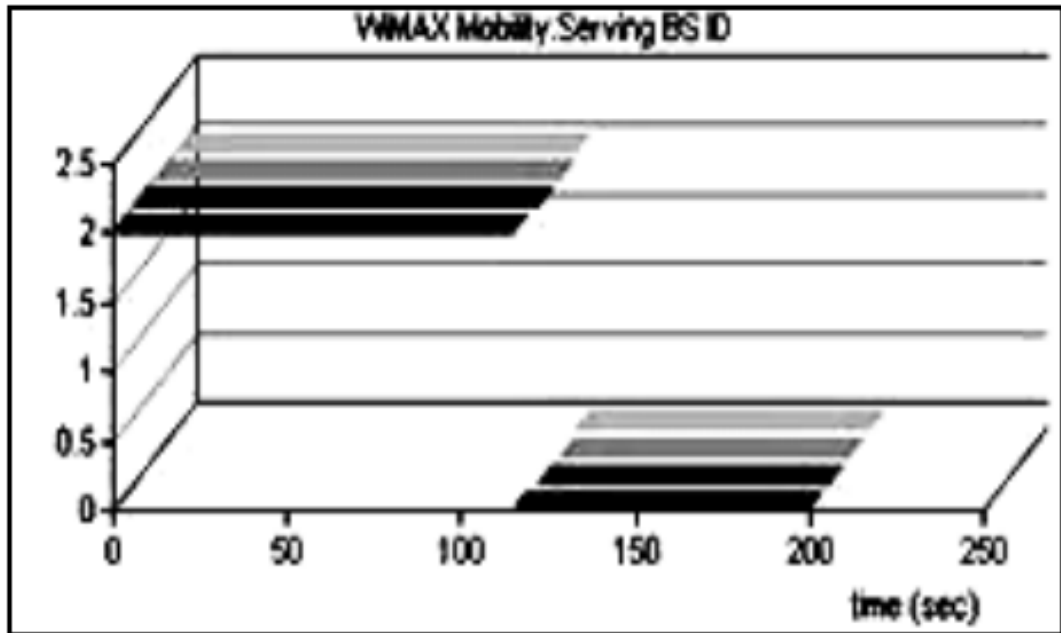


Рисунок 2.7 - Часова залежність прив'язки рухомих вузлів до зони обслуговування при їх переході з третьої зони в першу

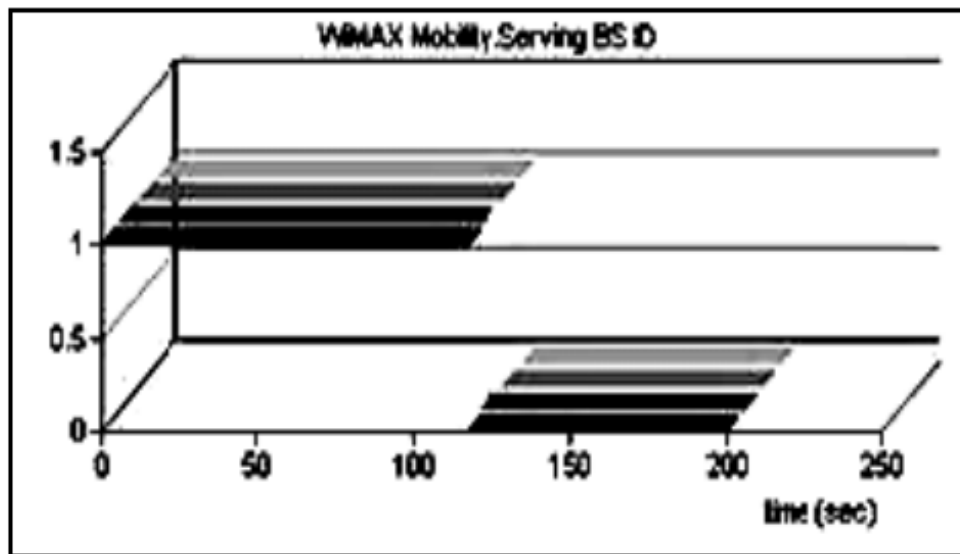


Рисунок 2.8 - Часова залежність прив'язки рухомих вузлів до зони обслуговування при їх переході з другої зони в першу

При переході вузлів в першу зону частина пропускної спроможності її висхідного каналу виділяється для рухомих вузлів, що знов з'явилися. Внаслідок цього перша зона починає відчувати зменшення пропускної спроможності висхідного каналу і збільшення навантаження. В інших двох

зонах (другий і третій), після виходу рухливих вузлів, пропускна спроможність каналу збільшується, що показано на рисунку 2.9 [11].

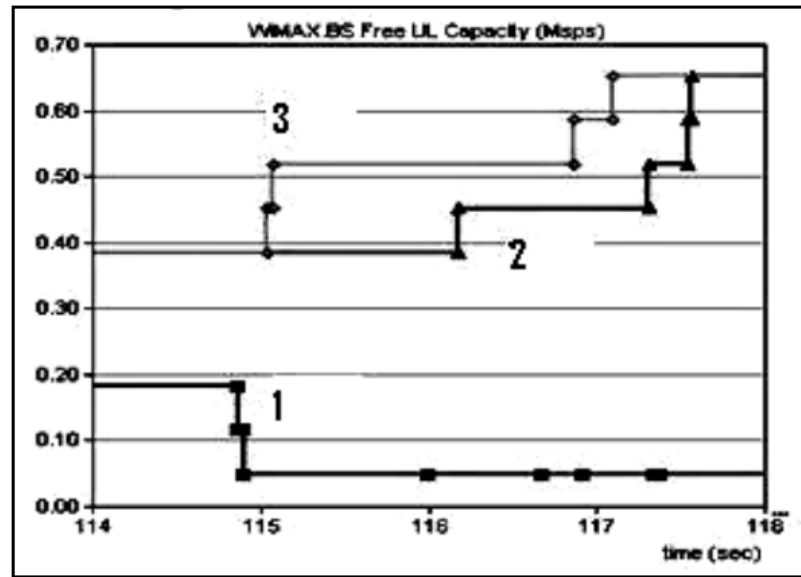


Рисунок 2.9 - Зміна пропускної спроможності висхідного каналу кожної із зон при хендовера

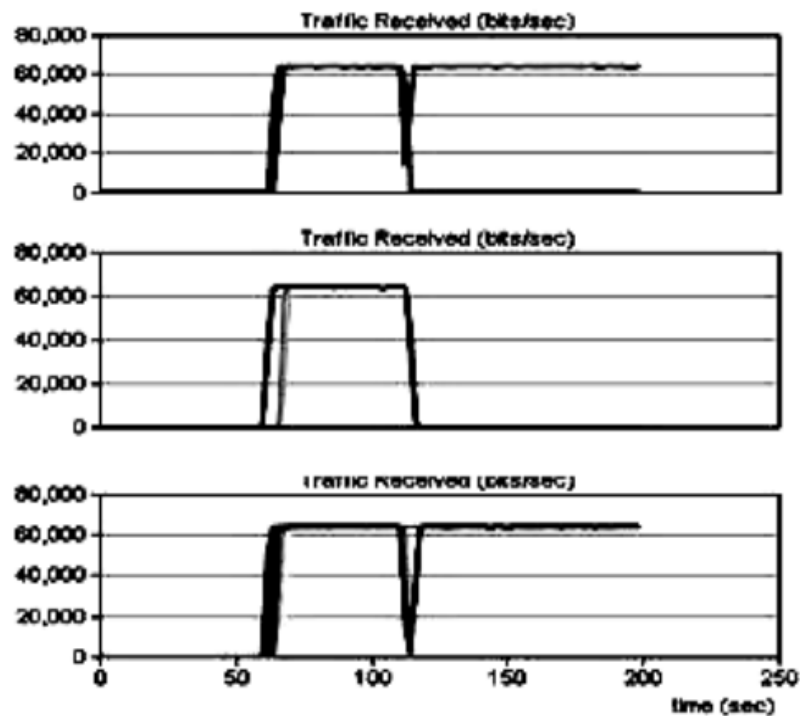


Рисунок 2.10 - Залежність пропускної спроможності каналу від часу хендовера

Аналіз, проведений для висхідного каналу, показав, що для другої і третьої зон пропускна спроможність збільшується при зменшенні кількості

рухомих вузлів, що обслуговуються в них. Згідно рисунку 2.9, в першій зоні спостерігається негативний вплив хендовера на пропускну спроможність каналу, яка періодично знижується. Це пояснюється інтерференцією, викликані рухливими вузлами другої та третьої зон, коли вони наближаються до межі першої зони, а потім переходять в неї [11].

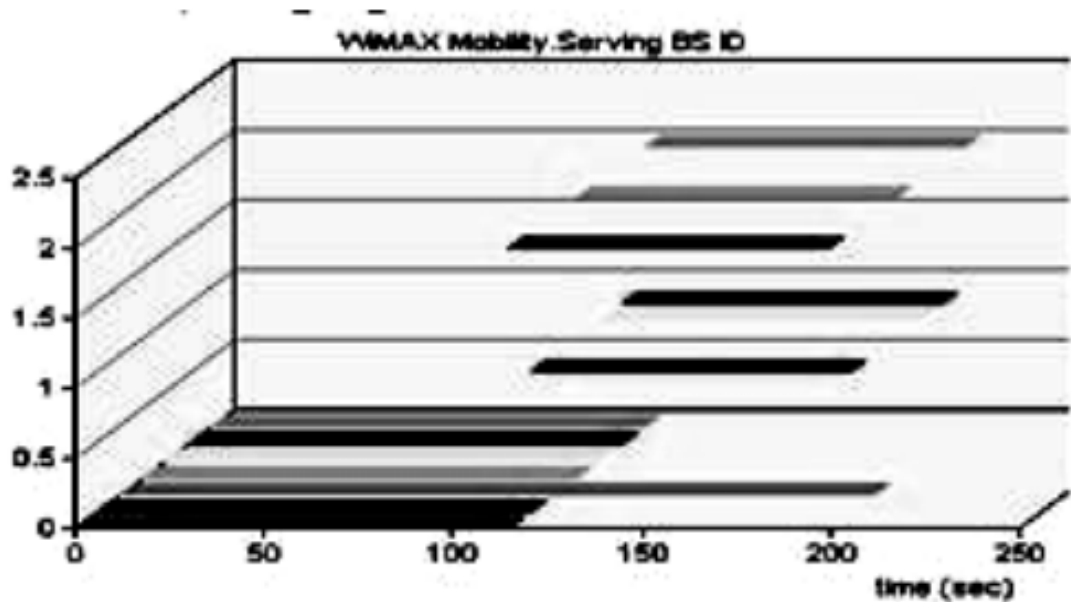


Рисунок 2.11 - Часова залежність прив'язки рухомих вузлів до зони обслуговування

Після такого переходу навантаження на першу зону збільшується і, якщо вона перевищить граничне значення, базова станція першої зони почне вибір і перемикання рухомих вузлів, що задовольняють критерію, в інші зони (рисунок 2.10).

Нижче розглянемо зміни пропускну спроможності висхідного каналу в цих трьох зонах. В момент часу 115 с, пропускну спроможність висхідного каналу першої зони знижується до 140 Кбіт/с, тоді як в третій зоні відповідне значення збільшується. Це пов'язано з перемиканням двох рухомих вузлів з третьої зони в першу, при цьому пропускну спроможність висхідного каналу першої зони знижується нижче заданого порогового значення [11].

У цьому випадку, згідно із запропонованим способом, базова станція в першій зоні проводить оцінку стану всіх рухомих вузлів, що знаходяться в цій зоні (в момент часу 115.75 секунд), і потім виконує запуск хендовера для відповідних рухомих вузлів.

У підсумку, відповідно до запропонованого способу, дев'ять рухомих вузлів будуть перебувати в першій зоні, а три перемикається в другу і третю зони. В результаті цього загальна пропускна спроможність каналу збільшується.

У розглянутих прикладах використані фіксовані значення відносини сигнал-шум, введених обмежень і одноваріантного випадку розподілу. У загальному випадку можливо оптимізувати процес перерозподілу рухомих вузлів між сусідніми базовими станціями з урахуванням деяких додаткових факторів, які будуть розглянуті в наступних розділах [11].

2.4. Модифікований спосіб розподілення навантаження

При перебуванні абонента в периферійних зонах, відбувається простий перерозподіл до найменш навантаженої базової станції. Якщо група базових станцій постійно навантажується, то для розподілу навантаження доречним буде введення ще однієї базової станції, проте для цього необхідно введення нового як апаратного, так і програмного забезпечення. Звичайний хендовер, який відбувається при зміні положення абонента, також реалізується досить не складно – підключенням абонента до найближчої найменш навантаженої станції.

Проте при хендовері, який ініційований базовою станцією, яка перевантажена, а також абонент знаходиться в зоні-пік і також змінює своє місцезнаходження, постає проблема у швидкому та найбільш вигідному перепідключенні абонента до іншої станції, а також при цьому необхідно зберегти рівномірний розподіл навантаження між іншими станціями.

Для початку необхідно визначити на скільки перевантажена зона, якщо це зона-пік, де в певний період часу досить велике скупчення людей і для якісного покриття вже мало існуючої мережі базових станцій, то доречним буде ввести нову базову станцію. Для цього необхідно визначити найбільш вигідне місце для її розташування та найбільш оптимальні характеристики.

Якщо ж введення нової станції не потрібне, тоді потрібен аналіз мережі та підключення модуля, який буде розподіляти навантаження, враховуючи всі вищепераховані проблеми.

Розроблені модулі можна підключити до кожної базової станції та виконувати управління з віддаленого пункту керування, де буде розташований головний модуль, який виконуватиме функції оцінювання та перерозподілу навантаження. Для кожної станції необхідно оцінити значення пропускної спроможності висхідного/низхідного каналу, радіус покриття, частотний діапазон, рівень затухання та показник надійності.

Для кожної базової станції потрібно встановити порогове значення пропускної спроможності, що дорівнює 75% від максимальної. Таким чином, коли поточне значення пропускної спроможності поточної базової станції досягає порогового, головний модуль починає перевіряти наявність менш завантажених сусідніх сот для перемикання абонента. При наявності сусідніх зон з меншим завантаженням, модуль повідомляє поточну та майбутню базову станцію про необхідність перемикання даного абонента. Також кожна базова станція має пороговий радіус покриття соти, що становить 80% від максимального. В разі, коли всі сусідні базові станції завантажені і не можуть виконати обслуговування користувача, головний модуль приймає рішення про тимчасове збільшення радіусу покриття поточної базової станції для надання потрібних послуг, а після розвантаження поточної чи сусідньої станції, радіус покриття знову зменшується до порогового. Після оцінки якості сигналу для всіх рухомих вузлів і визначення відповідних базових станцій для перемикання

проводиться ініціювання процесу хендовера, який виконує перепідключення абонентів [11].

Таким чином, модифікований спосіб розподілу навантаження на базові станції полягає в наступному.

1. Для кожної базової станції встановлюється порогове значення пропускної спроможності, що дорівнює 75% від максимальної, та пороговий радіус, що дорівнює 80% від максимального.
2. Якщо навантаження БС сягає порогового, то перевіряється навантаження на сусідніх базових станціях.
3. Якщо поряд знаходиться менш навантажена станція, то вона збільшує радіус покриття та забезпечує розвантаження поточної станції.
4. Якщо сусідні станції навантажені теж, то відкривається додаткова пропускна спроможність.
5. При використанні додаткових ресурсів відбувається запис статистики.
6. В зонах частого використання запасних ресурсів виконується запит на встановлення додаткової БС.

Модифікований спосіб полягає у додаванні в базові станції модуля, що оцінює значення пропускної спроможності висхідного каналу, а також має порогове значення використання, що дорівнює 75% від максимальної пропускної спроможності. Таким чином, коли поточне значення пропускної спроможності досягає порогового, базова станція починає розсилати повідомлення всім рухомим вузлам і перевіряє наявність менш завантажених сусідніх сот для перемикання рухомих вузлів. При наявності сусідніх зон з меншим завантаженням, базова станція повідомляє всіх потенційних кандидатів про необхідність їх перемикання. Також кожна базова станція має пороговий радіус покриття соти, що становить 80% від максимального. В разі, коли всі судині базові станції завантажені і не мають можливості забезпечити зв'язком абонента при хендовері, антени поточної

базової станції тимчасово збільшують радіус покриття соти для надання потрібних послуг, а після розвантаження поточної чи сусідньої станції, радіус покриття знову зменшується до порогового. Після оцінки якості сигналу для всіх рухомих вузлів і вибору відповідних вузлів для перемикання проводиться ініціювання процесу хендовера [3].

Такий підхід надає можливість ініціювати процес хендовера, що дозволяє більш рівномірно розподіляти навантаження між базовими станціями, враховуючи їх завантаження та зміну положення користувачів між сусідніми сотами в безпроводових мережах. Процес хендовера ініціюється при зниженні доступної величини пропускної спроможності базової станції нижче певного порогу. Отже, є можливість оптимізації роботи мережі за критерієм сумарної пропускної спроможності базових станцій та можливість продовжити роботу при повному завантаженні з використанням прихованого радіусу покриття.

Висновки до розділу 2

Таким чином, у даному розділі запропонований спосіб, що дозволяє розподіляти навантаження між базовими станціями не лише при переміщенні абонентів в мережі, але й при перевантаженні станцій. Такий підхід дозволяє ініціювати процес хендовера, що призводить до більш рівномірного розподілу навантаження між сусідніми базовими станціями від рухливих вузлів в безпроводових і мобільних мережах.

Показано, що процес хендовера ініціюється при зниженні доступного значення пропускної спроможності базової станції нижче певного порогу. Такий підхід дозволяє базовим станціям ініціювати процес хендовера, що надає можливість більш рівномірно розподіляти навантаження між базовими станціями, враховуючи переміщення користувачів, забезпечуючи зменшення навантаження на станції, та оптимізувати пропускну спроможність системи в безпроводових мережах в середньому покращивши її показники на 5%.

Доведено, процес хендовера ініціюється при зниженні на 25% доступної величини пропускної спроможності базової станції нижче встановленого порогу та збільшенні радіусу покриття при необхідності на 20%.

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ ТА МОДУЛЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ

3.1. Структура мережі та її складові

На рисунку 3.1 представлена структура мережі LTE.

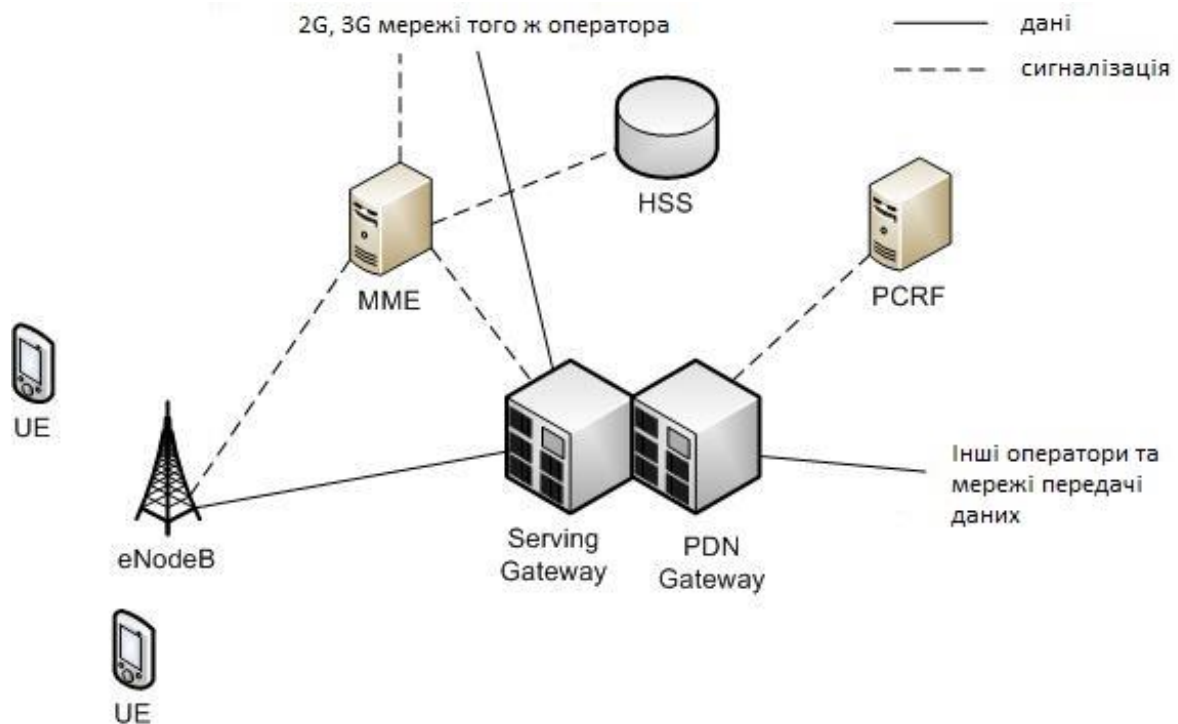


Рисунок 3.1 - Структура мережі LTE

Зі схеми мережі, представленої на рисунку, видно, що структура мережі сильно відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотні зміни зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Була змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також піддалися зміні і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Вся інформація (голос, дані) передається у вигляді пакетів. Таким чином, вже немає поділу на частини обробки: або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані.

Можна виділити наступні основні елементи мережі стандарту LTE:

Serving SAE Gateway або просто **Serving Gateway (SGW)** – шлюз для обслуговування мережі LTE. Він призначений для обробки і маршрутизації

пакетних даних, що надходять в підсистему базових станцій. Та по своїй суті, замінює MSC, MGW і SGSN мережі UMTS. SGW має пряме з'єднання з мережами другого і третього покоління того ж оператора, що спрощує передачу з'єднання в них з причин погіршення зони покриття, перевантажень і т.п.

Public Data Network (PDN) SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) - шлюз від мереж інших операторів. Якщо інформація (голос, дані) передаються в мережі даного оператора, то вони маршрутизуються саме через PGW.

Mobility Management Entity (MME) - вузол управління мобільністю. Призначений для управління мобільністю абонентів мережі LTE.

Home Subscriber Server (HSS) - сервер абонентських даних. HSS є об'єднанням VLR, HLR, AUC, які виконані в одному пристрої.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) – вузол для виставлення рахунків абонентам за надані послуги зв'язку.

Всі перераховані вище елементи відносяться до системи комутації мережі LTE. В системі базових станцій залишився лише один - базова станція, яка отримала назву eNodeB. Даний елемент виконує функції і базової станції, і контролера базових станцій мережі LTE. За рахунок цього спрощується розширення мережі, оскільки не потрібно розширення ємності контролерів або додавання нових.

eNodeB (eNB) - базова станція мережі стандарту LTE. Вона є аналогом NodeB для мережі UMTS і BTS для мережі GSM. Основним завданням eNodeB є перетворення сигналу, який прийшов від SGW у високочастотний сигнал, і передати його через секторні антени (антену). Саме eNodeB відповідає за покриття мережі LTE і є шлюзом між абонентським терміналом і мережею LTE.

Склад системи базових станцій BSS:

Base Station Controller (BSC) – елемент мережі, який є ядром підсистеми радіомережі (BSS) стільникового зв'язку стандарту GSM. BSC

здійснює управління всіма функціями, які відносяться до роботи радіоканалів в мережі GSM. BSC реалізує такі функції, як хендовер MS, призначення радіоканалів і збір даних про конфігурацію сот. Кожен MSC може керувати кількома BSC.

Base Transceiver Station (BTS) - управляє радіоінтерфейсом з MS. До складу радіообладнання BTS входять приймально-передавачі і антени, які необхідні для обслуговування кожного стільника в мережі. Контролер BSC управляє декількома BTS.

Транскодер (TRC) - здійснює функцію перекодування мови (даних) з формату GSM в формат ІКМ. Швидкість передачі одного голосового каналу в GSM - 13 Кбіт/с, а швидкість одного каналу в форматі ІКМ - 64 Кбіт/с.

Архітектура базових станцій gNB мережі мобільного зв'язку являє собою подальший розвиток ідеології розподілених базових станцій і "Cloud BBU". gNB включає в себе центральний модуль gNB-CU (gNB Central Unit) і один або кілька розподілених модулів gNB-DUs (gNB Distributed Unit). 3GPP (рекомендація TR 38.801 V14.0.0) визначає 8 можливих опцій поділу функцій між CU і DU (рисунок 3.2). При цьому опція 8 відповідає класичній схемі побудови розподіленої базової станції.

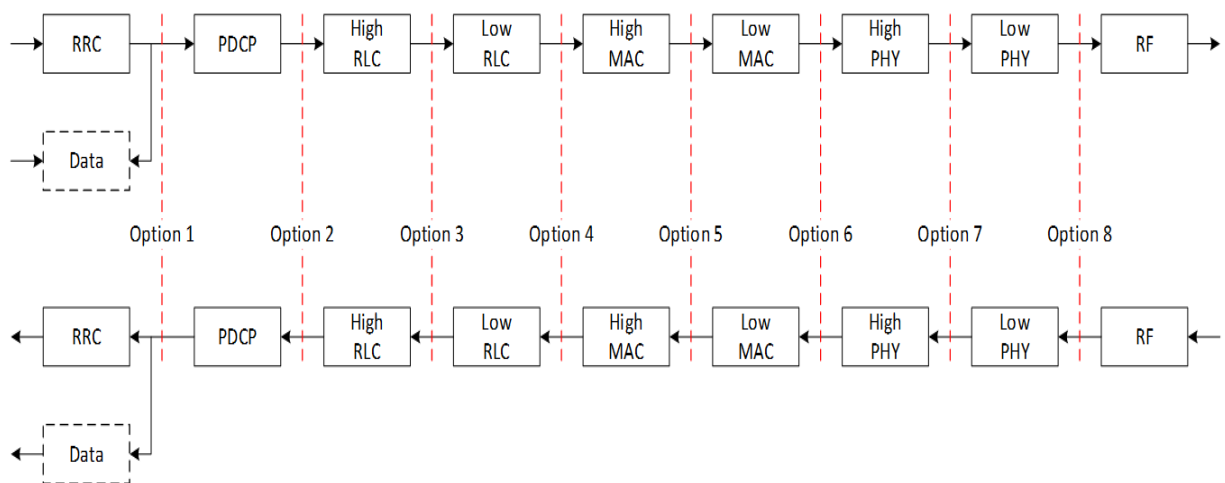


Рисунок 3.2 - Архітектура базових станцій gNB

Основні функції, що реалізуються на тих чи інших рівнях, описані нижче. Рекомендація 3GPP TS 38.401 V15.0.0 визначає архітектуру побудови базової станції, засновану на 2-ій опції поділу функцій. В цьому випадку RRC і PDCP реалізуються в центральному модулі (gNB-CU), а RLC, MAC і фізичний рівень - в розподіленому (gNB-DU). Взаємодія між gNB-CU і gNB-DU здійснюватися по інтерфейсу F1.

Виробники проєктують базові станції, вводючи додаткові площини поділу, виділяючи радіоблок з розподіленого модуля за допомогою інтерфейсу F2 (відповідно до опцією 7), а також розносячи PDCP рівня користувачького трафіку і рівня управління (рисунок 3.3).

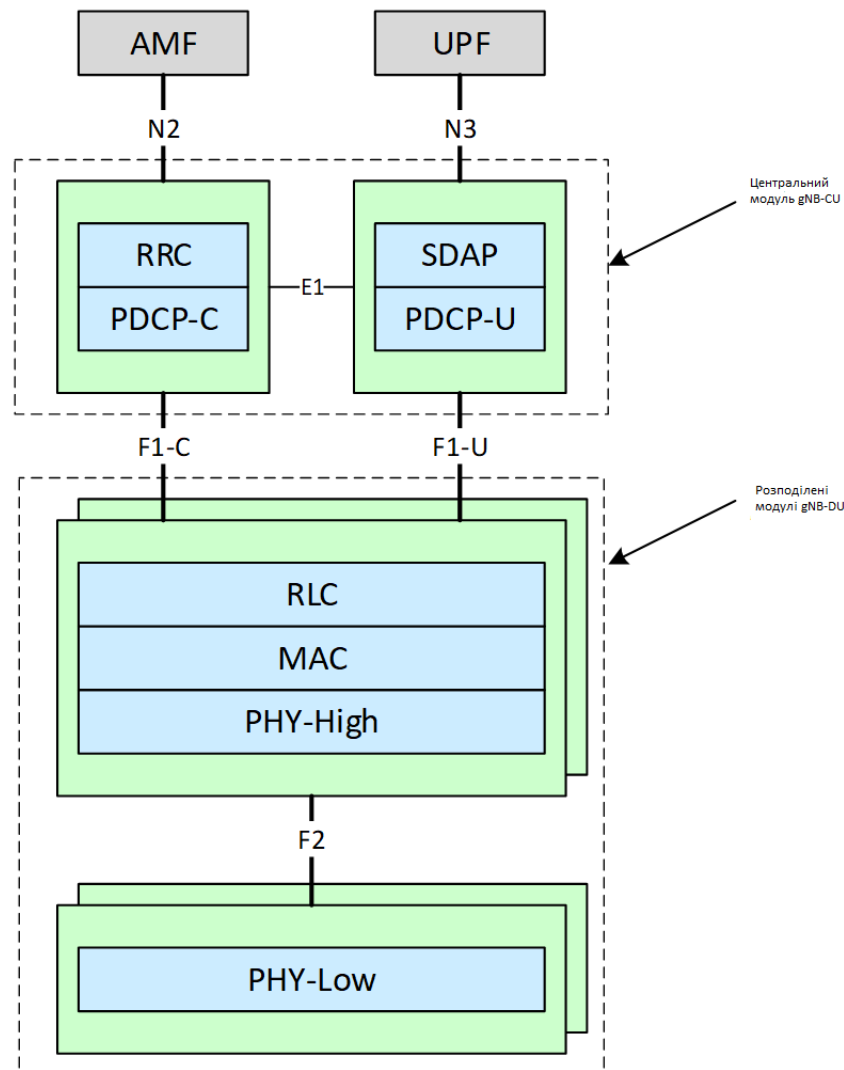


Рисунок 3.3 – Модуль управління

Очікується, що інтерфейси F1 і F2 буде стандартизовані 3GPP, що дозволить використовувати gNB-CU і gNB-DU від різних вендорів.

3GPP визначає наступні інтерфейси gNB:

N2 - інтерфейс площини управління між gNB і модулем управління доступом та мобільністю ядра мережі 5GC (AMF) є розвитком інтерфейсу S1-C мереж 4G-LTE;

N3 - інтерфейс площини призначеного для користувача трафіку між gNB і модулем передачі користувальницького трафіку ядра мережі 5GC (UPF) є розвитком інтерфейсу S1-U мереж 4G-LTE;

Xn - інтерфейс між базовими станціями gNB;

X2 - інтерфейс між gNB і eNB мережі LTE.

Структури стека протоколів мережі радіодоступу призначених для трафіку користувача (User Plane) і площини управління (Control Plane) показані на рисунках 3.4 – 3.5 відповідно.

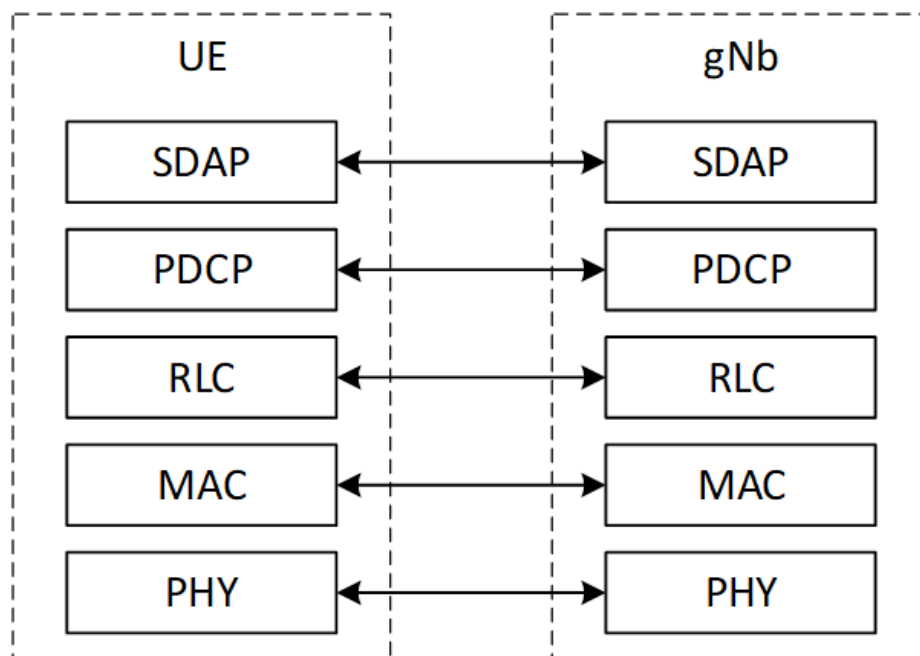


Рисунок 3.4 - Структура стека протоколів мережі радіодоступу для користувача трафіку

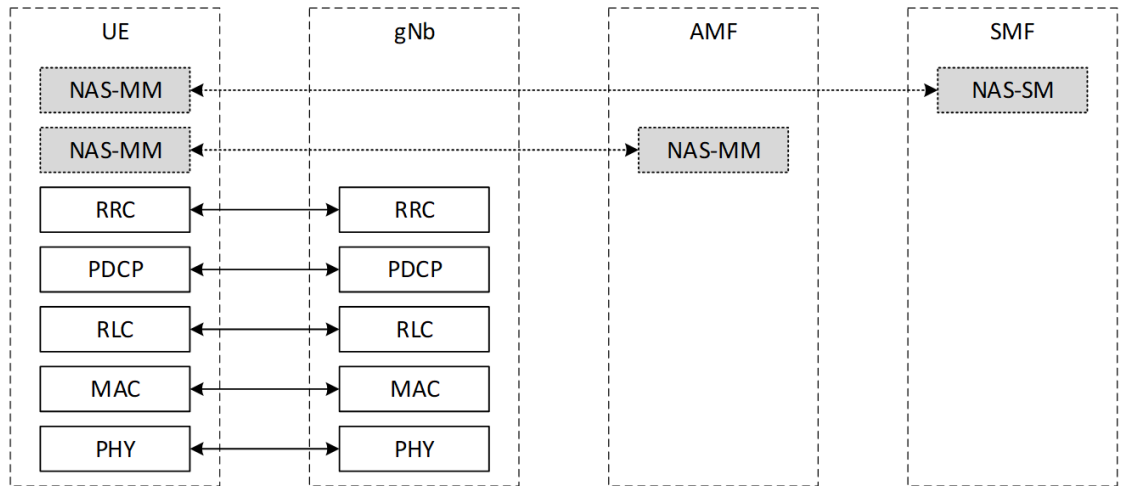


Рисунок 3.5 - Структура стека протоколів мережі радіодоступу для площини управління

3.2. Структура модуля, що розподіляє навантаження

На рисунках 3.6 – 3.7 представлено процес підключення абонента до модуля базової станції.

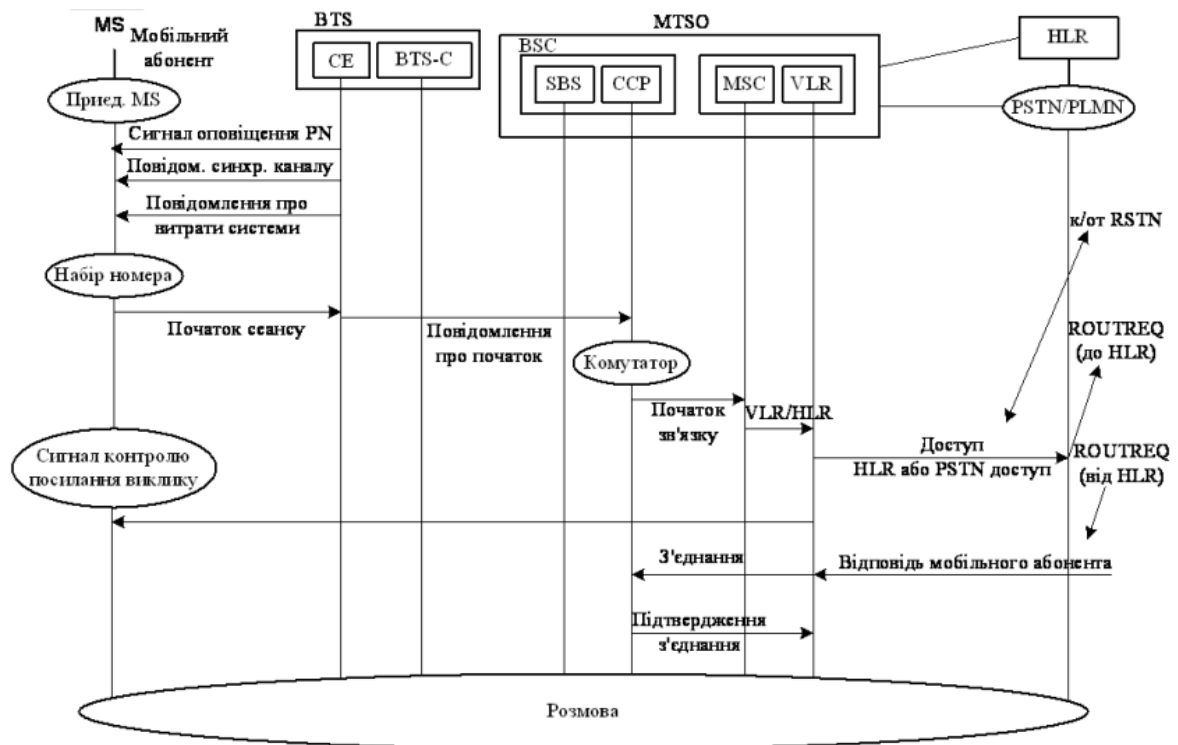


Рисунок 3.6 – Підключення до модуля БС – висхідний канал



Рисунок 3.8 - Блок-схема модуля управління базовою станцією

Модуль здійснює перемикання потоків інформації між відповідними лініями зв'язку. Він направляє інформацію від однієї БС до іншої або від БС до стаціонарної мережі зв'язку або навпаки – від стаціонарної мережі зв'язку до необхідної БС. Комуטатор підключається до ліній зв'язку через відповідні контролери для зв'язку, що виконують передачу інформаційних потоків. Управління роботою базової станції й мережі в цілому виконується від центрального модуля, що має потужне математичне забезпечення та має в собі частину, що перепрограмується. Робота модуля дозволяє активну участь операторів, тому до його складу входять відповідні термінали, а також засоби відображення та реєстрації інформації. Зокрема, оператором вводяться дані про абонентів і умови їхнього обслуговування, вихідні дані по режимах роботи системи, у необхідних випадках оператор видає команди, які потребуються по ходу роботи.

Для організації декількох частотних каналів на БС є відповідне число приймачів і передавачів, що дозволяє вести одночасну роботу на декількох

каналах з різними частотами. Група приймачів і передавачів можуть підключатися до загальної антени. Однак найчастіше базова станція має різні антени на прийом і на передачу. Для боротьби з багатопроменевим завмиранням у деяких системах використовується метод рознесеного прийому. Для цього БС має дві приймальні антени (рисунок 3.9).

Однотипні приймачі й передавачі мають загальні опорні генератори, що забезпечують їхню узгоджену перебудову при переході з одного каналу на інший. Конкретна кількість N приймачів-передавачів залежить від конструкції та комплектації БС. Для забезпечення одночасної роботи N приймачів на одну приймальну антену між прийомною антеною й приймачами встановлюється роздільник потужності на N виходів. Для роботи N передавачів з однією передавальною антеною між ними встановлюється суматор потужності на N входів.

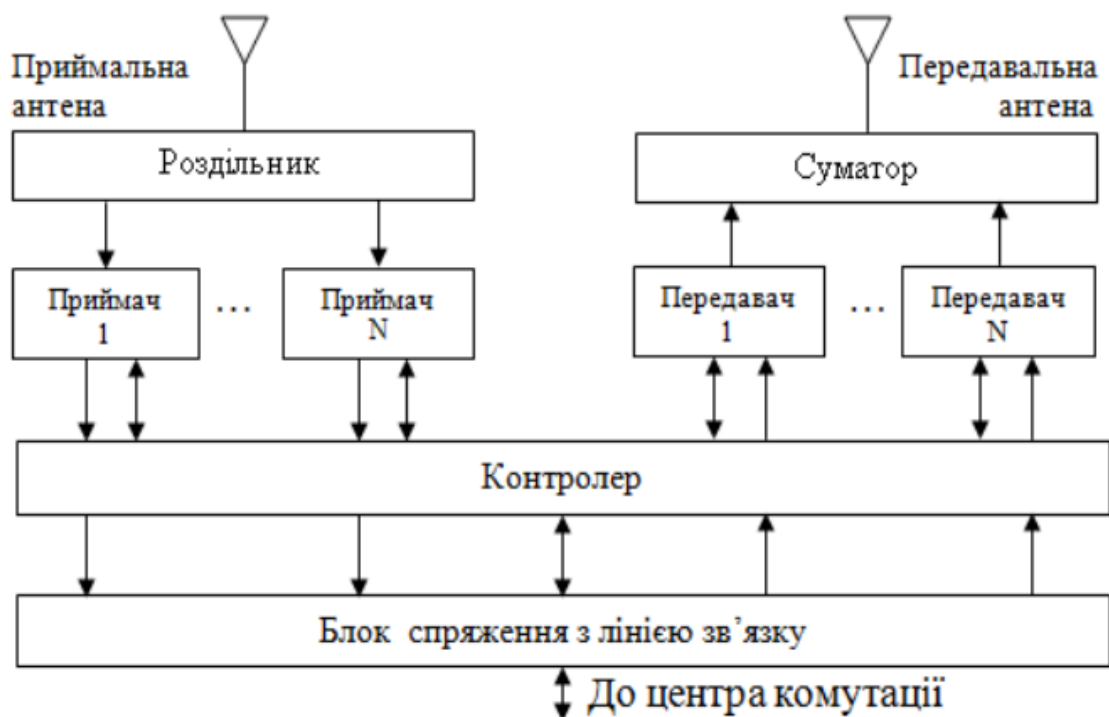


Рисунок 3.9 – Блок-схема структури базової станції

У випадку, коли станція рухома, то її структуру можна розділити на три основних блоки (рисунок 3.10):

- антенний блок;
- блок керування;
- приймально-передавальний блок.

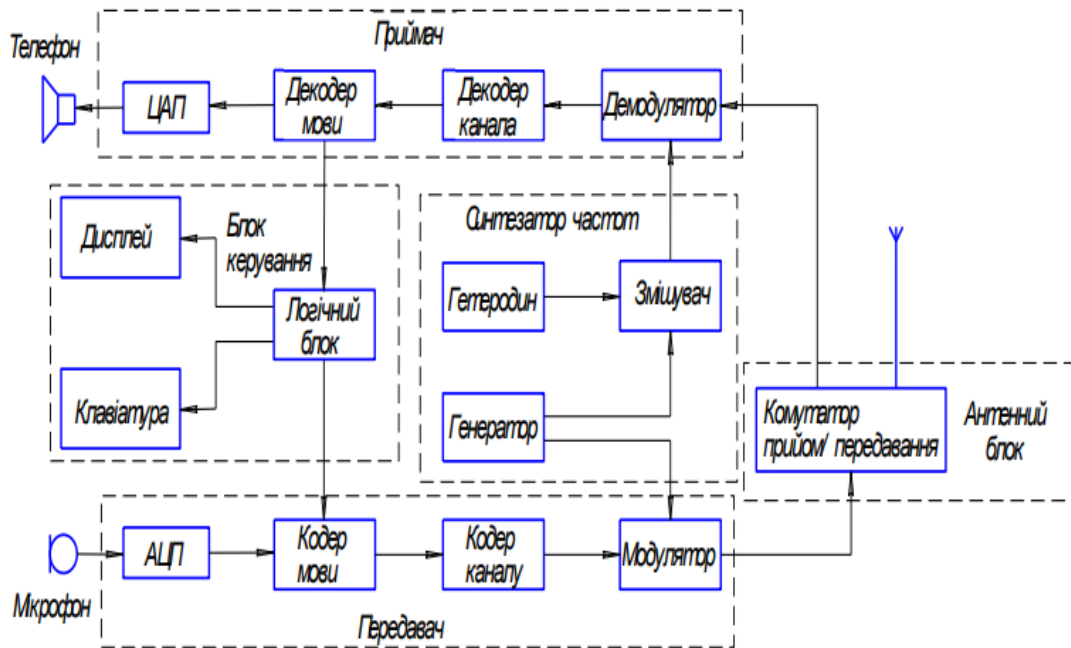


Рисунок 3.10 – Блок-схема рухомої станції мережі

Антенний блок складається із самої антени, що являє собою чверть-хвильовий штир, і дуплексного роздільника каналів прийому й передачі.

Блок керування включає мікрофон, динамік, клавіатуру та дисплей. Більше складним за своєю структурою є приймально-передавальний блок. Для аналогових рухомих станцій характерна відсутність АЦП/ЦАП і кодеків. До складу передавача цифрової рухомої станції входять такі елементи:

- аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) – для перетворення сигналу з виходу мікрофона в цифрову форму;

- кодер мови здійснює кодування мовного сигналу, тобто перетворення цифрового сигналу за певними законами з метою скорочення обсягу інформації, переданої каналом зв'язку;

- кодер каналу – додає в цифровий сигнал, одержуваний з виходу кодера мови, додаткову (надлишкову) інформацію, призначену для захисту від помилок при передачі сигналу по лінії зв'язку; крім того, кодер каналу вводить до складу переданого сигналу інформацію керування, що надходить від логічного блока;

- модулятор – здійснює перенесення інформації кодованого цифрового сигналу на несучу частоту.

3.3. Алгоритм роботи модуля

Для виконання розподілу навантаження модуль виконує наступні операції.

1. Для базової станції встановлює:
 - порогове значення пропускної спроможності - 75% від максимальної;
 - пороговий радіус, що дорівнює 80% від максимального.
2. Визначає поточну пропускну спроможність та навантаженість базової станції.
3. Якщо навантаження БС сягає порогового, то перевіряється навантаження на сусідніх станціях.
3. Якщо поряд існує менш навантажена станція - збільшується радіус покриття та виконується хендовер.
4. Якщо сусідні станції навантажені - відкривається додаткова пропускна спроможність.
5. При використанні додаткових радіусу чи пропускної спроможності модуль виконує запис статистики в базову станцію.

Кожен модуль базової станції характеризується коефіцієнтом завантаженості i -ї базової станції (K_i):

$$K_i = \frac{C_i}{C_{imax}}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

де C_i, C_{imax} – поточна та максимальна пропускні здатності i -ї БС; N – кількість сот мережі.

Запропонований метод балансування абонентського навантаження в мережі мобільного зв'язку можна представити послідовністю із п'яти наступних кроків.

Крок 1. Пошук соти з найбільшим коефіцієнтом завантаження K_i . Якщо коефіцієнт завантаження K_i не перевищує встановлене допустиме значення, $K_{доп} = 0,75K_{imax}$, то продовжуємо пошук. Якщо K_i перевищує $K_{доп}$, то знаходимо мінімальну величину пропускної спроможності C_{imin} , яку необхідно вивільнити у соті:

$$C_{imin} = (K_i - K_{доп})C_{imax}, K_i > K_{доп}. \quad (2)$$

$$\text{Якщо існує } C_i \leq C_{i-x}, \quad (3)$$

де x - номер будь-якої сусідньої базової станції з i -им номером соти, то переходимо до кроку 2, якщо ні – то починаємо крок 1 спочатку, і пропускаємо проаналізовану соту.

Крок 2. Пошук множини H сусідніх сот від базової станції i до j , в яких пропускна спроможність не менша C_{imin} , а коефіцієнт завантаження базової станції K_j не перевищує $K_{доп}$ після перенесення на нього навантаження з величиною C_{imin} :

$$H = \{h_{ij} \mid (K_j > K_{доп} - \frac{C_{jmin}}{C_{jmax}}) \wedge (C_{h_{ij}} \geq C_{imin}) \wedge (i \neq j)\}, j=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

де h_{ij} відстань між сусідніми базовими станціями.

Крок 3. Серед множини всіх сусідніх сот обираємо найближчу базову станцію.

$$R(h_{ij}) = \min (R(H)), h_{ij} \in H. \quad (5)$$

Крок 4. Вибір терміналів у соті для яких буде змінено соту обслуговування. Для кожної базової станції n формується множина A_n із усіх терміналів a_n , які обслуговуються в соті n , отримують сигнал достатнього рівня потужності $P_{S_{a_{n+1}}}$ для забезпечення обслуговування із соти $(n+1)$ та мають якомога меншу середню швидкість переміщення, яка не перевищує ту, яка була встановлена як допустима швидкість $V_{\text{доп}}$:

$$A_n = \{a_n \mid (P_{S_{a_{n+1}}} \geq P_{S_{\text{доп}}}) \wedge (V_{\text{сера}a_n} < V_{\text{доп}})\}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j). \quad (6)$$

Якщо виконується умова:

$$\sum_{a_n \in A_n} C_{a_n} < C_{\text{min } i}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (7)$$

де C_{a_n} - пропускна спроможність, яку термінал a використовує в соті n , то до множини A_n додаються ще й термінали, які мають середню швидкість переміщення, що не перевищує допустиму $V_{\text{доп}}$.

$$A_n = A_n \cup \{a_n \mid (P_{S_{a_{n+1}}} \geq P_{\text{доп}}) \wedge (V_{\text{доп}} \leq V_{\text{сера}a_n}) \wedge (n \neq j)\}. \quad (8)$$

Дії виконуються, поки виконується умова (7).

Якщо умова (7) не виконується, то множину з терміналів AB_n , які будуть використані для зміни соти обслуговування з n на $(n+1)$ можна визначити так:

$$AB_n = A_n, \quad (9)$$

при виконанні такої умови:

$$C_{A_n} < C_{\text{min } i}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (10)$$

де C_{A_n} – пропускна спроможність, яку використовують термінали з множини A_n .

Якщо умова (10) не виконується, то з множини A_n формуємо множину терміналів B_n , керуючись типом сервісу (ToS) (вищий пріоритет мають сервіси з найменшою затримкою):

$$B_n = \{a_n \mid (a_n \in A_n) \wedge (ToS_{a_n} = q)\}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j). \quad (11)$$

Якщо

$$\sum_{a_n \in B_n} C_{a_n} < C_{\min i}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (12)$$

то $q=q-1$.

$$B_n = B_n \cup \{a_n | (a_n \in A_n) \wedge (Tos_{a_n} = q)\}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j). \quad (13)$$

Так продовжуємо, поки виконається умова (12).

Якщо умова не виконується, то множина терміналів AB_n для зміни соти обслуговування з n на $(n+1)$ можна визначити як:

$$AB_n = B_n, \quad (14)$$

при виконанні такої умови:

$$C_{B_n} < C_{\min i}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (15)$$

де C_{B_n} – пропускна спроможність, яку використовують термінали з множини B_n .

Якщо умова (15) не виконується, то визначення множини AB_n виконується за найменшою швидкістю переміщення терміналів множини B_n .

$$AB_n = \{a_n | (a_n \in B_n) \wedge (V_{\text{сера}_{a_n}} = V_{\min B_n})\}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (16)$$

де $V_{\min B_n}$ – найменша швидкість переміщення терміналів множини B_n .

Якщо

$$\sum_{a_n \in AB_n} C_{a_n} < C_{\min i}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (17)$$

то

$$B_n = B_n \setminus AB_n, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (18)$$

$$AB_n = AB_n \cup \{a_n | (a_n \in B_n) \wedge (V_{\text{сера}_{a_n}} = V_{\min B_n})\}, (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j). \quad (19)$$

Виконання цих дій продовжується до тих пір, поки виконуватиметься умова (17), тобто поки сумарна пропускна спроможність, що використовується для терміналів із множини AB_n , буде меншою від величини, яку необхідно звільнити на перевантаженій базовій станції.

Якщо ж умова (17) не виконується, то переходимо до наступного кроку.

Крок 5. Перенесення абонентського навантаження від соти i до соти j , тобто відбувається вимушений запуск процесу хендоверу абонентів,

починаючи від передостанньої базової станції в j -ту і закінчуючи з i -ої до другої базової станції.

Для виконання процесу хендовера конкретної базової станції необхідне дотримання виконання таких умов:

- різниця співвідношення сигнал-шум в соті обслуговування базової станції повинна бути не більше 5 ДБ ($\Delta S \leq 5$):

$$S_n - S_{n-1}, S_n = \frac{P_{S_n}}{P_{n_n}}, S_{n-1} = \frac{P_{S_{n-1}}}{P_{n_{n-1}}},$$

де S_n - відношення сигнал-шум для соти, в яку переходить вузол; S_{n-1} - відношення сигнал-шум в поточній соті; P_S - середня потужність сигналу; P_n - середня потужність шуму;

- сота, в яку переходить абонент, повинна мати не менше 25% вільної пропускної спроможності висхідного каналу.

Такий спосіб надає можливість базовій станції ініціювати процес хендовера, що дозволяє більш рівномірно розподіляти навантаження рухомих терміналів між сусідніми базовими станціями в безпроводових мережах. Процес хендовера ініціюється при зниженні доступної величини пропускної спроможності базової станції нижче певного порогу. Отже, є можливість оптимізації роботи мережі за критерієм сумарної пропускної спроможності базових станцій.

Додатковим критерієм для вибору частини навантаження обрано узагальнений показник ефективності використання каналу зв'язку – векторна відстань до межі Шеннона – метод порівняння ефективності використання каналу зв'язку. Цей показник визначає еквівалентне співвідношення енергетичної та частотної ефективності використання каналу зв'язку і дає змогу визначити оптимальну стратегію планування безпроводного доступу. Критерій оптимальності D – мінімум векторної відстані до межі Шеннона (20):

$$D_{min} = \min\{D_1, D_2, \dots, D_n\}. \quad (20)$$

Для того щоб виразити ефективність використання каналу зв'язку потрібно знайти максимум узагальненого показника ефективності (21):

$$D_{max} = \max\{D_1, D_2, \dots, D_n\}. \quad (21)$$

Приріст ефективності для кожного з n терміналів визначається відносно терміналу з найменшою ефективністю (22), тобто:

$$\Delta D_i = \left(1 - \frac{D_i}{D_{max}}\right) \cdot 100\%, \quad (22)$$

де $i = 1..n$ – індекс кожного абонентського терміналу.

На рисунку 3.11 приведено графічне відображення побудови узагальненого показника ефективності для двох терміналів при їх відомих ефективностях використання каналу зв'язку: частотній (γ) та енергетичній (β).

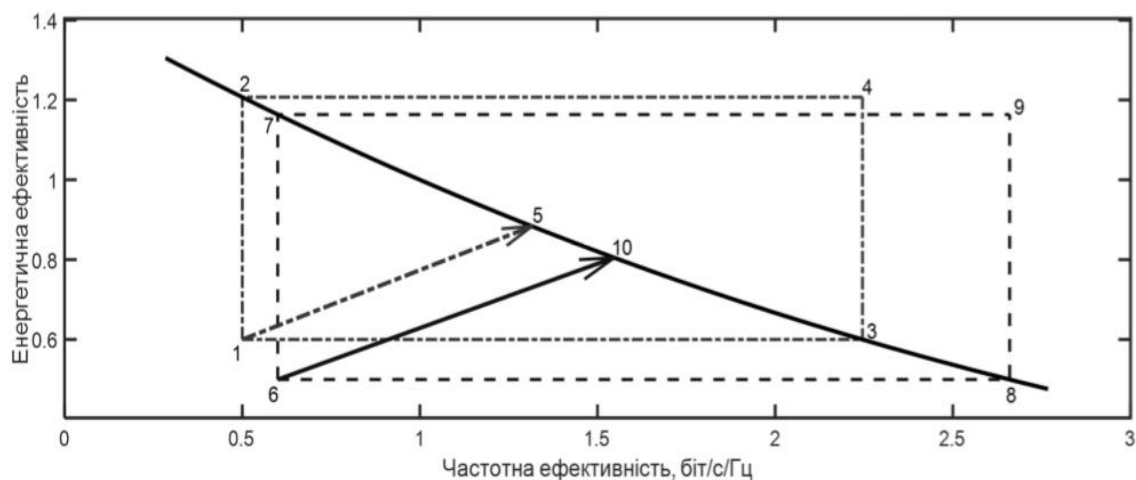
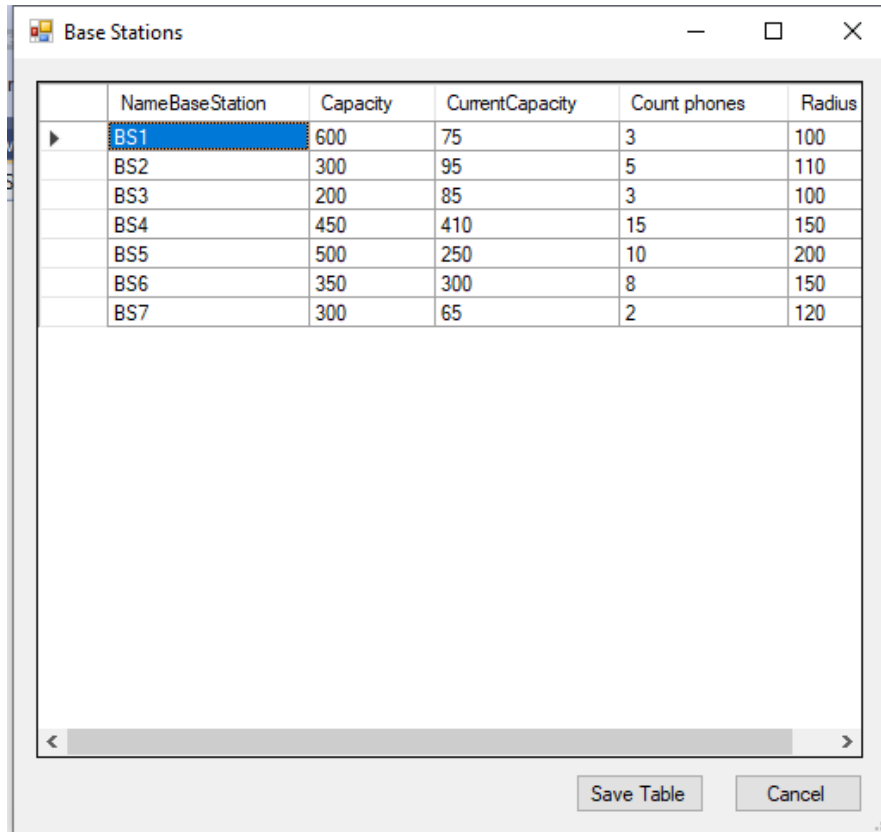


Рисунок 3.11 - Відображення узагальненого показника ефективності

3.4. Аналіз результатів розробленого алгоритму

При побудові мережі з характеристиками представленими на рисунку 3.12 маємо перевантаження на двох базових станціях BS4 та BS6.

В даному випадку буде розглянуто спосіб розвантаження з використанням хендоверу абонентських терміналів до інших базових станцій.



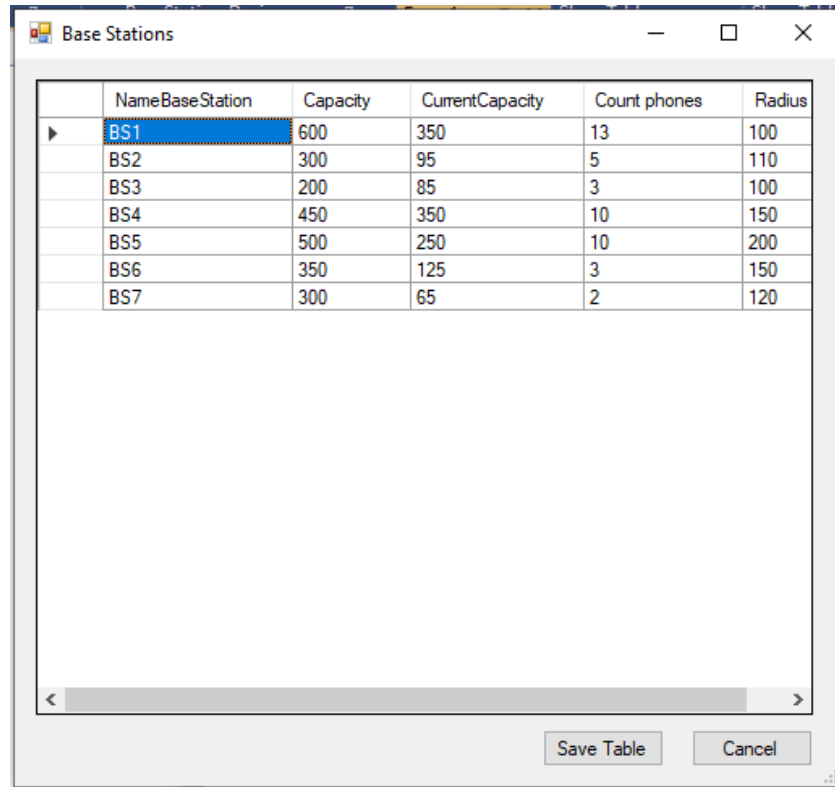
	NameBaseStation	Capacity	CurrentCapacity	Count phones	Radius
▶	BS1	600	75	3	100
	BS2	300	95	5	110
	BS3	200	85	3	100
	BS4	450	410	15	150
	BS5	500	250	10	200
	BS6	350	300	8	150
	BS7	300	65	2	120

Рисунок 3.12 – База даних мережі до запуску алгоритму

Після запуску алгоритму розподілу навантаження отримано нові дані мережі, що були збережені в базу даних, після закінчення роботи алгоритму та проведення процесу хендвера. Результати представлені на рисунку 3.13.

В таблиці можна побачити, що за допомогою алгоритму було розвантажено базові станції BS4 та BS6 виконавши хендвер їхніх елементів до інших базових станцій. При цьому виконалось рівномірне розподілення навантаження між іншими базовими станціями, що дозволило уникнути нових перевантажень та продовжити роботу мережі.

Після розвантаження на базовій станції BS4 пропускна спроможність зросла на 60, а на BS6 175. При цьому пропускна спроможність зменшилась на базовій станції BS1 на 275 при цьому не перенавантаживши її.



	NameBaseStation	Capacity	CurrentCapacity	Count phones	Radius
▶	BS1	600	350	13	100
	BS2	300	95	5	110
	BS3	200	85	3	100
	BS4	450	350	10	150
	BS5	500	250	10	200
	BS6	350	125	3	150
	BS7	300	65	2	120

Save Table Cancel

Рисунок 3.13 – База даних мережі після запуску алгоритму

Висновки до розділу 3

В розділі було представлено структуру мережі та її елементів, розглянуто архітектуру базової станції та модуля, який відповідає за реалізацію розробленого алгоритму. Проаналізовано результати роботи модуля за допомогою розробленої програми, що дозволяє отримати дані результатів виконання алгоритму.

Показано, що застосування запропонованого способу підвищує показників ефективності розподілу навантаження за допомогою аналізу трафіку та пропускної спроможності, що дозволило отримати вигреш у часі, завдяки чому користувачі забезпечуються більшою швидкістю передачі даних, також виявлено збільшення ефективності в порівнянні з вже існуючими аналогами, і при цьому даний алгоритм не має впливу на безпеку функціонування мережі та протоколу, з яким працює.

4. ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

4.1. Призначення та опис програмного продукту

Розроблений програмний продукт призначений для емуляції роботи безпроводової мережі технології LTE з використанням додаткових модулів для базових станцій, які забезпечують розподіл навантаження. Програма дозволяє побудувати мережу та задати її параметри – характеристики кожного елемента мережі, а також надає можливість виконати розподіл абонентського навантаження за допомогою розробленого алгоритму.

Розроблена програма реалізує такі функції:

- побудувати мережу з базових станцій та абонентів, задаючи їх параметри;
- додати та видалити елементи мережі;
- перегляд параметрів кожного елемента мережі;
- запуск алгоритму розподілу;
- перегляд параметрів після запуску алгоритму;
- можливість видалити всю побудовану мережу;
- можливість збереження створеної мережі.

Відповідно до проаналізованої структури безпроводової мережі LTE та LTE-A, а також функціонування алгоритмів розподілу навантаження в ході роботи було розроблено програмний продукт, який представляє собою емулятор безпроводової мережі, яка складається з програми для побудови мережі, та модуля, який виконує розподіл навантаження, – тобто сам інтерфейс програми, доступний для будь-якого користувача.

Ще програма включає в себе базу даних, де зберігаються всі дані про базові станції, їхні характеристики, розміщення та навантаження; дані абонентів мережі, їхні параметри та розміщення, а також сервер, який обробляє запити та виконує обслуговування користувачів в мережі.

Інтерфейс користувача написаний мовою програмування C# з використанням фреймворку .NET (рисунок 4.1).

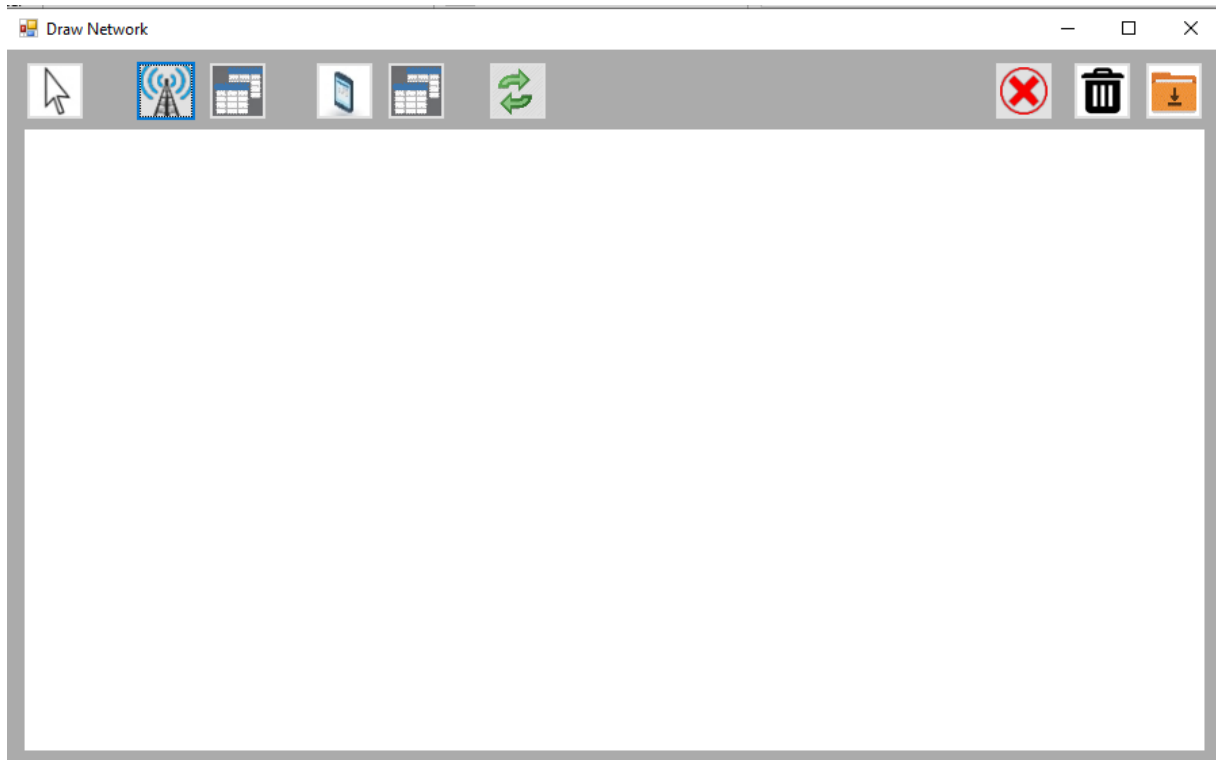


Рисунок 4.1 - Інтерфейс користувача для побудови мережі

Робота серверної частини забезпечується SQL сервером і відповідно використовуються SQL Server Management для управління базою даних (рисунок 4.2).

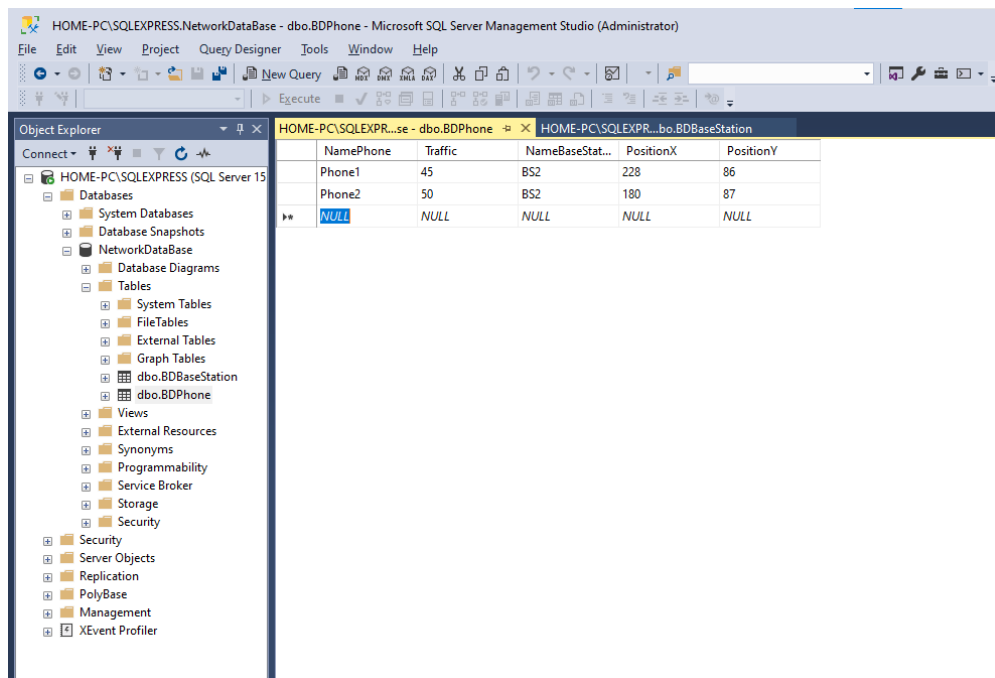


Рисунок 4.2 – SQL сервер для управління базою даних

4.2. Опис методів, що реалізовані в програмі

Розроблений програмний продукт складається з двох окремих програмних модулів та чотирьох Windows Form:

- Program;
- InitializationElements;
- MainForm;
- NewBaseStation;
- NewPhone;
- ShowTable.

Program – основна програма, яка виконує запуск графічного інтерфейсу, для створення мережі та роботи з нею, а також даний модуль об'єднує всі модулі програми та базу даних.

InitializationElements – програмний модуль, що забезпечує ініціалізацію кожного з елементів мережі та підключає їх стильові характеристики та інші необхідні дані.

Метод *DrawGraph* відповідає за ініціалізацію стилів, шрифтів, кольорів та інших властивостей та стилів елементів для побудови мережі.

Метод *drawBaseStation* відповідає за побудову та відображення базової станції. Він відображає саму базову станцію та форму її зони покриття, відповідно до введених користувачем характеристик.

Метод *drawSelectedBaseStation* виділяє базову станцію після натискання на неї курсором, підсвічуючи червоним кольором межу соти.

Метод *drawPhone* відповідає за відображення доданого абонентського терміналу в мережу користувача, у відповідній зоні відповідної базової станції.

Метод *drawALLGraph* відповідає за відображення всіх елементів створеної мережі, які були додані в базу даних.

MainForm – форма головного вікна програми, яка складається з двох програмних модулів:

MainForm – модуль, що відповідає за виконання всіх дій в межах вікна своєї форми. Даний модуль відповідає за побудову головного вікна користувацького інтерфейса, відображення та виконує обробку натискання кнопок та заповнення полів.

Модуль *selectButton_Click* – викликається після натискання кнопки Курсора та виконує виділення елемента мережі, а також виведення інформації про цей елемент.

Модуль *drawBaseStationButton_Click* - викликається після натискання кнопки drawBaseStation та виконує відкриття вікна для введення даних про нову станцію, додає цю станцію в базу даних та виконує її відображення на екрані.

Модуль *drawPhoneButton_Click* - викликається після натискання кнопки drawPhone та виконує відкриття вікна для введення даних про нового абонента мережі, додає цю інформацію в базу даних та відображає відповідний значок на екрані.

Модуль *deleteButton_Click* - викликається після натискання кнопки delete та виконує видалення обраного елемента з мережі, що відображається та з бази даних.

Модуль *deleteALLButton_Click* - викликається після натискання кнопки deleteALL та виконує видалення мережі з вікна відображення та видалення всієї інформації з бази даних.

Модуль *buttonShowBaseStations_Click* - викликається після натискання кнопки ShowBaseStations та виконує відображення вікна, де виведена таблиця з бази даних Базових станцій.

Модуль *buttonShowPhones_Click* - викликається після натискання кнопки ShowPhones та виконує відображення вікна, де виведена таблиця з бази даних абонентів.

Модуль *saveButton_Click* - викликається після натискання кнопки Save та виконує скачування створеної мережі у форматі зображення.

Модуль *loadBalancingButton_Click* - викликається після натискання кнопки *loadBalancing* та виконує запуск алгоритму балансування навантаження в мережі, який, проходячи по всіх навантажених базових станціях, виконує перерозподіл абонентів, цим самим розподіляючи навантаження в самій мережі. Результати розподілу зберігаються в базу даних.

В модулі *loadBalancingButton_Click* викликається функція *loadBalancingOnAllBaseStations*, яка здійснює прохід по всіх БС, викликаючи для кожної навантаженої базової станції модуль розвантаження – *loadBalancingOnBaseStation*.

Модуль *loadBalancingOnBaseStation* – виконує розвантаження обраної станції, для цього виконуючи пошук сусідньої не навантаженої станції, збільшується радіус покриття та ініціалізуючи процедуру хендоверу. Якщо менш навантаженої станції поряд немає, то виконується збільшення пропускної спроможності поточної станції.

Модуль *getNeighboringStation* – виконує пошук не навантаженої сусідньої станції. Він проходить по базі даних, вибирає сусідні та виконує перевірку навантаженості станції. Якщо поточна пропускна спроможність на 25% вільна від допустимої, то навантаження немає. Якщо ж поточна пропускна спроможність сягає межі допустимості, то це буде означати, що станція навантажена.

MainFormDesigner – модуль, що відповідає за ініціалізацію всіх елементів головного вікна програми та підключення до них всіх відповідних методів та функцій.

NewBaseStation – форма вікна введення даних про нову базову станцію, яка складається з двох програмних модулів:

NewBaseStation – програмний модуль, який відповідає за виконання всіх дій в межах вікна своєї форми та складається з підмодулів:

newBaseStation – виконує додавання в базу даних нової базової станції та задає всі її параметри. Виконується після натискання кнопки додавання

нової станції. Користувач повинен ввести назву базової станції, пропускну спроможність та радіус покриття. Всі ці дані, а також координати розміщення зберігаються в базу даних Базових станцій.

SaveButton_Click – після натискання на кнопку Save виконує збереження введених даних до бази даних.

CancelButton_Click – після натискання на кнопку Cancel виконує відміну додавання нової базової станції в мережі.

NewBaseStationDesigner – модуль, що відповідає за ініціалізацію всіх елементів вікна New Base Station. Виконує оголошення всіх функцій та методів, а також ініціалізує всі елементи.

NewPhone – форма вікна введення даних про нову базову станцію, яка складається з двох програмних модулів. Користувач має можливість ввести назву терміналу та трафік. Інформація про нового користувача зберігається до бази даних про абонентів мережі, а також виконуються зміни у базі даних базових станцій, оскільки змінюється навантаження в соті, до якої додається новий абонентський термінал.

NewPhone – програмний модуль, який відповідає за виконання всіх дій в межах вікна своєї форми та складається з підмодулів:

newPhone – виконує додавання в базу даних нового абонента та задає всі параметри.

SaveButton_Click – після натискання на кнопку Save виконує збереження введених даних.

CancelButton_Click – після натискання на кнопку Cancel виконує відміну додавання нового абонентського терміналу в мережу.

NewPhoneDesigner – модуль, що відповідає за ініціалізацію всіх елементів вікна New Phone та ініціалізацію всіх функцій та методів для кожного елемента.

ShowTable – форма вікна для виведення таблиць з бази даних про базові станції та абонентів.

Модуль *ShowTable* – виконує відображення таблиці з виведенням даних з бази даних. Виконується відповідний запит на сервер і в таблиці виводиться повернений результат.

Модуль *SaveButton_Click* – після натискання на кнопку Save виконує завантаження таблиці на локальний комп'ютер.

4.3. Опис бази даних, що використовується в програмі

В розробці для роботи з даними використовується база даних SQL, для роботи з нею та для її підключення до програми використовується SQL сервер, який оброблює всі запити, що надсилаються з програми.

MySQL - це безкоштовний широко використовуваний механізм SQL. Її можна використовувати як швидку базу даних, а також як надійну СУБД, використовуючи модульну архітектуру.

SQL як мова структурованих запитів використовується для обробки даних, що зберігаються в реляційних системах управління базами даних (СУБД). SQL надає команди, за допомогою яких дані можна витягувати, сортувати, оновлювати, видаляти та вставляти.

SQL має повну підтримку ANSI (Американський національний інститут стандартів), який встановив певні правила для мови. SQL може використовуватися з будь-якими СУБД, такими як MySQL, mSQL, PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server, Access, Sybase, Ingres і т. Д. Усі важливі та загальні оператори SQL підтримуються цими СУБД, однак у кожного є власний набір власних твердження та розширення.

В даній роботі використовується Microsoft SQL Server та SQL Server Management.

Для роботи розробленого програмного продукту було створено реляційну базу даних NetworkDataBase, яка складається двох таблиць: BDBaseStation і BDPhone.

Дані про всі базові станції мережі, які були додані користувачем в мережу, зберігаються в таблиці `BDBaseStation` бази даних `NetworkDataBase`. Таблиця містить 7 полів: `NameBaseStation`, `Capacity`, `Radius`, `CurrentCapacity`, `PositionX`, `PositionY`, `Count phones`, та представлена на рисунку 4.3.

	NameBaseStat...	Capacity	Radius	CurrentCapacity	PositionX	PositionY	Count phones
	BS1	300	100	75	239	140	3
	BS2	300	110	75	430	197	3
	BS3	100	100	75	237	306	0
▶*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.3 - Таблиця `BDBaseStation`

Дані про абонентів зберігаються в таблиці `BDPHONE`, яка містить в собі 5 полів: `NamePhone`, `Traffic`, `NameBaseStation`, `PositionX`, `PositionY`, та представлена на рисунку 4.4.

	NamePhone	Traffic	NameBaseStat...	PositionX	PositionY
	Ph_1	55	BS2	511	223
	Ph_2	45	BS1	432	123
	Ph_3	30	BS2	401	343
▶*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.4 - Таблиця `BDPHONE`

З'єднання таблиць відбувається за назвою базових станцій по принципу один до багатьох. Тобто одній базовій станції з таблиці `BDBaseStation` може відповідати декілька абонентів, які належать цій базовій станції і розміщені в таблиці `BDPHONE`, де в кінці `NameBaseStation` вказується назва поточної станції обслуговування даного абонентського терміналу.

4.4.Опис інтерфейсу користувача

Розроблений програмний продукт має основне робоче вікно, яке використовується для виконання побудови мережі та емуляції її роботи (рисунок 4.5). Воно завантажується та відкривається відразу після запуску програми.

Верхня панель містить в собі головні кнопки управління програмою (рисунок 4.5 - зліва на право):

- *курсор* – натискання на елемент мережі для виведення інформації про нього;
- *базова станція* – кнопка для додавання нової базової станції, після натискання на яку виводиться вікно для введення даних про нову базову станцію;
- *виведення таблиці* – кнопка для відкриття вікна з таблицею базових станцій;
- *телефон* – кнопка для додавання нового абонента, після натискання на яку з'являється вікно для введення даних про нового абонента мережі;
- *таблиці* – кнопка для відкриття вікна з таблицею бази даних абонентів;
- *запуск алгоритму* – кнопка для запуску алгоритму розподілу навантаження для побудованої користувачем мережі;
- *видалити* – кнопка видалення елемента мережі, на який буде натиснуто після натискання на цю кнопку;
- *видалити все* – видалення всієї мережі з вікна програми та з бази даних;
- *скачати* – кнопка для скачування створеної мережі.

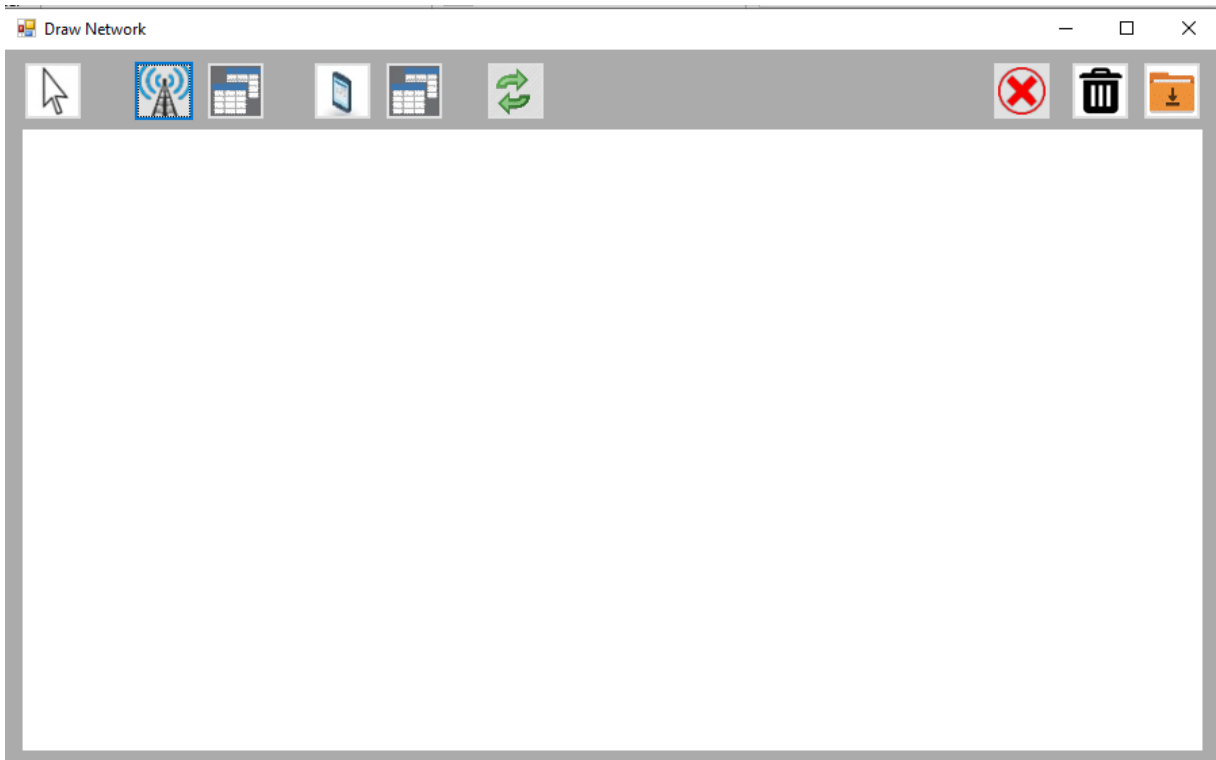


Рисунок 4.5 – Головна робоча панель програми

На рисунку 4.6 можна побачити приклад створеної мережі в програмі.

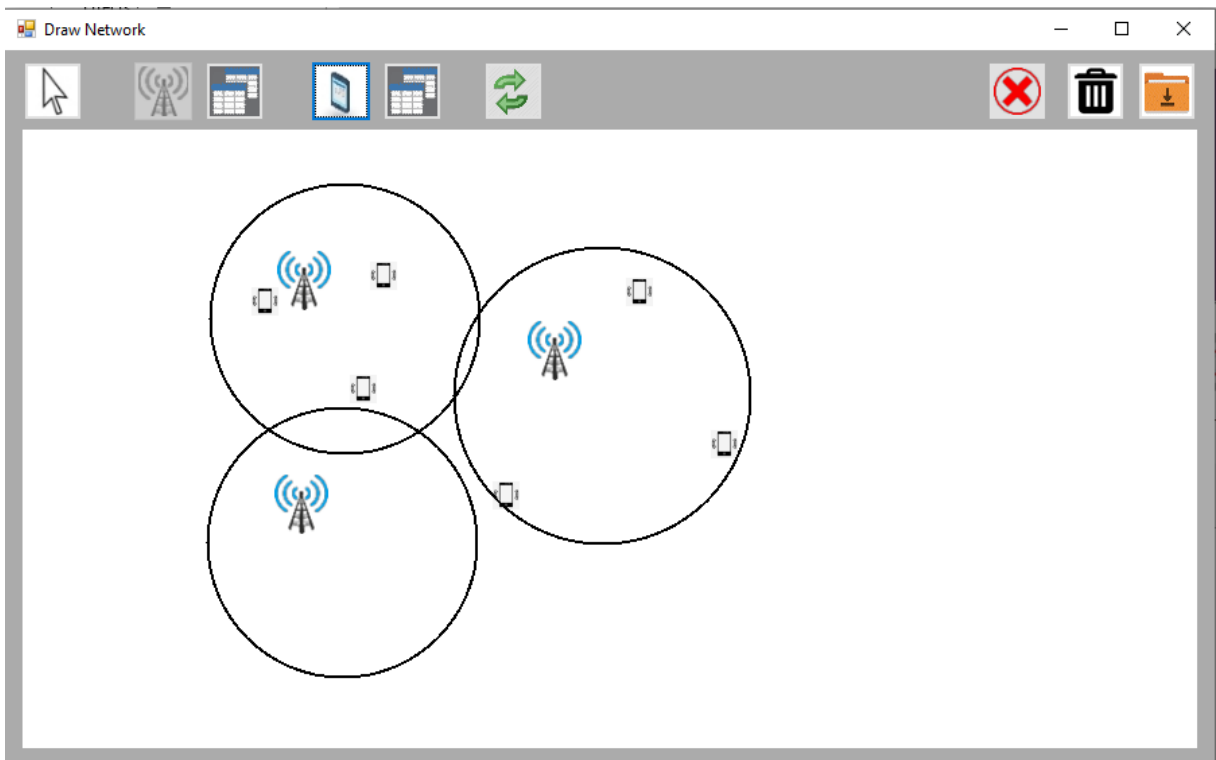
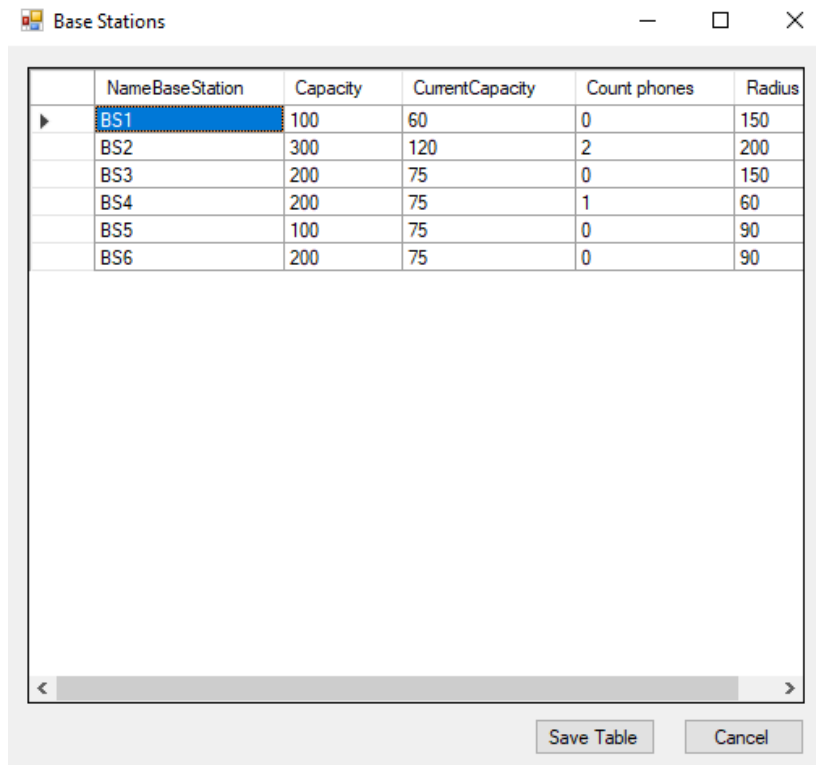


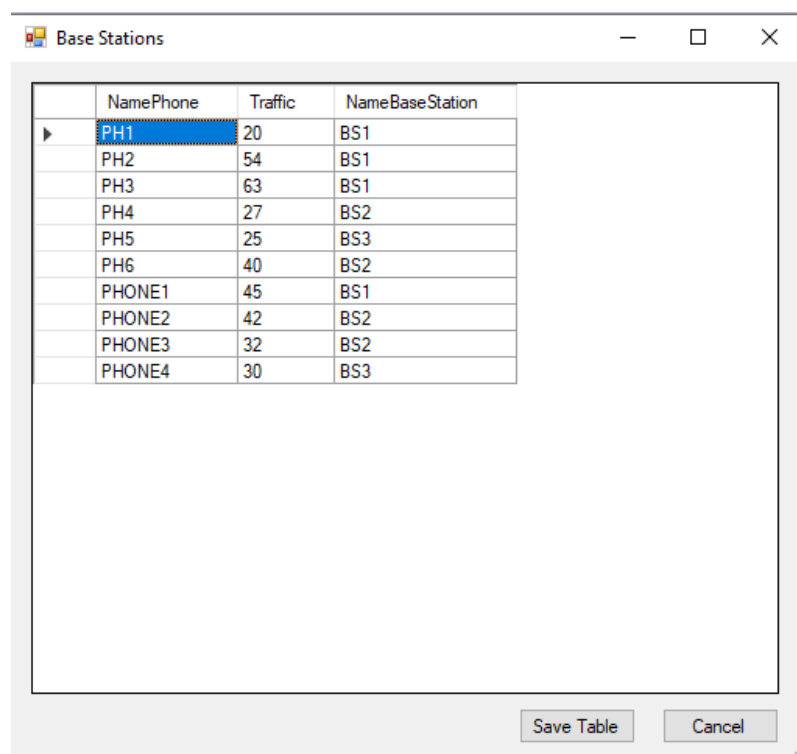
Рисунок 4.6 – Головна робоча панель з створеною мережею

На рисунках 4.7 – 4.8 представлено вікна виведення таблиць з бази даних базових станцій та абонентів. Представлені вікна відкривається після натискання відповідної кнопки у верхній панелі програми.



	NameBaseStation	Capacity	CurrentCapacity	Count phones	Radius
▶	BS1	100	60	0	150
	BS2	300	120	2	200
	BS3	200	75	0	150
	BS4	200	75	1	60
	BS5	100	75	0	90
	BS6	200	75	0	90

Рисунок 4.7 – Вікно таблиці бази даних базових станцій



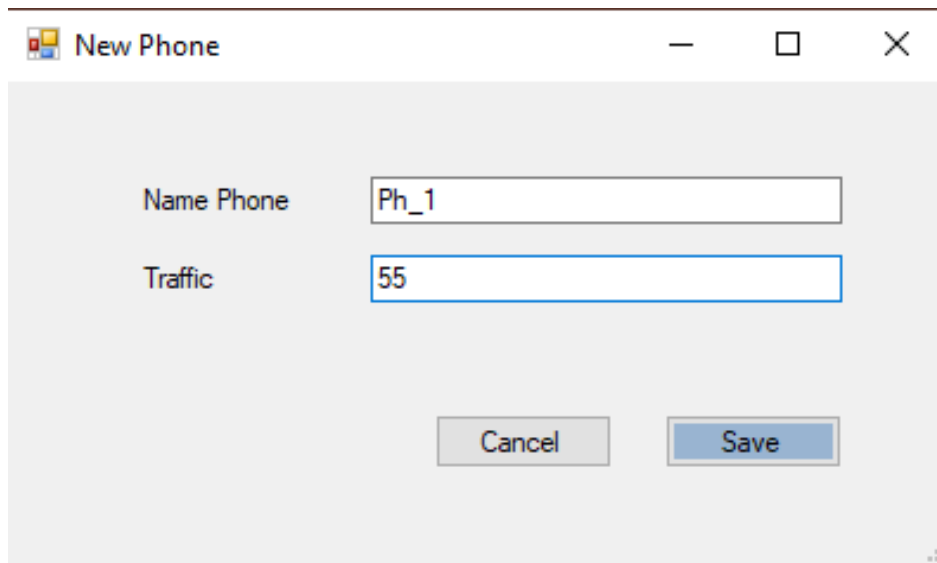
	NamePhone	Traffic	NameBaseStation
▶	PH1	20	BS1
	PH2	54	BS1
	PH3	63	BS1
	PH4	27	BS2
	PH5	25	BS3
	PH6	40	BS2
	PHONE1	45	BS1
	PHONE2	42	BS2
	PHONE3	32	BS2
	PHONE4	30	BS3

Рисунок 4.8 – Вікно таблиці бази даних абонентів

Рисунки 4.9 - 4.10 демонструють вікна програми для введення даних при додаванні нового абонента та базової станції.

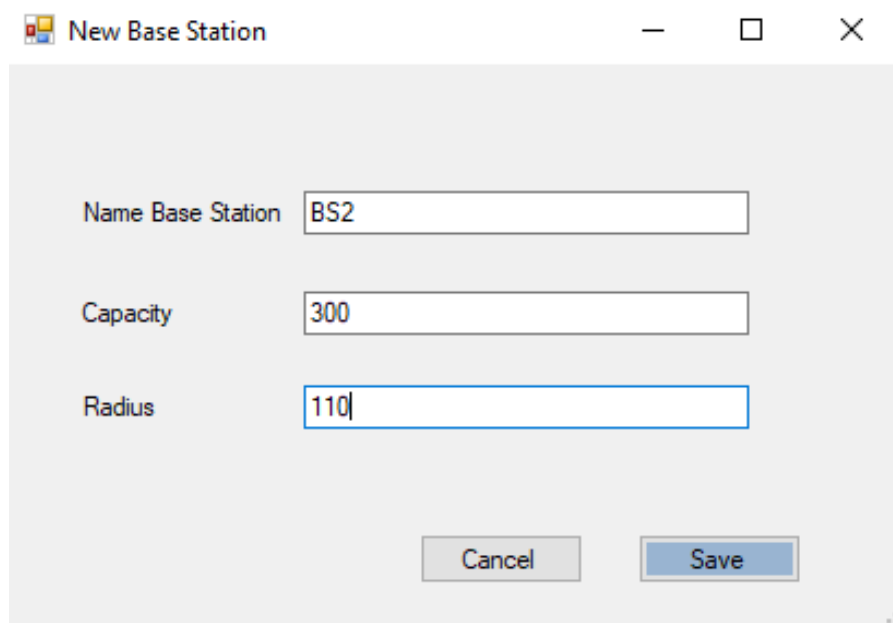
При додаванні нового абонентського терміналу користувач повинен ввести назву терміналу та трафік, який планується використовуватись даним абонентом.

При додаванні нової базової станції, користувач повинен заповнити 3 поля: назва базової станції, її максимальна пропускна спроможність та радіус покриття даної станції (рисунок 4.10).



The image shows a dialog box titled "New Phone". It contains two text input fields. The first field is labeled "Name Phone" and contains the text "Ph_1". The second field is labeled "Traffic" and contains the number "55". Below the input fields are two buttons: "Cancel" and "Save". The "Save" button is highlighted in blue.

Рисунок 4.9 – Вікно для введення даних нового абонента



The image shows a dialog box titled "New Base Station". It contains three text input fields. The first field is labeled "Name Base Station" and contains the text "BS2". The second field is labeled "Capacity" and contains the number "300". The third field is labeled "Radius" and contains the number "110". Below the input fields are two buttons: "Cancel" and "Save". The "Save" button is highlighted in blue.

Рисунок 4.10 – Вікно для введення даних нової базової станції

Після натискання на кнопку курсора та кліка на елемент мережі, відбувається виділення даного елемента червоним кольором та виведення інформації про нього (рисунок 4.11).

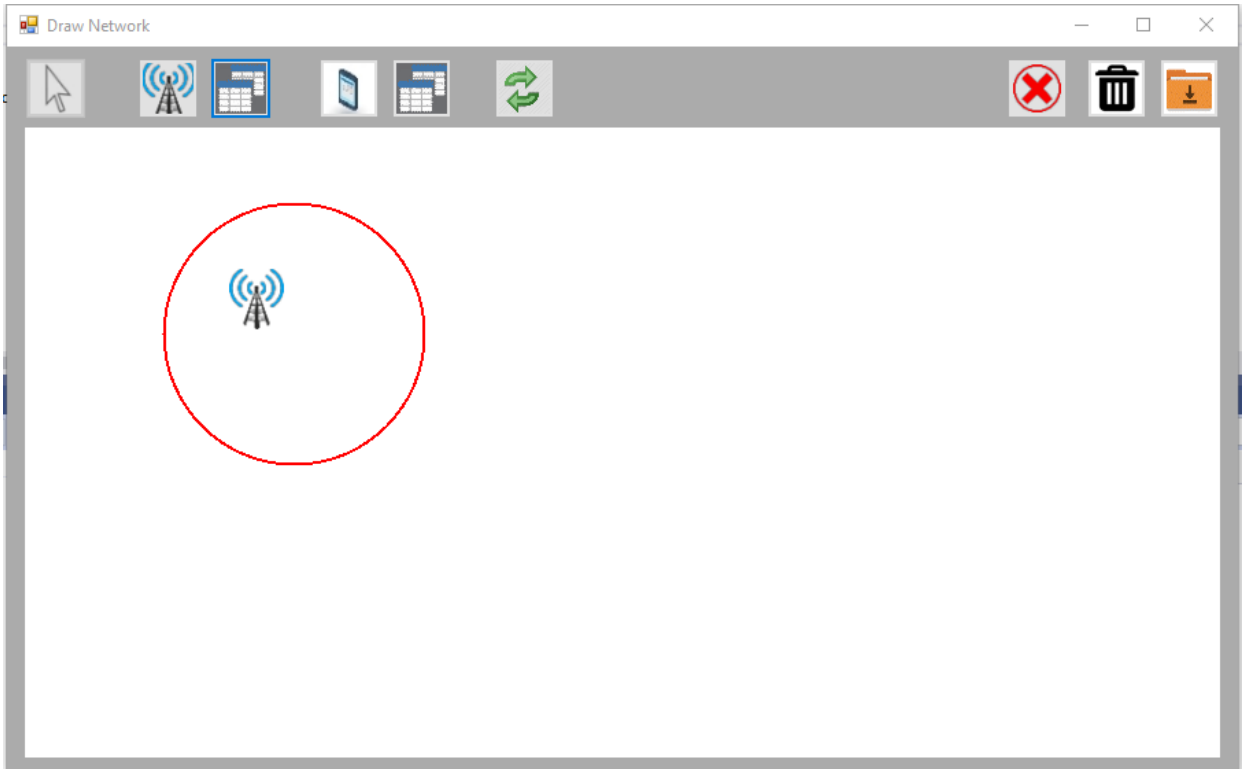


Рисунок 4.11 – Виділення базової станції після натискання на неї курсором

На рисунку 4.12 представлено додавання базових станцій в мережу з різними радіусами та різними параметрами сот базових станцій. Кожна базова станція унікальна своїм ім'ям та розміщенням. Станції можуть дотикатись та перетинатись, проте не накладатись одна на одну.

Якщо під час виконання алгоритму необхідно було збільшити радіус покриття однієї із зон обслуговування, то це буде відображено в самій мережі, а також відбудуться зміни і в самій таблиці бази даних.

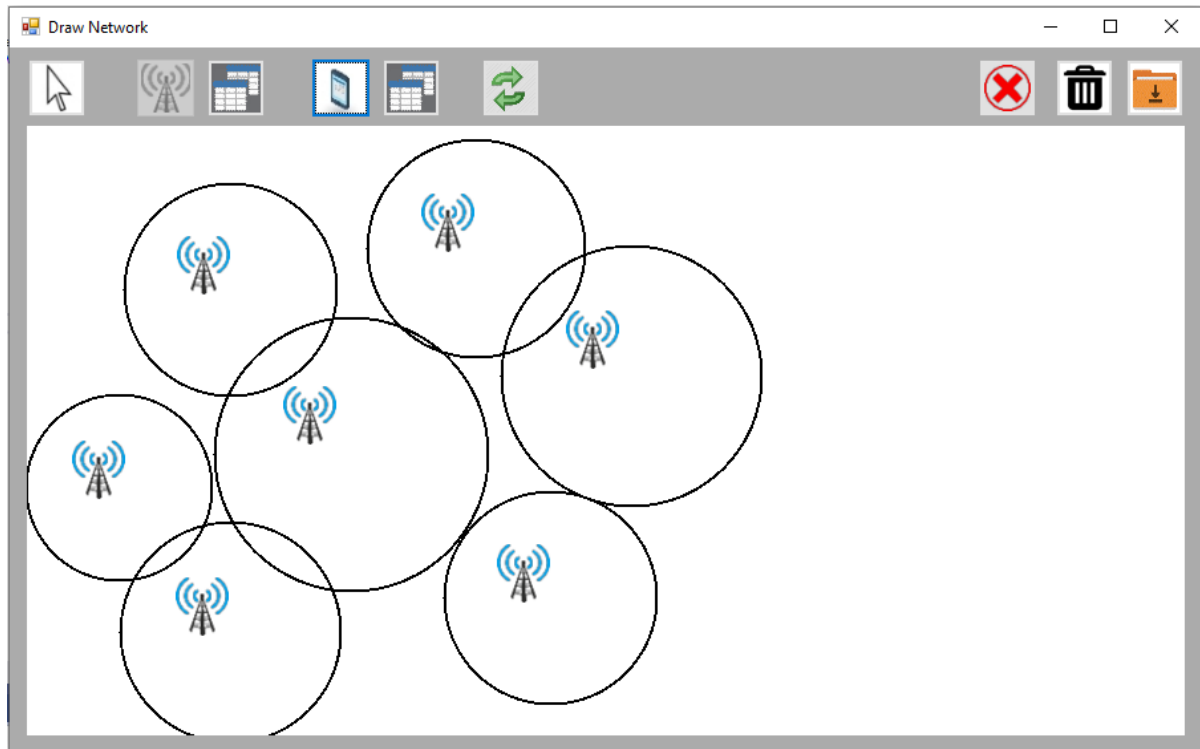


Рисунок 4.12 – Додавання нових базових станцій

На рисунку 4.13 продемонстровано додавання абонентів до створеної мережі. В кожному мережу може бути додано скільки користувачів, скільки дозволяють самі параметри мережі.

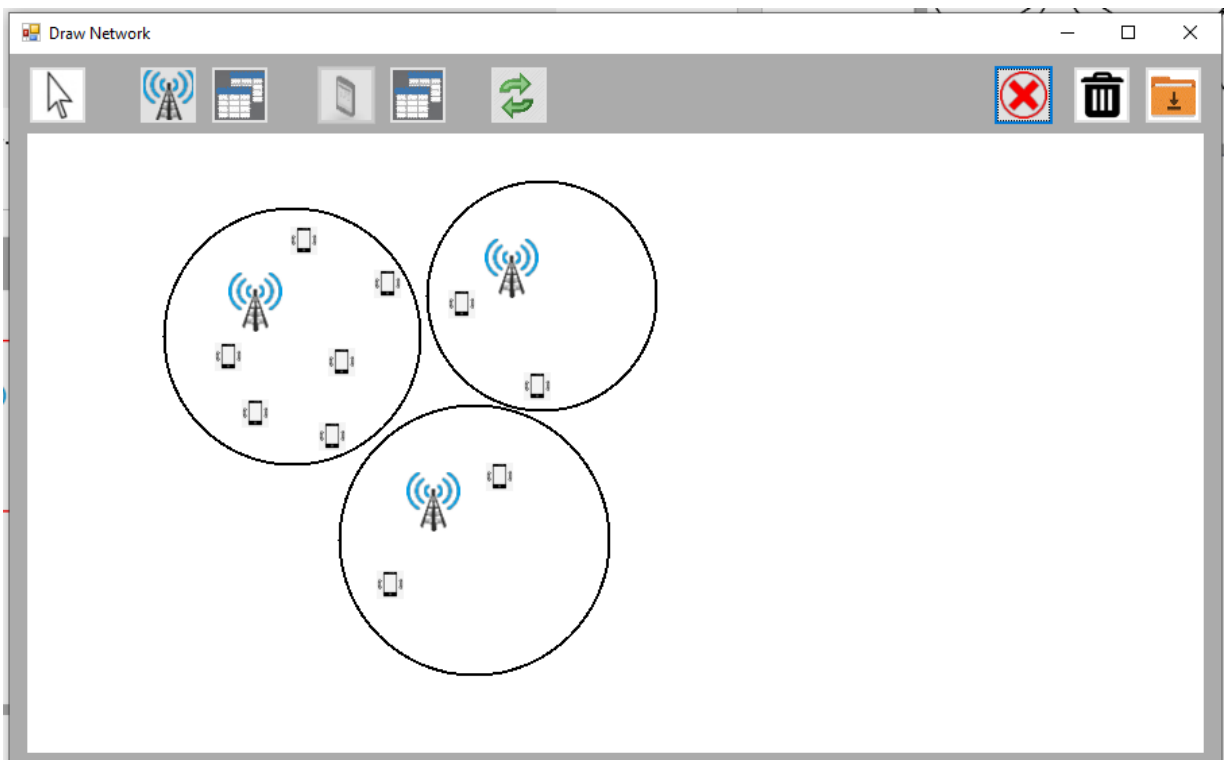


Рисунок 4.13 – Додавання абонентських терміналів до базових станцій

Після створення та тестування безпроводової мережі, користувач має можливість зберегти її, натиснувши відповідну кнопку та вказавши місце збереження. На рисунку 4.14 відображено результат збереження створеної мережі.

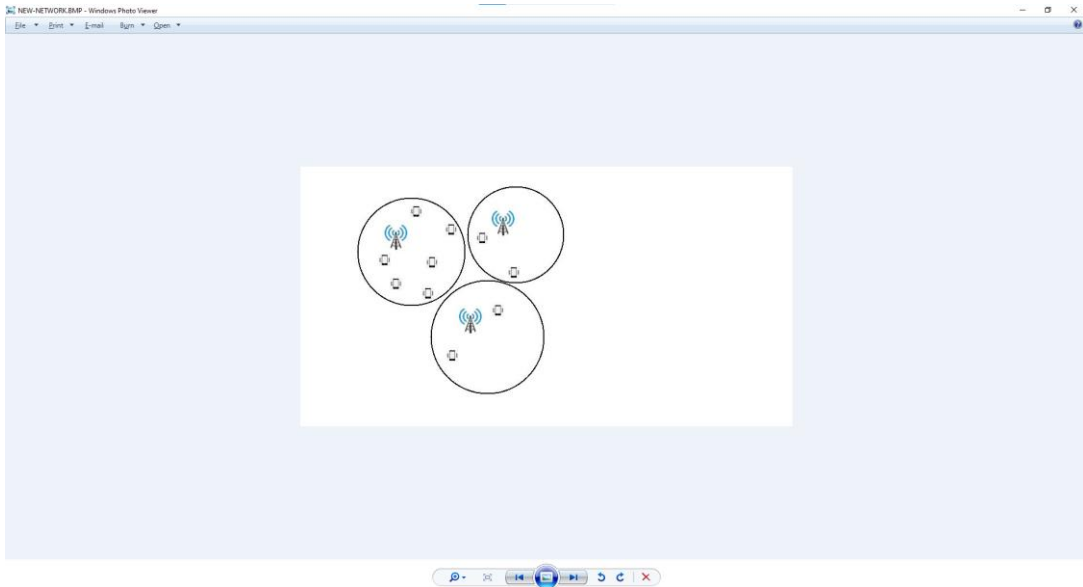


Рисунок 4.14 – Зображення збереженої мережі

Висновки до розділу 4

В даному розділі представлено розроблений програмний продукт. Описано всі модулі та функції, продемонстровано користувацький інтерфейс та наведено інструкцію з користування даним продуктом.

Розроблена програма дозволяє створити мережу, задавши параметри базових станції та абонентів, зберігати ці дані в підключеній базі даних. Також програма дозволяє виконати запропонований в роботі та розроблений алгоритм для даних створеної мережі для проведення аналізу та ефективності цього алгоритму.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В роботі проаналізовано основні методики балансування абонентського навантаження в безпроводових мережах та проведено аналіз існуючих способів розподілу навантаження на базові станції мережі. Також було запропоновано спосіб підвищення ефективності розподілення навантаження на базові станції з використанням програмного контролера для аналізу пропускної спроможності та радіусу покриття базових станцій мережі. На основі досліджень та аналізу розроблено програму, що дозволяє виконувати емуляцію роботи мережі для проведення безпечних тестувань та збору тестових даних.

Запропонований спосіб дозволяє пристроям користувачів, що перебувають у русі перемикатися на менш завантажену базову станцію і мати якісний зв'язок, базовим станціям ініціювати процес хендовера, що надає можливість більш рівномірно розподіляти навантаження, враховуючи переміщення користувачів, забезпечити зменшення навантаження на станції та оптимізувати пропускну спроможність системи в безпроводових мережах в середньому покращивши її показники.

Показано, що процес хендовера ініціюється при зниженні доступного значення пропускної спроможності базової станції нижче певного порогу. Такий підхід дозволяє базовим станціям ініціювати процес хендовера, що надає можливість більш рівномірно розподіляти навантаження між базовими станціями, враховуючи переміщення користувачів, забезпечуючи зменшення навантаження на станції, та оптимізувати пропускну спроможність системи в безпроводових мережах в середньому покращивши її показники на 5%.

Розроблена програма дозволяє створити мережу, задавши параметри базових станції та абонентів, зберігати ці дані в підключеній базі даних. Також програма дозволяє виконати запропонований в роботі та розроблений алгоритм для даних створеної мережі для проведення аналізу та ефективності цього алгоритму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Степутин А. Н. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Т. Том1 / А. Н. Степутин, А Д. Николаев. – 2-е изд. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018 – 384 с. : ил
2. Что такое беспроводные технологии – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ipkey.com.ua/faq/965-wireless-technologies.html>
3. БЕЗПРОВОДОВІ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ (WLAN) – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://netwave.ua/bezdrotovi-merezhi-peredachi-danyh/>
4. Слюсар В.І. Базові станції стільникового зв'язку як джерело метеорологічної інформації. // X науково-практична конференція “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – Київ: ВІТІ. - 9 – 10 листопада 2017 року
5. Принципы передачи сигнала через радио интерфейс в сотовых системах связи – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://celnet.ru/princrad.php>
6. Слюсар В.І. Базові станції стільникового зв'язку як джерело метеорологічної інформації. // X науково-практична конференція “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – Київ: ВІТІ. - 9 – 10 листопада 2017 року. - С. 222. -[1].
7. Підсистема Базових Станцій – [Электронный ресурс]. - Режимдоступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/BSS>
8. Шабунин С.Н. Распространение радиоволн в мобильной связи: учебное пособие / Шабунин С.Н., Лесная Л.Л.. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. 103 с.
9. Дегтяренко И.В., Шахов Д.С., Кнерцер Д.А., Орехов А.А. Модель розвитку мережі мобільного оператора при використанні технології LTE/SON // Наукові праці Донецького національного технічного

університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація.
Випуск: 20 (182). 130-136 с.

- 10.АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ АБОНЕНТСКОЙ НАГРУЗКИ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ СТАНДАРТА GSM – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://jre.cplire.ru/jre/nov02/4/text.html>
- 11.Мохаммад Ю.Ю., Завизиступ Ю.Ю., Коваленко А.А. Метод перераспределения нагрузки базовой станции в технологии WIMAX. Системи обробки інформації 2011. № 5(95), С. 212-217.