

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)
Кафедра Інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Моніторинг параметрів ефективності хендовера в мережах LTE-Advanced
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ТСМЗМ-19-1
Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

освітньої професійної програми
«Телекомунікаційні системи та мережі»
(шифр і назва спеціальності)

Мірось Ю. О.

(прізвище, ініціали)

Керівник кафедри ІКІ ім. В. В. Поповського

проф. Москалець М. В.

(прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Лемешко О. В.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

*Атестаційна робота не містить
відомостей, що заборонені
до відкритого друку*

Студент гр. ТСМзм-19-1

Керівник

Мірось Ю. О.

проф. Москалець М. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет _____ Інфокомунікацій

Кафедра _____ Інфокомунікаційної інженерії ім В.В. Поповського
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
Спеціальність _____ 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Освітня-професійна програма _____ «Телекомунікаційні системи та мережі»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Міросю Юрію Олеговичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Моніторинг параметрів ефективності хендвера в мережах LTE-Advanced

Monitoring of handover efficiency parameters in LTE-Advanced networks

затвержена наказом по університету від «20» жовтня 2020р. №160Стз

2. Термін здачі студентом роботи _____ 15 грудня 2020р. _____

3. Вихідні дані до роботи: Параметри ефективності хендвера в мережах LTE-Advanced: швидкість передачі даних в напрямку від eUE до eNodeB - 50 Мбіт / сек, а t затримки до 10мс; N ресурсних блоків (6, 15, 25, 50, 75 або 100); Hyst - гістерезис у діапазоні значень цієї величини від 0 до 30 дБ; потужність передавача базової станції (eNB power, dBm)- 47; частота передавача базової станції (eNB F, MHz) – 2100; чутливість приймача мобільної станції (UE sens, dBm)- -130; Швидкість переміщення абонента (UE speed, км / год)- 5,20,70; Параметри управління процедурою хендвер: TimeToTrigger, мс - 0, 40, 60...5000; Hyst, дБ - 0,1...30; Offset, дБ - 30...30; модель затухання: Cost Hata.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Перспективи розвитку мереж LTE
- 2) Моніторинг параметрів ефективності хендвера в LTE-Advanced мережах
- 3) Концептуальний опис математичної моделі
- 4) Програмне забезпечення математичної моделі

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, плакатів): Демонстраційний матеріал у вигляді ppt-презентації;

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		(підпис)	(дата)
Основна Частина	Професор Москалець М. В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2020	Виконано
2	Виконання 1 розділу	22.10.2020	Виконано
3	Виконання 2 розділу	25.11.2020	Виконано
4	Виконання 3 розділу	06.12.2020	Виконано
5	Виконання 4 розділу	10.12.2020	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2020	Виконано
7	Оформлення слайдів та презентації	15.12.2020	Виконано

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2020 рокуСтудент _____ Мірось Ю. О.
(підпис) (прізвище, ініціали)Керівник роботи _____ проф. Москалець М. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з: 82 сторінок, 32 рисунків, 22 посилань.

LTE ADVANCED, ІоТ, МЕРЕЖА, МОНІТОРІНГ, КОНТРОЛЬ, РОЗВИТОК СТАНДАРТУ, ОЦІНКА, ЕФЕКТИВНОСТЬ, ПОСЛУГИ, РЕСУРСИ, ПАРАМЕТРИ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ХЕНДОВЕРА

Об'єкт дослідження – процес доступу до ресурсів в LTE-Advanced мережах з забезпеченням параметрів якості хендовера.

Предмет дослідження – моніторинг параметрів ефективності, алгоритми контролю та управління доступом до ресурсів на прикладі мобільних вузлів, які функціонують із заданими параметрами хендовера LTE-Advanced мереж.

Мета атестаційної роботи – аналіз математичного моделювання, алгоритмів, розрахунки з оцінками параметрів підвищення ефективності та якості забезпечення ресурсів хендовера для надання послуг споживачам LTE-Advanced мереж.

Методи досліджень – аналіз науково-технічної літератури, опис, порівняння, зіставлення, формалізація, розрахунок, побудова діаграм, розроблення та використання програмних засобів.

Проведено математичне моделювання, оптимізація розрахунки, аналіз запропонованих алгоритмів, розрахунків з оцінками параметрів забезпечення підвищення ефективності хендовера для надання послуг споживачам LTE-Advanced мереж згідно вимог системи QoS.

ABSTRACT

The explanatory note consists of: 82 pages, 32 figures, 22 references.

LTE ADVANCED, IoT, NETWORK, MONITORING, CONTROL,
STANDARD DEVELOPMENT, EVALUATION, EFFICIENCY, SERVICES,
RESOURCES, PARAMETERS, SAFETY

The object of research is the process of access to resources in LTE-Advanced networks with the provision of handover quality parameters.

The subject of research is monitoring of efficiency parameters, algorithms of control and management of access to resources on the example of mobile nodes which function with the set parameters of handover of LTE-Advanced networks.

The purpose of the certification work is the analysis of mathematical modeling, algorithms, calculations with estimates of parameters to improve the efficiency and quality of providing handover resources for providing services to consumers of LTE-Advanced networks.

Research methods - analysis of scientific and technical literature, description, comparison, comparison, formalization, calculation, construction of diagrams, development and use of software.

Mathematical modeling, optimization of calculations, analysis of the proposed algorithms, calculations with estimates of parameters to improve the efficiency of handover to provide services to consumers of LTE-Advanced networks in accordance with the requirements of the QoS system.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, символів, одиниць і термінів	8
Вступ.....	10
1 Перспективи розвитку мереж LTE.....	13
1.1 Архітектура мережі LTE.....	13
1.2 Інтерфейси мережі LTE	15
1.3 Радіоінтерфейс мережі LTE.....	16
1.4 Особливості розвитку стандарту LTE-A (Advanced)	18
1.5 LTE-Advanced Pro: міст до 5G	24
1.6 Розвиток стандарту в Україні LTE Advanced (LTE-A).....	28
2 Моніторинг параметрів ефективності хендовера в LTE-Advanced мережах.....	34
2.1 Загальні положення.....	34
2.2 Процедури Handover (HO).....	35
2.3 Методи підвищення ефективності хендовера	41
2.4 Процедура алгоритму хендовера	47
2.5 Пропозиції щодо рішення про хендовер.....	48
2.6 Показники ефективності системи – CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm	52
3 Концептуальний опис математичної моделі.....	60
3.1 Постановка завдання.....	60
3.2 Сценарій розробки імітаційної моделі.....	63
3.3 Алгоритм роботи імітаційної моделі.....	64
4 Програмне забезпечення математичної моделі	70
4.1 Моделювання на базі MATLAB.....	70
4.2 Моделювання процедури передачі обслуговування (Handover) в системі MATLAB.....	71
4.3 Текст програми математичної моделі.....	72
Висновки	77
Перелік джерел посилання	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

AC	Абонентська станція
BC	Базова станція
BTS	Base Transceiver Stations
CDMA	Code Division Multiple Access
CoMP	Coordinated Multipoint
CP	Control Plane
CPICH	Common Pilot Channel
CS	Coordinated Scheduling/Beamforming
DL	Downlink
DPS	Dynamic Point Selection
EPC	Evolved Packet Core
EPCN	Evolved Packet Core Network
EPS	Evolved Packet System
FDD	Frequency-Division Duplexing
FTP	File Transfer Protocol
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GW	Gateway
HO	Handover
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
IMS	IP Multimedia Subsystem
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunication sector
KPI	Key Performance Indicators

LTE	Long-Term Evolution
LTE-A	LTE-Advanced
LTE-U	LTE Unlicensed
MEHO	Mobile Evaluated Handover
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
NEHO	Network Evaluated Handover
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PCRF	Policy and charging rules function
PDN	Packet Data Network
QoS	Quality of Service
RAN	Radio access network
RNC	Radio Network Controller
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SCH	Synchronizing Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SISO	Single Input Single Output
TTT	Time-to Trigger Timer
UE	User Equipment
UMB	Ultra-Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UP	Uplink
VoIP	Voice over IP
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
3GPP	3rd Generation Partnership Project

ВСТУП

Різні методи самооптимізації в мережі LTE описані в дев'ятому релізі специфікацій 3GPP і охоплюють оптимізацію навантаження, покриття та ємності мережі, динамічну корекцію параметрів мобільності і автоматичне управління міжмобільної інтерференції.

Під оптимізацією мається на увазі автоматичне визначення параметрів мережі, які забезпечують максимально можливу ефективність та якість обслуговування споживачів (знаходження нових сусідніх станцій і видалення неактивних сусідів, координація рівнів потужності для зменшення інтерференції між сусідніми базовими станціями, оптимізація процесів хендовер і конфігурації QoS).

Однією з основних завдань мережі LTE, як і будь-якої безпроводової системи зв'язку, є забезпечення швидкої і безперебійної передачі обслуговування від однієї базової станції (eNodeB) до іншої. Без процедури хендовер кінцевий користувач не зможе отримувати послуги мережі мобільного зв'язку безперервно без розриву з'єднання[1].

Динамічна корекція параметрів ефективності мобільності спрямована на скорочення кількості безуспішних спроб передачі обслуговування (хендовер), на більш раціональне використання ресурсів управління за рахунок скорочення числа часто повторюваних перемикань між двома базовими станціями ("ping-pong" ефект). В існуючих мережах мобільного зв'язку оптимізація хендовер виконується вручну протягом тривалого часу (дні, тижні). Такий підхід не є задовільним, оскільки оптимізація повинна виконуватися набагато частіше. Використання оптимізаційного алгоритму, дозволить поліпшити ключові характеристики продуктивності мережі і якість обслуговування абонентів[7].

Основною метою даної роботи є встановлення залежності між різними параметрами мережі і ефективністю процедури хендовер, а також знаходження оптимальних умов.

Ефективність процедури хендовер має великий вплив на ключові показники ефективності мережі (KPI), такі як:

- доступність зв'язку (доступність встановлення з'єднання) – ймовірність встановлення з'єднання;
- показник безперервності зв'язку – відсутність передчасного роз'єднання встановленого сполуки між двома абонентами з причин, не залежних від них;
- пропускна здатність мережі[8].

Під оптимізацією процедури передачі обслуговування (хендовер) передбачається динамічна корекція параметрів мобільності на основі статистичної інформації про помилки. Основні параметри, що впливають на ефективність процедури хендовер: гістерезис (hyst), Offset, Time to Trigger. Таким чином основним завданням оптимізації є визначення оптимальних параметрів мережі стільникового зв'язку (гістерезис (hyst), Offset, Time to Trigger).

Дослідження в цій галузі проводять безліч вчених. На дану тему написані різні наукові статті [6,7].

В даній роботі досліджені перспективи розвитку LTE мереж, розроблена модель, максимально наближена до реальних умов роботи системи, враховані всі переваги і недоліки вже наявних моделей.

Імітаційна модель, дозволяє оцінити ключові показники ефективності процедури передачі обслуговування між базовими станціями системи LTE при різних параметрах системи.

За допомогою імітаційної моделі планується отримати графіки залежності пропускної здатності стільники, числа невдалих ранніх і пізніх хендовера в залежності від параметрів, встановлених в чарунку (гістерезис (Hyst), Offset, Time to Trigger). На основі отриманих даних визначені оптимальні параметри якості обслуговування хендовером LTE мереж.

Статті та доповіді:

– Міресь Ю. О., Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірювальних технологій “Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті”-2020. 1-4с.;

– Міресь Ю. О., Сабурова С. О., “Перспективи розвитку технології мобільного зв’язку 4G” представлена на П’ятій міжнародній науково-технічній конференція “Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв’язку, ЕМС-2020”.34-39с.;

– Міресь Ю. О., Рой В. Ф., д.ф.-м.н., проф. “Використання мікропроцесорних пристроїв в системах захисту та керування мережами” [Текст]: матеріали ІІ Всеукраїнської наук.-техн. конф. “Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем”, 3-6 грудня 2018 р. – Х : НТУ “ХПІ”, 2018.;

– Крім того мав публікації у Всеукраїнських студентських конференціях у 2017 і 2018 роках.

1 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ LTE

1.1 Архітектура мережі LTE

Мережу LTE можна розбити на дві основні складові: перша – це мережа радіодоступу E-UTRAN, друга – базова мережа SAE (System Architecture Evolution), іншими словами, EPCN (Evolved Packet Core Network).

LTE – система з комутацією пакетів, яка надає можливість встановлення IP з'єднання між мережею користувачів (User Equipment, UE) і мережею, що передає пакети даних (Packet Data Network, PDN). LTE визначають технологію радіодоступу, а аббревіатура EPC (Evolved Packet Core) позначає мережу оператора мобільного зв'язку. Об'єднанням LTE і EPC служить EPS (Evolved Packet System). Основа EPS – EPS потоки (EPS bearers), їх призначення – це передача IP пакетів між шлюзом (gateway, GW) і PDN до користувальницької мережі (UE).

Будь-який потік є потоком IP пакетів, який відповідає певним параметрам якості обслуговування (Quality of Service, QoS) на проміжку між шлюзом та мережею абонентів. Кожному користувачеві можна призначити кілька EPS потоків з різною якістю обслуговування (наприклад, VoIP і FTP), також це використовується для приєднання до різних PDN.

На рис. 1.1 приведена схема із зображенням основних елементів мережі і назвами інтерфейсів між ними[8].

Головні відмінності представленої архітектури від попередніх поколінь – це зменшення затримки в передачі даних користувача і керуючої інформації. Пов'язано це з тим, що виробляється проходження через менше число проміжних елементів.

Мережа E-UTRAN складається з базових станцій (eNodeB), є радіоінтерфейсом, здійснює зв'язок EPC з користувачами мережі (UE). Головною відмінністю мережі LTE від мережі попередніх поколінь є досягнення

того, що у базових станцій з'явилася можливість обмінюватися інформацією, а також виконувати деякі функції управління. Цей зв'язок здійснюється по протоколу X2. Елемент eNodeB об'єднує в собі функції контролера і передавача.

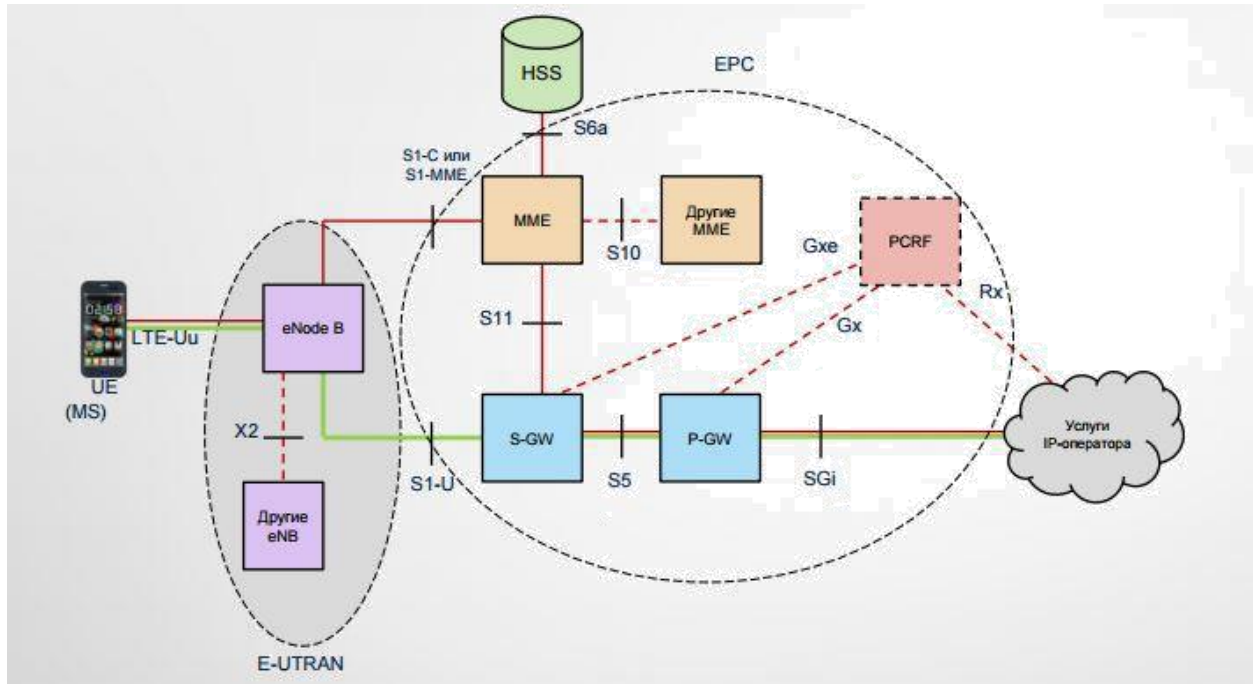


Рисунок 1.1 – Архітектура мережі LTE

Мережа LTE має в своєму складі 2 типу трафіку: трафік для передачі даних користувача (UP – User Plane) і трафік, який використовується для відправки сигнальної інформації (CP – Control Plane). На представленому рисунку вони позначені суцільною і пунктирною лініями відповідно.

Шлюз, створений щоб зв'язуватися з мережами, які застосовують технологію комутації пакетів. Пакетний шлюз необхідний для з'єднання UE з зовнішніми пакетними мережами даних, його можна вважати точкою входу і виходу трафіку для UE [8].

1.2 Інтерфейси мережі LTE

На рис.1.1 представлені інтерфейси мережі LTE:

- X2 – інтерфейс між БС. Базові станції в мережі LTE з'єднані за принципом “кожен з кожним”;
- S1 – інтерфейс зв'язує підсистему базових станцій E-UTRAN і MME. За даним інтерфейсу передаються дані управління;
- S1-U – інтерфейс між E-UTRAN і SAE, по якому передаються призначені для користувача дані;
- S2 – інтерфейс для організації з'єднання між PDN-Gateway і мережами доступу, які не розроблялись 3GPP;
- S3 – інтерфейс, що надає пряме з'єднання SGSN і MME. Він служить для передачі даних управління для забезпечення мобільності між LTE і 2G/3G мережами;
- S4 – інтерфейс, що зв'язує SAE і SGSN. Він служить для передачі призначених для користувача даних для забезпечення мобільності між LTE і 2G/3G мережами;
- S5 – інтерфейс між SAE і PDN-Gateway. S5 призначений для передачі призначених для користувача даних між SAE і PDN-Gateway;
- S6 – інтерфейс між MME і HSS. Він використовується для передачі даних абонентського профілю, а також здійснення процедур аутентифікації в мережі LTE;
- Gx – інтерфейс між PDN-Gateway і PCRF. Gx призначений для передачі правил тарифікації від PCRF до PDN-Gateway;
- SGi – інтерфейс між PDN-Gateway і зовнішніми IP-мережами[9].

1.3 Радіоінтерфейс мережі LTE

Характерна особливість радіозв'язку полягає в тому, що якість радіоканалу не завжди в часі, просторі і залежить від частоти. Якість радіоканалу залежить від характеристик відбитих радіохвиль. З метою підтримки постійної швидкості обміну даними по радіоканалу традиційно використовується ряд способів зведення до мінімуму таких змін (різні методи рознесеною передачі). У той же час при передачі пакетних даних кінцеві користувачі не завжди помічають короточасні коливання бітової швидкості. У зв'язку з цим, одним з основоположних принципів радіодоступу в системі LTE є не зменшення, а використання швидких змін якості радіоканалу, з тим, щоб забезпечити більш ефективно застосування доступних радіоресурсів.

У мережах стандарту LTE швидкість передачі даних в напрямку від eUE до eNodeB може досягати 50 Мбіт/сек, а затримки не перевищують 10мс.

На відміну від радіоінтерфейсу DL, де інформація одного користувача може передаватися на різних піднесучих, в UL дані кожного користувача передаються в одній смузі частот, причому в один і той же час. Однак це не означає, що інформаційні потоки накладаються один на одного і необоротно спотворюються. Це забезпечується завдяки використанню множинного доступу з частотним поділом з єдиною частотою SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

Однією з головних відмінних рис стандарту LTE, яка дозволяє досягати високих швидкостей передачі даних є зміна принципів побудови інтерфейсу від eNodeB до eUE на лінії “вниз”.

Розглянемо головні особливості цього інтерфейсу і постараємося виділити основні якісні відмінності, які відрізняють цей стандарт від інших.

OFDMA-модулятор

Технологія ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) заснована на формуванні

багаточастотного сигналу, який складається з безлічі тих піднесучих частот, що відрізняються на величину, вибрану з умови ортогональності сигналів на сусідніх піднесучих коливаннях. При формуванні OFDM сигналу потік послідовних інформаційних символів тривалістю T_i/N розбивається на блоки, що містять N символів. Далі блок послідовних інформаційних символів перетворюється в паралельний, в якому кожен із символів відповідає певній піднесучій багаточастотного сигналу. При цьому тривалість символів збільшується в N раз. Таким чином, сумарна ширина спектра багаточастотного сигналу відповідає ширині спектра вихідного послідовного сигналу[14]. Метою такого перетворення є захист від вузькосмугових перешкод (або від часткових спотворень спектру в результаті перевідбиттів і багатопроменевого поширення).

MIMO

Крім використання OFDMA в LTE – є ще одне важливе нововведення: використання MIMO (Multiple Input Multiple Output) – множинний вхід множинний вихід.

Технологія MIMO в мережах LTE виконує одну з важливих функцій в забезпеченні високих швидкостей передачі даних. MIMO – технологія, що представляє собою проводований високошвидкісний доступ. Технологія передбачає використання декількох антен на передавальній і приймальній стороні для одночасної передачі більшої кількості даних. Технологія MIMO використовує ефект трансмісії радіохвиль, званий багатопроменим поширенням, при цьому сигнали, що передаються відбиваються від безлічі об'єктів і перешкод, а приймаюча антена приймає сигнали під різними кутами і в різний час. Застосовуючи технологію MIMO, стає можливим збільшити стійкість каналів зв'язку, зменшити відносне число прийнятих з помилкою бітів. В системах LTE передбачені різні режими роботи з декількома передавальними і приймають антенами[12]. Робота таких систем може бути організована за двома принципами: за принципом просторового ущільнення і за принципом просторово-часового кодування.

1.4 Особливості розвитку стандарту LTE-A (Advanced)

Стандарт LTE (zareєстрована торгова марка ETSI) вважають еволюційним продовженням GPRS, UMTS. Зміна стосуються переважно ядра мережі. Розробники зробили специфікацію частиною третього покоління, однак перебивають можливості специфікації дозволили впровадити поняття 3G+. Маркетологи негайно почали анонсувати “четверте” покоління мобільного зв’язку. Інновація зажадала змінити план частот, багато країн виявилися неготовими надати мобільних телефонів необхідні діапазони.

Спочатку точка зору ITU-R визнавала LTE четвертим поколінням. Проте подальші кроки змусили скасувати первинне трактування. Отже, не можна одних маркетологів звинувачувати у виниклій плутанині [16]. Скажемо більше, організаціям було потрібно ввести уточнююче термін “справжній 4G”, щоб провести синхронізацію випущених специфікацій і нових WiMAX 2, LTE-A (Advanced).

На рисунку 1.2 представлено еволюція розвитку стандартів LTE.

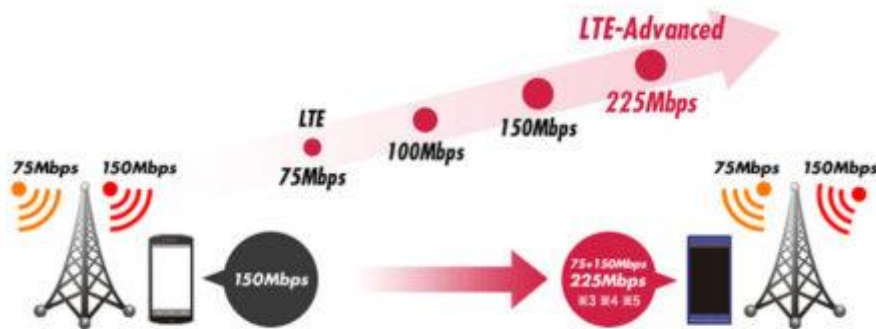


Рисунок 1.2 – Еволюція розвитку стандартів LTE

Удосконалення мережі LTE стосуються впровадження цифрових сигнальних процесорів. Паралельно переслідувалася мета спрощення логічної конструкції шляхом введення IP-адресації (EPC). Ядро старого типу GPRS

усувається, з'являються сучасні можливості хендовера (голосовий зв'язок, Інтернет), веж доживають дні стандартів GSM, CDMA2000, UMTS. Зроблене істотно зменшило латентність передачі. Безпроводовий інтерфейс повністю відкидає зворотну сумісність. Навіть спектр змінився: створені масштабовані ширини спектра сигналу діапазону 1,4..20 МГц.

Забезпечуються швидкості:

1. Завантаження - 300 Мбіт/с.
2. Вивантаження - 75 Мбіт/с.

Пакет QoS знижує латентність доступу до 5 мс. Технологія надає послуги цільової розсилки, широкомовного сервісу[17]. Паралельно використовують частотний, тимчасовий методи дуплексування каналу. Збільшена ємність дозволяє знизити ціну надання послуг (вчетверо перекиває HSPA). TeliaSonera використовувала смугу 10 МГц (максимально обговорений стандартом – 20 МГц), застосовуючи метод передачі даних “єдиного входу - єдиного виходу”. Фізичний шар забезпечив швидкості:

1. Завантаження – 50 Мбіт/с.
2. Вивантаження – 25 Мбіт/с.

На рисунку 1.3 представлена структурна схема конвергенції LTE мереж на базі IMS.

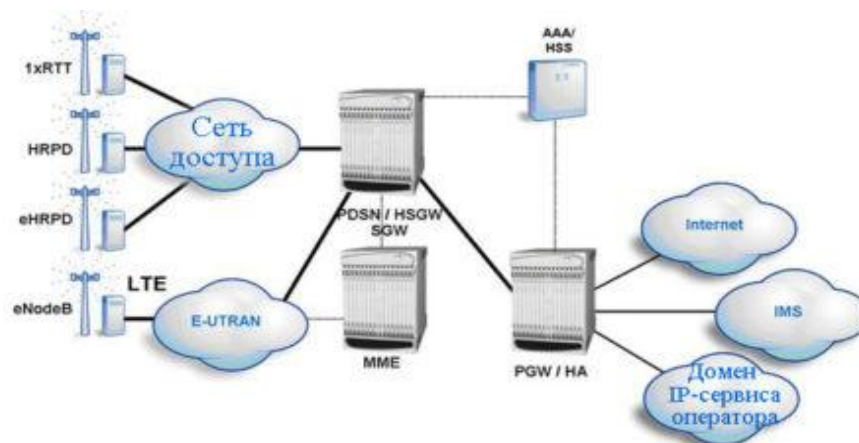


Рисунок 1.3 – Структурна схема конвергенції LTE мереж на базі IMS

Повна назва версії стандарту – LTE-TDD. Результат спільної роботи Huawei, Datang Telecom, ZTE, China Mobile, Nokia, Samsung, Qualcomm, ST-Ericsson.

Іноді маркетингологи, компанії використовують інший акронім – TD-LTE. Тимчасове розподіл надає потокам завантаження-вивантаження єдину частоту. Стає можливим гнучко підстроювати напрямок згідно з потребами абонента. Другою особливістю є використання інших діапазонів, ніж задіяні частотним поділом: 1850..3800 МГц. Спектр послуг виходить дешевше, несе менше трафіку. Часткове взаємне те з WiMAX уможлиблює модернізацію в мережах.

Технології частотного, тимчасового поділу використовують однакове на 90% ядро. Результат – перехресна експлуатація обох варіантів мережами одного оператора. Компанії вже зайнялися випуском комбінованих моделей (Samsung, Qualcomm), що поєднують обидві інноваційні галузі в телефоні. Використовуються спарені частоти.

LTE Direct

Протокол передачі інформації між пристроями на відстань приблизно 500 м. Вперше впроваджено компанією Qualcomm. Заручившись підтримкою 3GPP, фірма стандартизувала технологію. Ідея швидко обігнала аналогічні можливості Wi-Fi, Bluetooth.

Більшість провайдерів CDMA планували освоювати WiMAX, або UMB. Розробку LTE можна вважати відповіддю. Перша реалізована пробна версія мережі побудована (2004) японським провайдером NTT DoCoMo. Наступний рік стандарт активно обговорювалося пресою. Восени 2006 відбулася демонстрація Siemens Networks функціоналу нового покоління мобільного зв'язку: передача потоку відео HDTV. Канал вивантаження протестували на онлайн грі високого споживання ресурсів. У 2007 року вирішено було створити альянс LTE/SAE, аналогічно крокам, що відзначив впровадження

GSM (асоціація існує понині). Нова організація покликана спростити взаємодію двох глобальних груп [15].

Відмінності між LTE-A і LTE

Основна відмінність між мережами і пристроями, які підтримують LTE-Advanced (також званий LTE-A) і LTE, - це функція, яка називається агрегацією несучих. Агрегація несучих відноситься до здатності мережі або пристрою об'єднувати пропускну здатність – смугу пропускання, яка може бути розкидана по радіочастотного спектру. Наприклад, припустимо що оператор мобільного зв'язку може мати спектр в смугах частот 900 МГц, 1800 МГц і 2100 МГц. Раніше, коли телефон підключався до мережі, він підключався тільки в одному з цих діапазонів.

Пристрій буде мати доступ до максимальної смуги пропускання, доступною в цій смугі, яка завжди менше 20 МГц. Завдяки агрегації несучих можна об'єднати смугу пропускання на декількох частотах, щоб надати пристроям доступ до частин смуги пропускання понад 20 МГц, що означає більш високі швидкості (рис. 1.4).

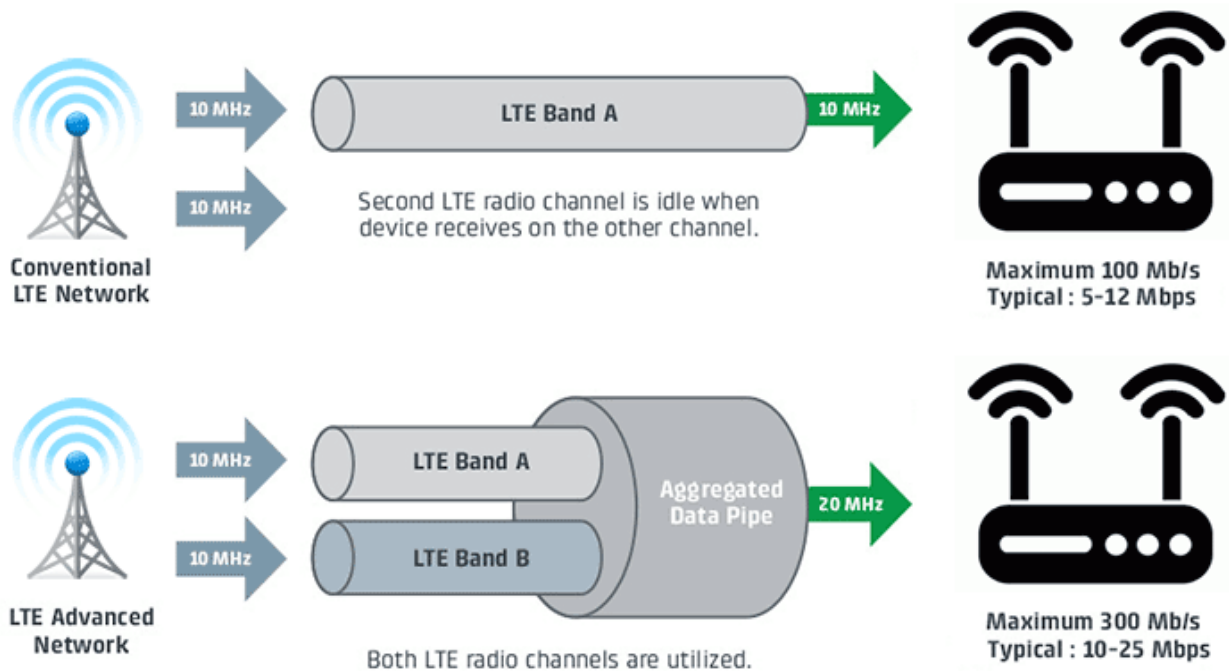


Рисунок 1.4 – Структурна схема відмінності між LTE-A і LTE

LTE з агрегацією несучих або LTE-Advanced визначено в 3GPP Release 10. Стандарт додає декілька категорій пристроїв, які можуть використовувати можливості агрегації несучих LTE-Advanced – починаючи від Cat. 6. Будь-який пристрій, оцінений як LTE Cat. 6 або вище може бути розцінений як пристрій LTE-Advanced. Якщо продавець не перераховує категорію обладнання користувача, ви можете знайти згадки про агрегації несучих (CA). Наступні випуски 3GPP дозволяють об'єднувати три або більше несучих, які іноді скорочено позначаються як “3CA” або “4CA”. Відповідно починаючи від LTE6, швидкість передачі даних значно вище[12].

Поява LTE-Advanced Pro – також відомого на деяких ринках як Gigabit LTE (версія 3GPP 13 і вище). Він пропонує в агрегації до 32 компонентних несучих. Теоретично вони забезпечують максимальну швидкість завантаження приблизно 3,3 Гбіт/с і 1,5 Гбіт/с (рис. 1.5).

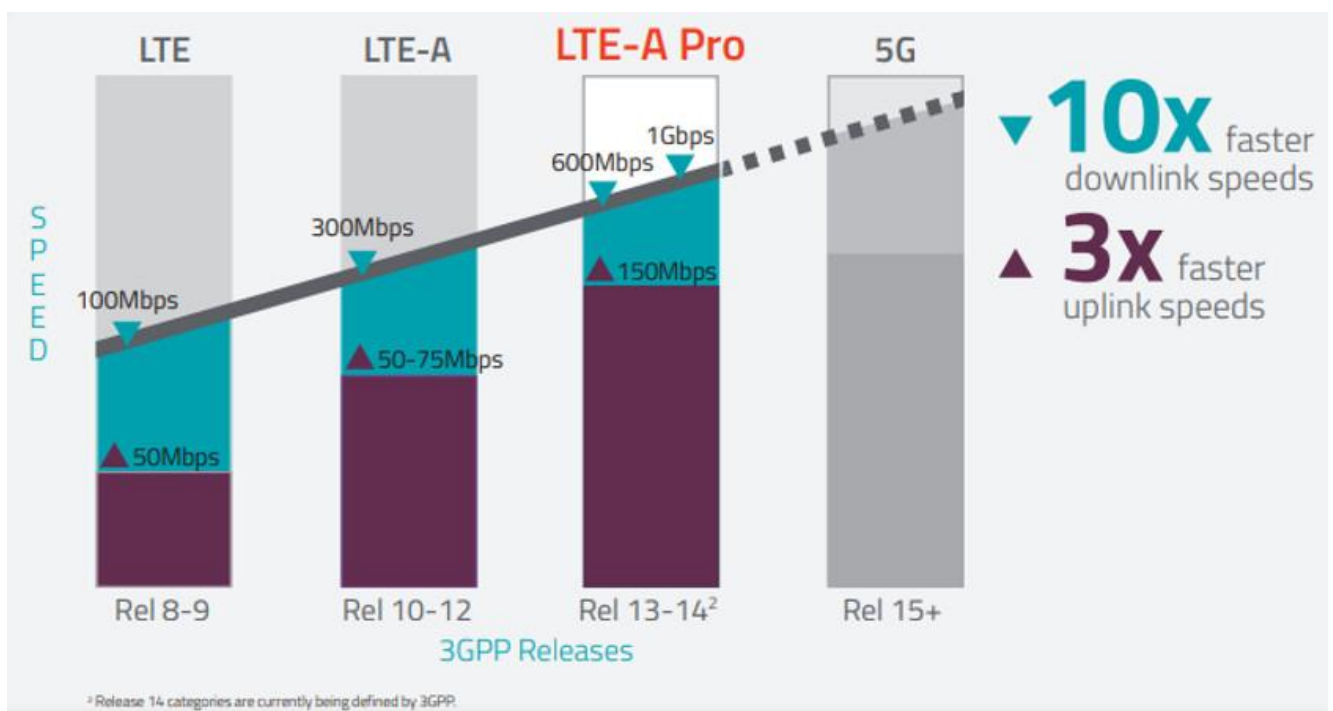


Рисунок 1.5 – 3GPP Releases: LTE, LTE-Advanced, LTE, Advanced Pro та 5G

МІМО і модуляція

На додаток до агрегації несучих категорія LTE також вказує, чи підтримує пристрій конфігурації антен з безліччю входів і безліччю виходів (МІМО), поряд зі схемами модуляції більш високого порядку, такими як квадратурна амплітудна модуляція 256 (QAM). Підтримка 256 QAM визначена в 3GPP Release 12 з категоріями LTE в діапазоні від категорії 13 до категорії 16.

Підтримка 256 QAM визначена в 3GPP Release 12 з категоріями LTE в діапазоні від категорії 13 до категорії 16 [14].

В таблиці 1.1 наведено порівняння LTE категорій.

Таблиця 1.1 – Порівняння LTE категорій

	Category	Max. Download (Mbps)	Max. Upload (Mbps)	Max. number of DL MIMO layers	Support for 64QAM in UL	3GPP Release
	NB1	0.68	1	1		Rel 13
	M1	1	1	1		
	0	1	1	1	No	Rel 12
LTE	1	10	5	1	No	Rel 8
	2	50	25	2	No	
	3	100	50	2	No	
	4	150	50	2	No	
	5	300	75	4	Yes	
LTE-A	6	300	50	2 or 4	No	Rel 10
	7	300	100	2 or 4	No	
	8	3000	1500	8	Yes	
	9	450	50	2 or 4	No	Rel 11
	10	450	100	2 or 4	No	
	11	600	50	2 or 4	No	
	12	600	100	2 or 4	No	
	13	390	150	2 or 4	Yes	Rel 12
	14	3900	1500	8		
	15	750	226	2 or 4		
	16	979	n/a	2 or 4		
	17	25065	n/a	8		Rel 13
	18	1174	n/a	2 or 4 or 8		
	19	1566	n/a	2 or 4 or 8		

1.5 LTE-Advanced Pro: міст до 5G

На цей час компанією IxLoad-Wireless XAir2 в прес-релізі від Ixia представлено тестер емуляції LTE. У прес-релізі IxLoad LTE XAir2 описується як “тестовий продукт мережі радіодоступу (RAN), спеціально розроблений для постачальників послуг, виробників обладнання та чіпсетів, а також підприємств, що розробляють LTE Advanced Pro (4,5G) та пов’язані з 5G продукти та послуги”. На рисунку 1.6 представлено еволюційний розвиток LTE Advanced Pro (4,5G).

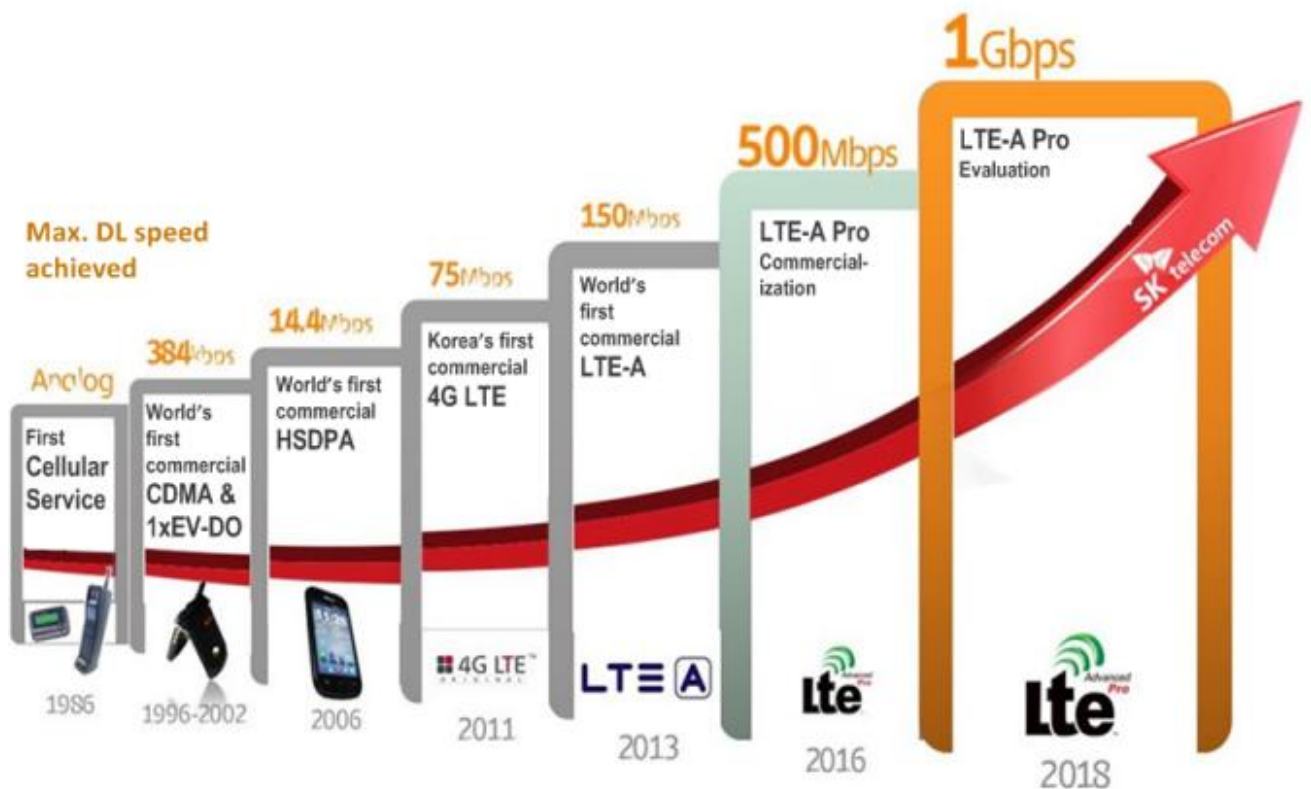


Рисунок 1.6 – Еволюційний розвиток LTE Advanced Pro (4,5G)

Мобільна технологія перейшла з аналогової на 4G LTE-Advanced Pro, розробляється 5G[2].

Мобільні пристрої IoT (Internet of Things) та зростаючий попит на більшу пропускну здатність з боку користувачів – це можливість прискорити

впровадження 5G. LTE-Advanced Pro – це міст від LTE-Advanced до 5G. Ринок IoT чекає розвиток стандарту 5G.

LTE XAir2 від Ixia емулює тисячі дзвінків і призначений для тестування обладнання та мереж мобільного зв'язку.

Можливості LTE Advanced Pro

LTE-Advanced Carrier Aggregation (2CA до 4CA):

- агрегація носіїв нарешті отримує своє значення. Ідея цього полягає у використанні двох-п'яти несучих, кожна ширина яких становить 20 МГц, для формування будь-якого блоку смуги пропускання до 100 МГц (рис.1.7);

- перевізники також можуть бути відправлені через різні блоки. Тестування агрегації операторів у мережевій інфраструктурі LTE-Advanced детально описує агрегацію операторів. LTE-A Pro може вмістити до 32 несучих, кожна з частотою 20 МГц для теоретичної пропускної здатності 640 МГц;

На рисунку 1.7 показано агрегацію несучих, яка використовує кілька несучих, кожна з яких має пропускну здатність до 20 МГц.

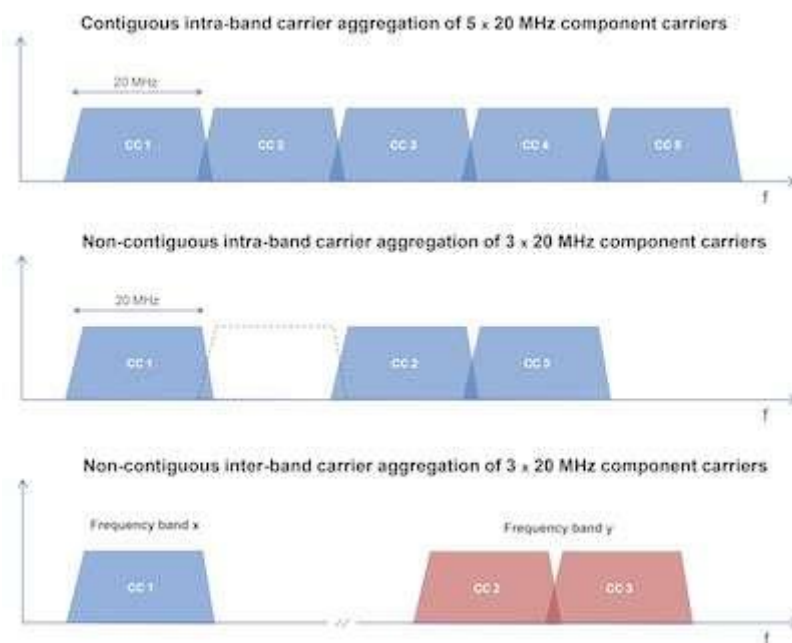


Рисунок 1.7 – Агрегація несучих з пропускну здатністю до 20 МГц

Конфігурації антен SISO, 2×2 та 4×4 MIMO: Кілька антен дозволяють безпроводовим системам, таким як LTE та Wi-Fi, збільшувати пропускну здатність через окремі антени; кожна антена працює в одному RF-діапазоні. Приймач поєднує сигнали в єдиний потік даних.

На рисунку 1.8 показані типові конфігурації MIMO, які складаються з антен 2×2, 4×4 та 8×2.

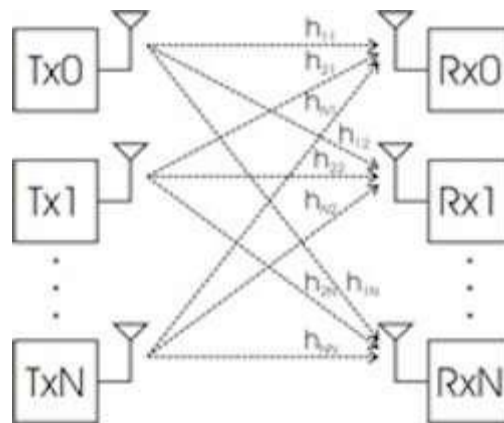


Рисунок 1.8 – Типові конфігурації MIMO

256QAM – інший спосіб збільшити дані за весь час – це втискання більшої кількості бітів у символ. Прийнятий код у випуску 3GPP 12, 256QAM (рис. 1.9) кодує вісім бітів на символ. Це порівняно з 64QAM у попередніх випусках. Завдяки 256QAM кожна несуча здатна пропускати 100 Мбіт/с даних.

Неліцензійний спектр: LTE-Advanced Pro використовує переваги неліцензійного спектру 5 ГГц. Первинна несуча працює на частотах від 400 МГц до 3,8 ГГц.[22].

Оператори можуть використовувати неліцензійний спектр як окремий, так і агрегований з ліцензованим спектром, що може ефективніше використовувати дорогі ресурси мобільного зв'язку та забезпечити споживачам збільшення швидкості.

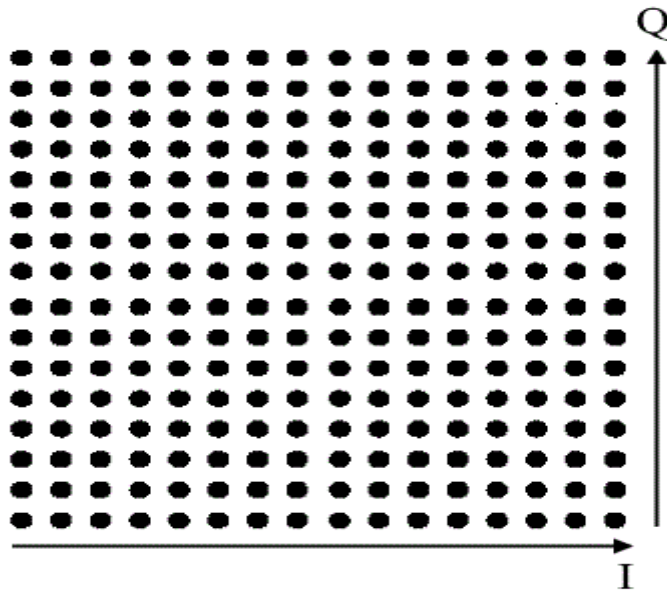


Рисунок 1.9 – Діаграма випуску 3GPP 12, 256QAM

Всі функції LTE-Advanced Pro можуть призвести до теоретичної швидкості завантаження до 3Гбіт/с. Цього має бути достатньо, щоб на деякий час залишатись задоволеним для споживачів LTE-Advanced Pro. Таким чином, стандарт LTE буде існувати на довший час автономної роботи.

Уже відомо, що в Японії були проведені перші випробування LTE-Advanced Pro: міст до 5G, які пройшли успішно. Решта країн, що працюють на ринку інформаційно-комунікаційних технологій, не відстають. Так, в університеті Суррея (Велика Британія) за допомогою інноваційного набору обладнання була досягнута рекордна на даний момент швидкість передачі понад 1Тбіт/с. Публічну демонстрацію університет провів в 2018 р.

На сьогодні існує технологія LTE-U (LTE Unlicensed), сенс якої впливає з її назви: використання стандарту LTE на неліцензійному спектрі частот. Звичайно, це допускається тільки на малопотужних базових станціях і призначається для роботи в закритому просторі. Використання набору невеликих діапазонів невикористовуваних частот призводить до збільшення пропускної здатності.

Не оминув увагою новий стандарт і широко поширену технологію Wi-Fi. Однак застосування її тут дещо незвично, а саме для проектування локальних мереж. Для одночасного використання LTE і Wi-Fi була розроблена технологія Link Aggregation, яка робить можливим використання обох стандартів в пристроях, що підтримують одну з технологій [5]. Але нюансів використання LTE-U поки що занадто багато. І невідомо, чи будуть вони подолані, або технологія так і не набуде широкого поширення.

1.6 Розвиток стандарту в Україні LTE Advanced (LTE-A)

У клієнтів оператора Vodafone, Kyivstar і lifecell в Україні в смартфонах з'явився новий значок – 4G +. Він відображений в верхній частині екрану, там, де відображається якість і вид мобільної мережі. Це пов'язано з розширенням смуги частот і, як наслідок, поліпшенням якості передачі даних. У деяких телефонах це відбилося, як поява значка 4G + [12].

Поява значка 4G + обумовлено так званою технологією carrier aggregation (агрегація частот). Деякі термінали, коли бачать два діапазони LTE 1800 МГц і 2600 МГц розуміють, що їх можна між собою об'єднати для підвищення швидкості передачі даних, позначають це у себе значком 4G +. Ця технологія називається LTE Advanced (LTE-A).

На рисунку 1.10 представлено мережева архітектура LTE-Advanced.

Користувачі смартфонів Huawei можуть виявити у себе в налаштуваннях пункт під назвою “Агрегація частот”. Апарати інших виробників (наприклад, Xiaomi) такої опції не мають, але також підтримують цей режим зв'язку. Як правило, він доступний пристроям середнього рівня і флагманським пристроям, які оснащені сучасними модемами мобільного зв'язку.

В травні 2020 року оператор мобільного зв'язку Vodafone Україна повідомив про введення в комерційну експлуатацію обладнання останнього покоління компанії Huawei для мережі 4G в Одесі.

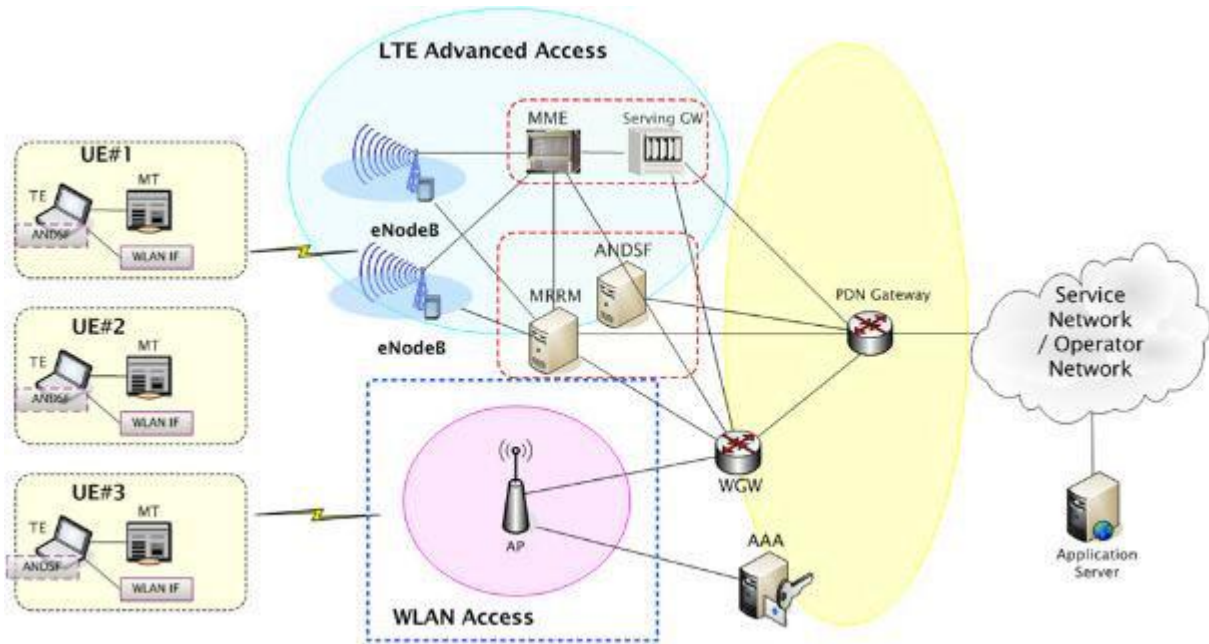


Рисунок 1.10 – Мережева архітектура LTE-Advanced

Завдяки рішенням LTE1800 4×4 MIMO + LTE2600 4×4 MIMO Carrier Aggregation ще одне місто (після Києва), досяг рекордної швидкості мобільного Інтернету в 538 Мбіт/сек на частотах 1800 МГц і 2600 МГц.

В Україні мережа LTE запущена в діапазоні 1800 МГц. Цей діапазон розділений між гравцями ринку: кожен отримав деяку частину певної ширини (5 МГц, 10 МГц і т. п.). “Київстар”, наприклад, володіє п’ятьма каналами по 5 МГц (всього 25 МГц безперервного спектра), Vodafone – 20 МГц, а lifecell – 15 МГц.

Канал – це якийсь вузький коридор, яким може скористатися обмежена кількість користувачів. Чим більше спектр, тим більше ємність мережі і, відповідно, тим більше користувачів можуть отримувати нормальну швидкість передачі даних.

Коли один діапазон є перевантаженим, на допомогу може прийти інший - в нашому випадку 2600 МГц. На цій частоті оператори розгортають мережі мобільного зв’язку там, де постійно велике скупчення народу.

Хоч дальність дії мережі на такій частоті вкрай мала, зате її ємність збільшується в рази. Щоб вичавити максимум з такого поєднання діапазонів, і приходиться на допомогу агрегація несучих.

Агрегація частот – це режим зв'язку, в якому модем одночасно підключається до декількох каналах зв'язку, об'єднуючи їх пропускну здатність.

Дані передаються і приймаються паралельно за двома (і більше) лініях, що призводить до підвищення швидкості інтернет-підключення по LTE.

1800 МГц – це band 3, а 2600 МГц – band 7. Смартфони вміють об'єднувати в один потік як кілька однакових діапазонів, наприклад, 7+7, так і різних – 3+7. Можливі й потрібні комбінації – 3+7+7. Все це залежить від мережі оператора: який варіант він підтримує. В Україні на часі об'єднання band 3 і band 7[6].

Кожен апарат має модуль зв'язку, одна з характеристик якого – LTE Cat. Агрегація підтримується, починаючи з версії Cat.6, максимальна швидкість може досягати 300 Мбіт/с. Чим більше цифра, тим більшу швидкість може видати апарат. Наприклад, на останніх флагманах Samsung можна досягти аж 2 Гбіт/с. Плюси агрегації очевидні: там, де максимум 75 Мбіт/с на одній частоті, можна отримати 150 Мбіт/с і більше при комбінуванні другого діапазону.

Агрегація частот

Мобільні мережі LTE працюють в різних діапазонах (ті самі band 3, 7, 20 і т. д.). Кожен з них задіє не одну конкретну частоту, типу 2600 МГц, а діапазон шириною від декількох мегагерц. Це, наприклад, 2500-2570 МГц для передачі, і 2620-2690 МГц – для прийому даних в мережах band 7. Цей діапазон поділений на менші відрізки, наприклад, 2500-2520 МГц для передачі, і 2620-2640 МГц – для прийому. В такому вузькому “коридорі” за замовчуванням підтримує зв'язок LTE-модем смартфона.

Звичайно, частотний діапазон обмежений, а одна базова станція оператора не може обслуговувати нескінченне число абонентів. Тому оператори змушені використовувати вузькі частотний простір, в яких підтримується зв'язок. Це може бути 1,5, 3, 5, 10, 15 або 20 МГц. Чим ширше

діапазон – тим більше підключень обслуговуватиме радіобазова станція, але тим нижче буде швидкість у них.

Агрегація частот об'єднує кілька вузьких “коридорів”, наприклад, робить з двох або трьох з 20 МГц – один багатосмуговий, загальною шириною 40 або 60 МГц. Відповідно швидкість підключення теоретично може збільшуватися до двох або трьох разів.

На рисунку 1.11 представлено принцип агрегації 3-х частотних каналів в LTE-Advanced.

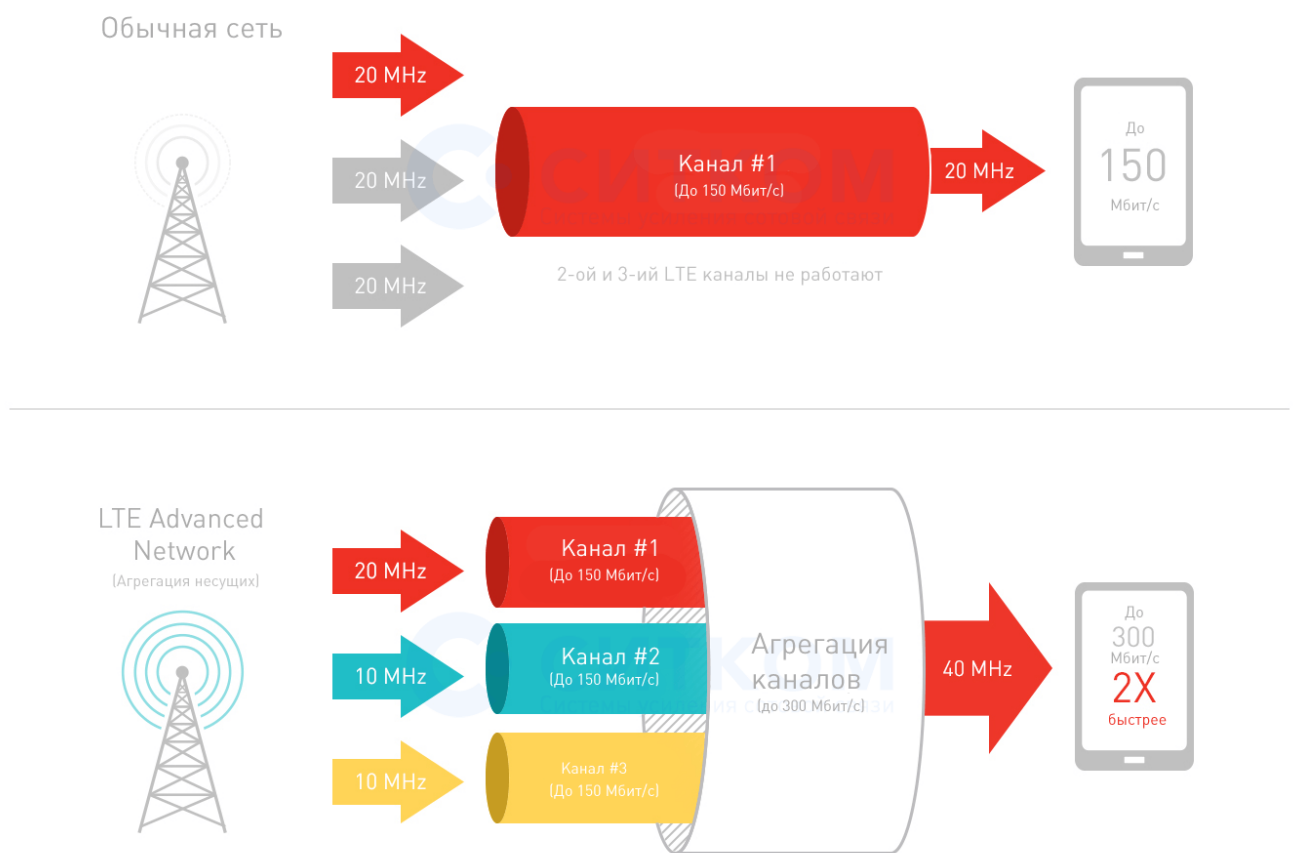


Рисунок 1.11 – Принцип агрегації 3-х частотних каналів в LTE-Advanced

Агрегація частот може об'єднувати пропускну здатність як двох діапазонів одного стандарту (бенду), так і декількох. Наприклад, об'єднати два “коридори” в рамках LTE Band 7, так і агрегувати сигнал Band 7 з Band 3. Це відкриває перед операторами/провайдерами (і користувачами) можливість гнучкого використання радіочастотного спектру, незалежно від специфіки

мережі в конкретному містіхь[18] Об'єднувати можна не тільки підмережі різних бендів, а й різних стандартів поділу. Технологія доступна навіть для одночасного підключення до FDD-підмережі (частотне розділення каналів) Band3 і TDD-підмережі Band38, яка використовує тимчасовий поділ каналів для прийому і передачі сигналу. Правда, так можуть не всі (iPhone – не може).

Підтримка смартфонами агрегацію частот

Агрегацію каналів підтримують всі сучасні смартфони, оснащені модемами LTE категорій 6+. Пристрої з LTE Cat.4 і нижче об'єднувати несучі не здатні, їм високошвидкісний Інтернет, доступний тільки в одноканальному режимі. Дізнатися, якої категорії відповідає смартфон, можна з опису.

У Samsung підтримку об'єднання каналів LTE має більшість моделей, крім самих бюджетних і простих (Galaxy J4 Core), які обладнані модемом Cat.4.

Така ж ситуація і у Xiaomi, серед смартфонів для яких тільки ультрабюджетні по типу Redmi Go або 5A позбавлені цієї функціональності.

У Huawei агрегація частот залежить від чіпсета. Бюджетні термінали на простих чіпах, начебто MT6739 або SD425, оснащуються модемами LTE Cat.4, в той час як пристрої середнього сегменту і флагманськими SoC новіші вміють об'єднувати діапазони. У Apple ця можливість доступна всім моделям, починаючи з iPhone 6S.

Від категорії модему LTE залежить, як саме він вміє поєднувати канали. Cat. 6 може одночасно використовувати 2 канали шириною до 20 МГц кожен, щоб видавати швидкості до 300 Мбіт/с. Cat.9 може використовувати вже 3 “коридори” такої ж ширини, збільшуючи максимальну швидкість до 450 Мбіт/с. Модеми категорії 12 піднімають планку до 600 Мбіт/с.

LTE Cat.16 підтримує об'єднання до 4 каналів в режимі MIMO, видаючи до гігабіта в секунду. Найсучасніші (початок 2019) модеми LTE, відповідні Cat.20 і вище, вже наблизилися до позначки 2Гбіт/с. Вони здатні об'єднувати одночасно до 7 каналів.

Розплатою за високу швидкість стає підвищення витрати енергії. Адже чим більше частот одночасно використовується – тим з більшим числом базових станцій потрібно тримати контакт, і тим вище навантаження на модем. Саме з метою уникнення зайвого розряду батареї в налаштуваннях Huawei агрегацію частот можна вимкнути.

Недоліком технології є її слабка пристосованість до реальних умов експлуатації. Мало хто з операторів можуть похвалитися великим запасом використовуваних діапазонів. Зазвичай, через конкуренцію, кожному з них дістається щодо вузька смуга в пару-трійку десятків мегагерц. А якщо в неї вміщується всього два канали – то, будь в смартфоні хоч LTE Cat.21, більше 300 Мбіт/с не вийде досягти навіть в теорії.

Об'єднання декількох бендів могло б вирішити проблему малої ширини діапазонів у конкретного оператора, але і воно часто марно. Адже оператори/провайдери економно використовують частотний ресурс і нечасто встановлюють паралельно приймачі різних підмереж на одній вищці.

Як правило, низькочастотний Band20 (800МГц) використовується в малонаселеній місцевості, а Band7 (2,6ГГц) - в центрах міст і місцях великого скупчення людей. Такого, щоб вони були поруч, потрібно ще пошукати. Тому, навіть якщо смартфон може і хоче об'єднати канали – він просто не знайде відповідного варіанту в зоні досяжності. А якщо і знайде – сигнал буде слабким, приріст швидкості мізерним, а зростання витрат заряду істотним.

Агрегація частот LTE – це передова технологія, що дозволяє підвищити швидкість Інтернет-підключення. Але її проблема в тому, що до практичного застосування вона доступна лише в ідеалізованих умовах, особливо, якщо мова про гігабітних швидкостях.

2 МОНІТОРИНГ ПІДВИЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ХЕНДОВЕРА В LTE-ADVANCED МЕРЕЖАХ

2.1 Загальні положення

LTE-A, також відомий як LTE-A або LTE Release 10, є стандартом мобільного зв'язку, запропонованим проектом партнерства 3-го покоління (3GPP) у 2009 році як основне вдосконалення стандарту LTE з метою задоволення сучасних вимог міжнародного мобільного зв'язку, виданих міжнародний союз телекомунікацій, ITU-T – сектор радіозв'язку[21].

Існує низка ключових функцій, представлених в LTE-A, включаючи Handover (НО), агрегацію несучих, покращення просторового мультиплексування в низхідній та висхідній лініях зв'язку, вузли ретрансляції, сумісні гетерогенні мережі та координовану багатоточкову передачу та прийом.

Агрегація несучих забезпечує високу пікову швидкість передачі даних 1 Гбіт/с в низхідній лінії зв'язку та 500 Мбіт/с в висхідній лінії зв'язку з розширенням смуги пропускання від 20 МГц до 100 МГц. Покращення просторового мультиплексування в низхідній та висхідній лініях може бути досягнуто за допомогою використання до восьми шарів та чотирьох шарів багато вхідних та багатовихідних антен (MIMO) відповідно. Як ретрансляційні вузли, так і сумісність різнорідних мереж забезпечують покриття та пропускну здатність у районах, важкодоступних або дорогих для досягнення за допомогою традиційного підходу.

Передача та прийом CoMP є ключовим методом LTE-A для поліпшення пропускну здатності та / або пропускну здатності системи, у тому числі при забезпеченні Handover (НО). Існує два типи схем CoMP, які були оцінені для системи LTE-A: спільна обробка (JP) та координоване планування / формування променя (CS/CB). JP надає безліч точок передачі даних для кожного UE серед кількох співпрацюючих eNB, тоді як CS/CB підтримує лише

єдиничну передачу даних для кожного UE при обслуговуванні eNB з рішеннями щодо планування / формування проміння користувача, прийнятими з координацією між співпрацюючими eNB, утому числі при Handover (HO).

2.2 Процедури Handover (HO)

У стандарті UMTS виділяються два види хендовера, м'які і жорсткі, які встановлені відповідно до специфікації Європейського інституту по стандартизації в галузі телекомунікацій (ETSI).

М'який хендовер (soft handover)

Абонентська станція (UE) встановлює зв'язок в одні і ті ж проміжки часу з декількома базовими станціями (BTS), які з'єднані з одним, або різними контролерами радімережі (RNC). UE надається перелік кодів сусідніх БС (рис. 2.1). Після отримання АС вимірює потужності їх сигналів в пілотних каналах (CPICH) і каналах синхронізації (SCH).

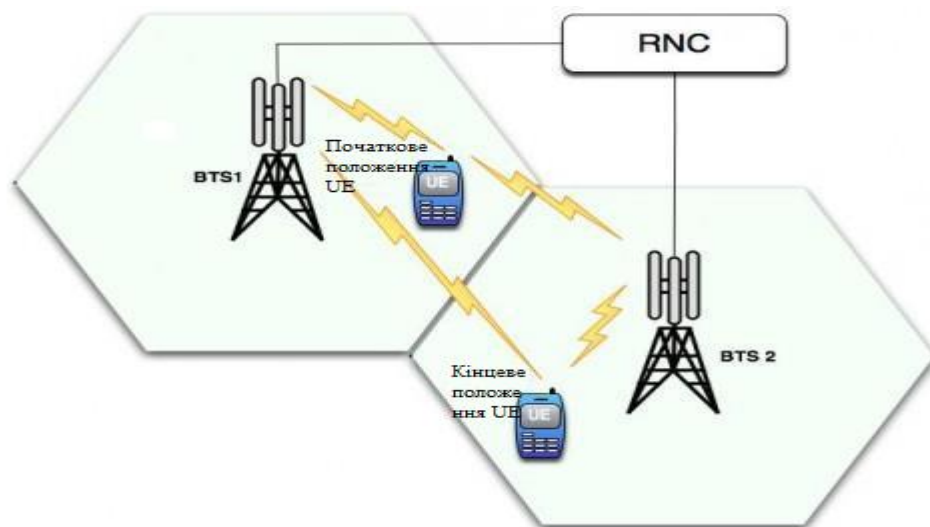


Рисунок 2.1 – М'який хендовер

М'який хендовер відбувається в момент часу, коли ці потужності стають пропорційними з потужністю відповідних каналів, одержуваних від

обслуговуючої BTS. Виникнення м'якого хендовера можливо тільки на одній частоті[11].

Особливим випадком м'якого хендовера є – “найм'якший” хендовер (softer handover). Відмінність найм'якшого хендовера від м'якого в тому, що він відбувається коли абонентська станція переміщається з одного сектора в інший в межах однієї секторизованої базової станції.

Вибір кадру з найменшим числом помилок здійснюється контролером BTS, а не контролером радіомережі. Тому в м'яких хендоверах, разом з мікрорознесенням в Rake-приймачах базових станцій при передачі висхідного сигналу відбувається і макрорознесення сигналів в контролері радіомережі (RNC). Результуючий сигнал вгору утворює RNC, створюючи послідовність кадрів, які були прийняті від різних базових станцій в залежності від якості їх прийому.

Жорсткий хендовер

Виникає при переміщенні UE із зони дії однієї BTS в зону дії іншої, яка працює на іншій частоті. Коли відбувається жорсткий хендовер мобільний станція спочатку завершує процес доступу до послуг мережі в зоні дії обслуговуючої BTS, а потім починає його в зоні дії наступної базової станції. Одночасний доступ до послуг мережі від двох BTS неможливий (рис. 2.2).

При роботі в режимі реального часу можлива короткочасна втрата даних, але якщо немає жорстких вимог до затримок, трафік передається без втрат, так як існує система повторної передачі даних.

Жорсткий хендовер може бути міжчастотним[12]. Виникає при перемиканні на іншу частоту, наприклад, якщо змінився мобільною станцією з макросотової мережі на мікросотову, коли на місцевості розгорнуто дві мережі UMTS різної конфігурації на різних частотах, а також міжсистемних (між UMTS і GSM).

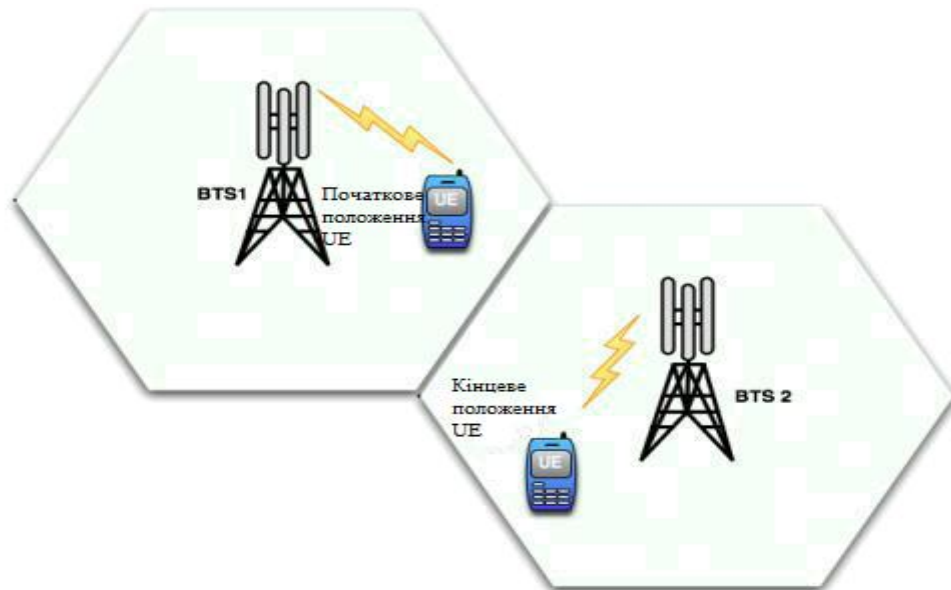


Рисунок 2.2 – Жорсткий хендовер

Всі хендовери ґрунтуються на спеціальних вимірюваннях, які виконуються UE і активними BTS. На основі аналізу результатів цих вимірювань рішення про запуск хендовера може виходити від RNC (Network Evaluated Handover – НЕНО), або пакета станції. В цьому випадку хендовер відносять до класу МЕНО (Mobile Evaluated Handover). Рішення про запуск процедури хендовера приймає контролер радіомережі, так як каналні ресурси мережі знаходяться в його розпорядженні.

Залежно від причин викликали хендовер, їх можна розбити на кілька класів:

1. Хендовер порятунку (відбувається при падінні рівня сигналу до критичного значення).
2. Хендовер якості обслуговування (відбувається при зміні виду наданої послуги, наприклад, при переході від передачі пакетного трафіку до мовного).
3. Хендовера перевантаження (відбувається при необхідності вирівнювання навантаження між окремими БС при передачі інформації).

Алгоритм процедури Handover (HO) в мережі LTE

Процедура хендовер починається з відправки мобільною станцією звітів про вимірювання на базову станцію. Користувача обладнання (UE) періодично виконує вимірювання спадного каналу, а саме, потужність опорних сигналів RSRP (Reference Signal Received Power). Якщо виконується певна умова, наприклад рівень потужності на сусідній базовій станції (eNodeB) стає вище ніж на обслуговуванні, то мобільна станція (UE) посилає звіт з відповідними вимірами.

Нижче подано діаграму (рис. 2.3) процедури Handover (HO).

На підставі отриманих звітів, яка обслуговує базова станція (Source eNodeB) вибирає цільову базову станцію (Target eNodeB) і використовуючи інтерфейс X2, передбачений для взаємодії базових станцій, відправляє запит на підготовку ресурсів (HO Request). Після отримання даного запиту, цільова базова станція починає підготовку ресурсів і відправляє позитивну квитанцію (HO Request Ack).

Помилка хендовера, спричинена невідповідним параметром, визначена в [9-10] і розділена на три випадки: занадто рання передача, занадто пізня передача та передача на неправильну комірку. А хендовер пінг-понгу обтяжить eNB непотрібною передачею[11].

Занадто ранній хендовер. Помилка радіолінії може бути спричинена низьким значенням ТТТ (Time-to Trigger Timer), як показано на рис. 2.4.

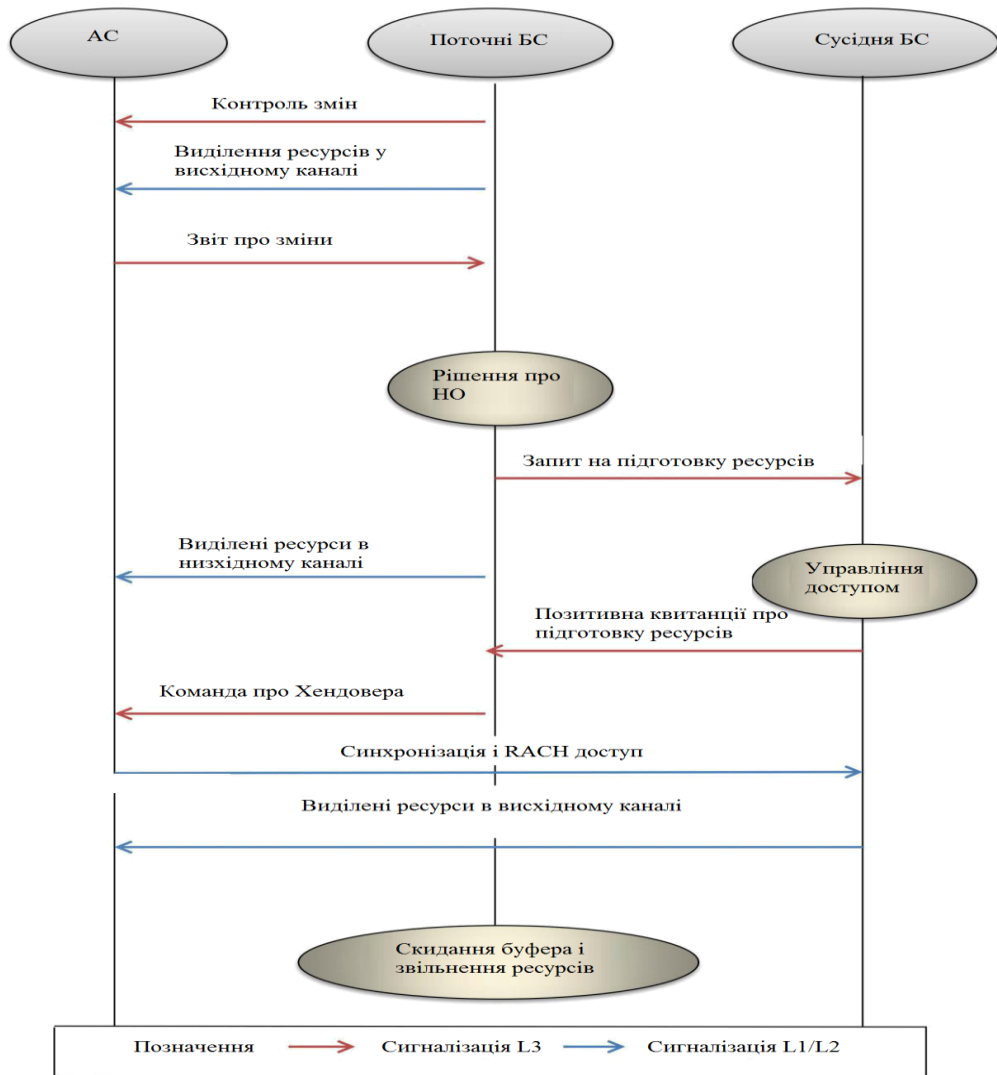


Рисунок 2.3 – Діаграма обміну сигнальною інформацією при процедурі хендвер

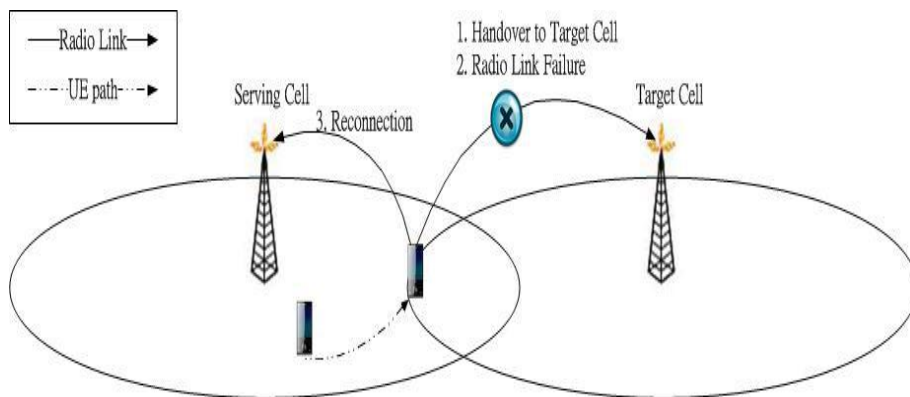


Рисунок 2.4 – Занадто ранній хендвер

Запізнілий хендовер[11]. Помилка радіолінії може бути спричинена великим значенням часу спрацьовування (ТТТ), як показано на рисунку 2.5.

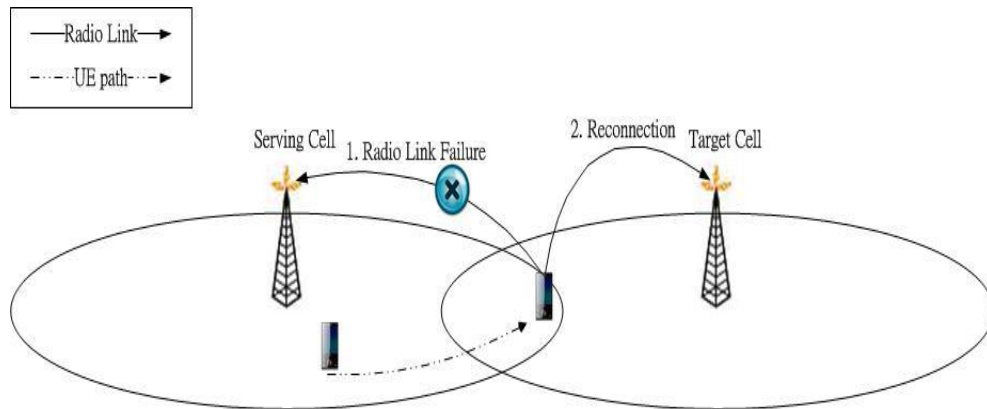


Рисунок 2.5 – Запізнілий хендовер

Невірна сота хендовера. Існує перекриття сигналу, коли UE знаходиться на краю eNB, і UE може вибрати неправильний цільовий eNB, що призведе до збою радіозв'язок, як показано на рис. 2.6[11].

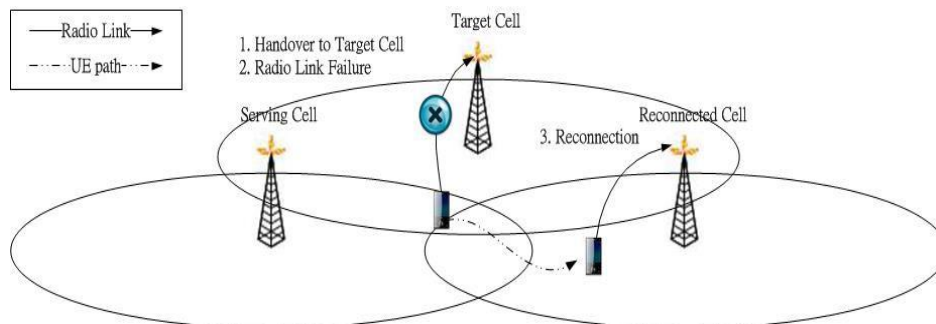


Рисунок 2.6 – Невірна сота хендовера

Пінг-понг хендовера. Переміщення UE по краю eNB викликало непотрібний хендовер за короткий час, як показано на рис. 2.7.

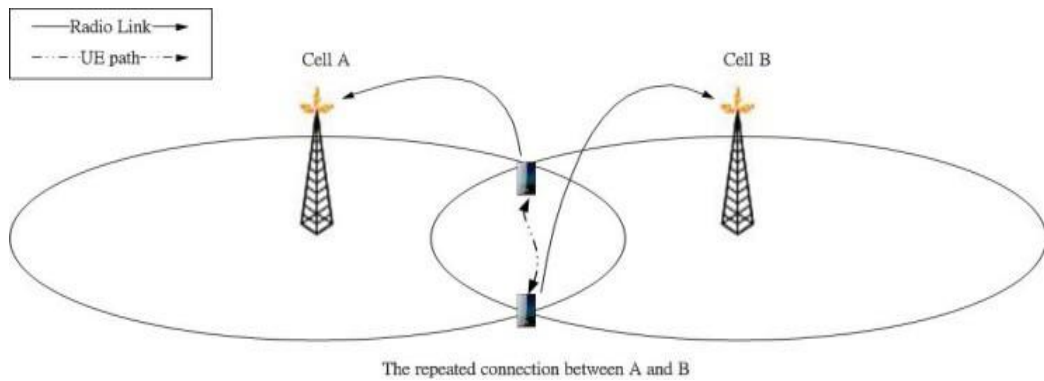


Рисунок 2.7 – Пінг-понг хендовера

2.3 Методи підвищення ефективності хендовера

ТТТ – це тривалість часу, і коли потужність сигналу Target eNB перевищує потужність сигналу, що обслуговує eNB плюс значення Hys , він увійде в стан події A3 та завершений хендовер після встановлення адміністратора ТТТ, як показано на рис. 2.8 [11].

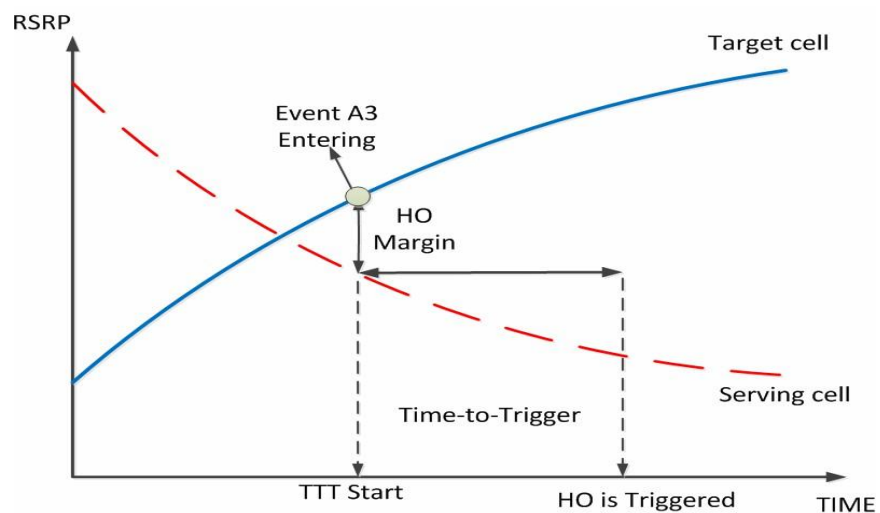


Рисунок 2.8 – Графік залежності параметрів ефективності хендовера від часу встановлення адміністратора ТТТ

Збір інформації про UE до тих пір, поки UE перебуває в одній з його сот, і при цьому забезпечується збереження зібраної інформації, яка буде використана для подальшої підготовки до хендовера, як показано в таблиці 2.1 [12].

Таблиця 2.1 – Інформація аналізу роботи UE для подальшої підготовки до хендовера

ІЕ/ Назва групи	Діапа - зон	Присут- ність	Тип ІЕ та посилання	Опис семантики	Критич - ність	Повідом- лення
Last Visited Cell List		1to MaxNr OfCells		Найновіша інформація додана у верхню частину цього списку		
Last Visited Cell Infor- mation	M		9.2.4			Handover Request

Примітка. Максимальний розмір списку (MaxNrOfCells) - FFS.

Під час підготовки до хендовера, додається збережена інформація в останню відвідану соту та включається в інформацію про історію UE у повідомлення HANDOVER REQUEST.

У довгостроковій технології еволюції через занадто велику кількість фемтоклітин може виникнути непотрібний хендовер та пінг-понг хендовера.

Звісно, що інтегрований алгоритм хендовер CoMP (Coordinated Multi Point) в LTE-Advanced [14] визначає цільові соти-кандидати, коли UE переміщується в обслуговуючу соту, а UE потрібно повідомляти про еталонну

потужність значень цільових сот єдиних приймачів (RSRP) в будь-який час для обслуговуючої соті.

Основними завданнями CoMP є вдосконалення показників роботи мобільних станцій, які знаходяться на кордоні сот. Для цього знаходяться на межі соти мобільні станції, що обслуговуються не одним сектором, а кількома. Відповідно, якщо передача однієї мобільної станції може здійснюватися з кількома секторами в один і той же момент часу. Це вже відноситься і до відтворюючого хендовера, лише в цьому випадку, якщо мова йде про прийняття даних від мобільної станції кількома секторами.

При використанні технологій CoMP передається можливий ряд наступних варіантів:

- передача даних мобільної станції одночасно здійснюється з кількома позиціями, такий варіант називається Join Transmission. При використанні цього варіанта даних, адресовані мобільні станції повинні бути доступними на всіх позиціях, з якими здійснюється передача. Крім цього, передача повинна бути синхронізованою;

- вибір позицій, за допомогою яких здійснюється передача даних, відбувається динамічно, а також дані про них, як і у різних варіантах, доступні на всіх точках, які можуть здійснювати передачу. Такий варіант називається Dynamic Point Selection (DPS);

- останній варіант називається – кординоване планування / формування променя (CS, Coordinated Scheduling/Beamforming). У цьому випадку дані доступні лише на цій позиції, яка здійснює їх передачу. При цьому, вибір позицій для передачі відбувається з участю набору даних, зібраних з усіх позицій, які можуть бути вибрані для передачі даних. [1]

Обслуговуюча сота може збирати цільові соти з їхніми значеннями RSRP для подальшого вимірювання. Хендовер спрацьовує, коли умова виконується протягом тривалості часу ТТТ, вираженої наступним чином:

$$RSRPT_CTP > RSRP + HOM , \quad (2.1)$$

де $RSRPT_CTP$ та $RSRP$ – це RSRP, отримані UE від цільових сот у CTP та обслуговуючої соти, відповідно;

HOM (handover margin) – маржа хендовера.

Після цього обслуговуюча сота відбирає деякі цільові соти, які задовольняють мінімальним умовам, і поміщає їх у співпрацюючий набір CoMP (CCS). Однією з цільових сот в CCS (coordinating set cell) буде CTP (coordinating transmission points), що має найвище значення RSRP. Коли UE переміститься в край обслуговуючої соти, буде розпочато процедуру хендовера обслуговування, і UE буде передано в цільову соту CTP.

Limited CoMP Handover Algorithm [15]. Запропонована блок-схема яка показана на рис. 2.9.

Порівняно із стандартною процедурою хендовера CoMP, ця методологія може покращити загальну пропускну здатність мереж LTE-A. Але це також збільшить перевантаження мережевих систем та збільшить затримку системи.

Навіть якщо LCHА може зменшити затримку системи та повністю збільшити пропускну здатність, однак завдяки цьому він оцінює цільову кандидатуру лише за значенням RSRP. Тому збій хендовера все-таки стався, можливо, тому, що він не враховує швидкість та шлях руху.

Пропонується до розгляду алгоритм хендовера на основі CoMP в LTE-A

Алгоритм процесу хендовера, показано на рис. 2.10, розділений на сім етапів:

1. Завантажувати інформацію про історію користувача обладнанням користувача до базової станції;
2. Вибрати CCS та CTP;
3. CTP та перевірка вихідної базової станції спільної передачі;
4. Прийняття рішення про хендовер;
5. Перервати спільний хендовер CTP;

6. Розпочати хендовер обслуговування;
 7. Виконати інформацію про історію оновлень, і переглянути схему інформації про історію UE.

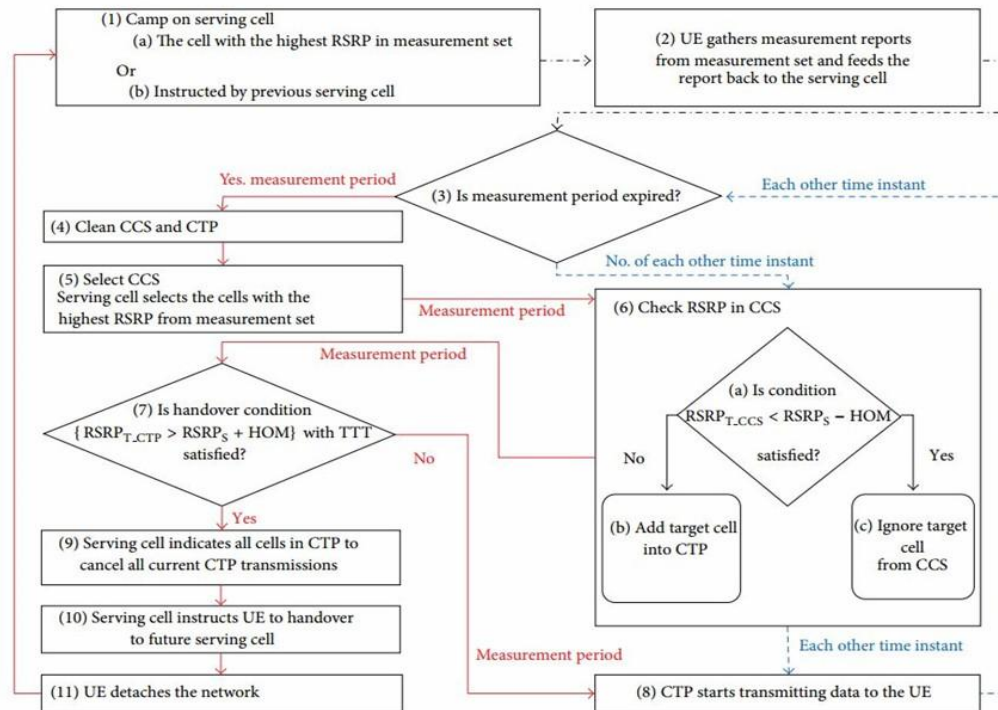


Рисунок 2.9 – Блок-схема LCHN для LTE-A

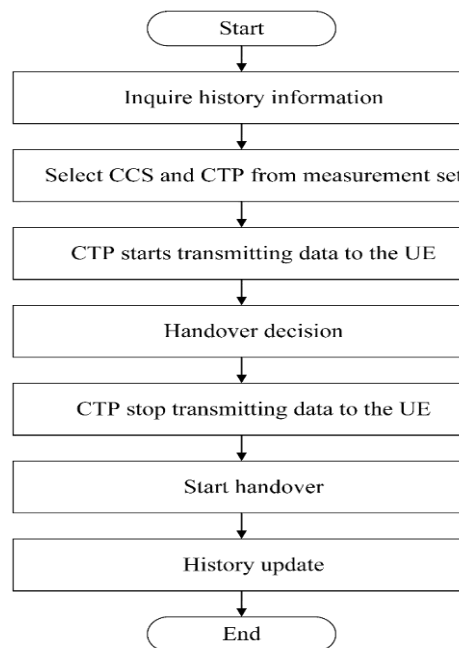


Рисунок 2.10 – Блок-схема запропонованого алгоритму хендовера

На рисунку 2.11 представлено макет розроблених інформаційних параметрів історії UE.

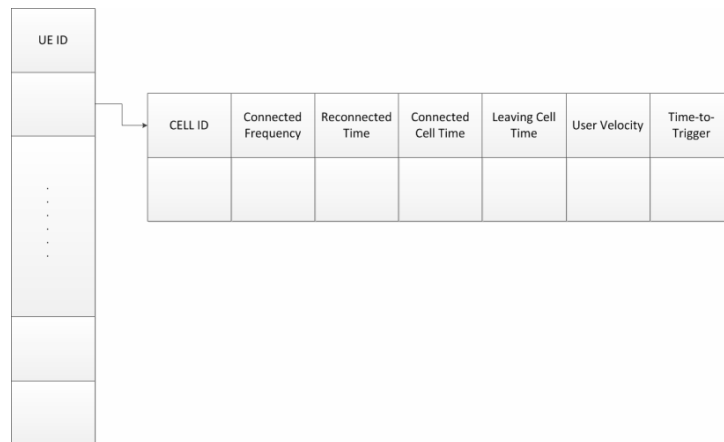


Рисунок 2.11 – Макет розроблених інформаційних параметрів історії UE

У цьому дослідженні включається шість параметрів в інформацію про історію наступним чином:

- підключена частота: вона записує номер базової станції підключення UE;
- час відновлення: він реєструє час збою передачі;
- підключений мобільний час: його метою є розрахунок швидкості руху UE;
- вихід із мобільного часу: метою цього є розрахунок швидкості руху UE;
- швидкість користувача: для того, щоб відрегулювати ТТТ, йому потрібно обчислити швидкість користувача та записати її;
- ТТТ: цей параметр записується для усунення помилки хендовера, спричиненої занадто раною, занадто пізнім хендовером або віджимання хендовера соти.

Усі параметри будуть оновлені, коли процедура передачі буде завершена Source eNB. Параметри запису будуть змінені на основі порогового значення та

виявлено тип відмови при передачі. Розроблені інформаційні параметри історії UE для запропонованого алгоритму, як показано на рис. 2.10.

2.4 Процедура алгоритму хендовера

По-перше, UE завантажить свою інформацію про історію UE в обслуговуючий eNB. Обслуговуючий eNB вибере кандидати-цільові eNB з набору вимірювань і помістить їх у CCS і вибере СТР з CCS. Відповідні вибрані СТР почнуть спільний хендовер з обслуговуючим eNB.

Коли UE вимірює сигнал від обслуговування eNB, що буде менше порогового значення, розпочнеться рішення про хендовер і буде визначено, до якого підходить цільовий eNB, процеси хендовера починаються відповідно до специфікації стандарту 3GPP, автоматично видаляють і оновлюють інформацію історії UE, що заповнюється після завершення хендовера [12].

Там, де етапи обслуговування eNB вибирають цільові eNB-кандидати з вимірювання, встановленого на CCS, скринінг СТР на CCS описує, як оцінювати цільовий eNB у рішенні про хендовер і нарешті, як видалити та оновити інформацію про історію UE.

Вибір CCS та СТР

Обслуговуючий eNB вимірює радіопотужність сусідніх сот і встановлює набір вимірювань. Більше того, обслуговуючий eNB знаходить деякі eNB за набором вимірювань відповідно до їх значень RSRP, що перевищують мінімальні критерії, і вводить їх до CCS. Нарешті, кандидатські цільові eNB будуть обрані з CCS як СТР на основі рівняння формули (2.1).

Блок-схема вибору CCS та СТР представлена на рисунку 2.12.

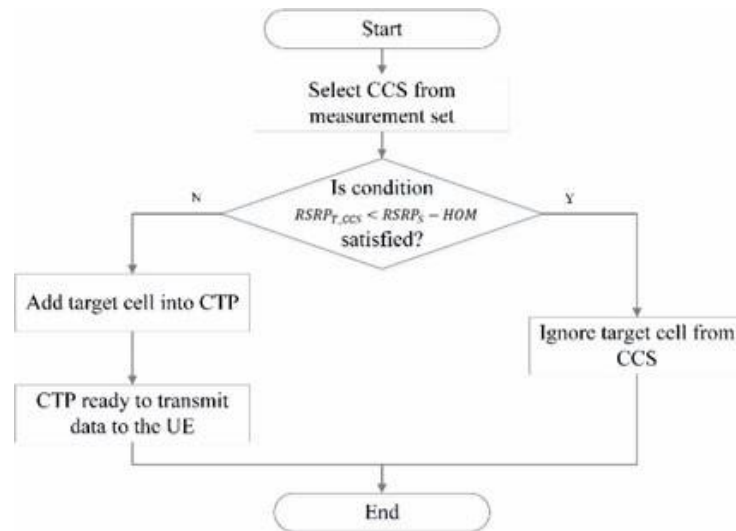


Рисунок 2.12 – Блок-схема вибору CCS та CTP

2.5 Пропозиції щодо рішення про хендовер

Розглянемо пропозиції щодо рішення про хендовер.

По-перше, обслуговуючий eNB переконує, чи був підключений цільовий eNB, він повинен підтвердити, чи часто підключено обладнання користувача до цільового eNB. Якщо цей eNB не підключався раніше, він буде доданий до інформації історії UE, а потім за допомогою традиційних методів прийматиме рішення про хендовер. Якщо він був підключений, тоді номер підключення буде збільшений для цього eNB, а номер підключення цільових eNB буде розділений на високий, середній або низький рівні. Звичайно, рішення про хендовер віддає перевагу більшому номеру з'єднання і вибирає його як кандидат-цільовий eNB.

Другим пріоритетом інформації про історію UE є час відновлення. eNBs, які мають цю інформацію, буде ігноруватися зі списку кандидатів на хендовер, щоб уникнути короткотермінової передачі часу. Це дозволяє уникнути алгоритму вибору неправильної базової станції. Якщо подібні значення записів усіх eNB, цей крок буде пропущено.

Етапи прийняття рішення про хендовер, як показано на рисунку 2.13.

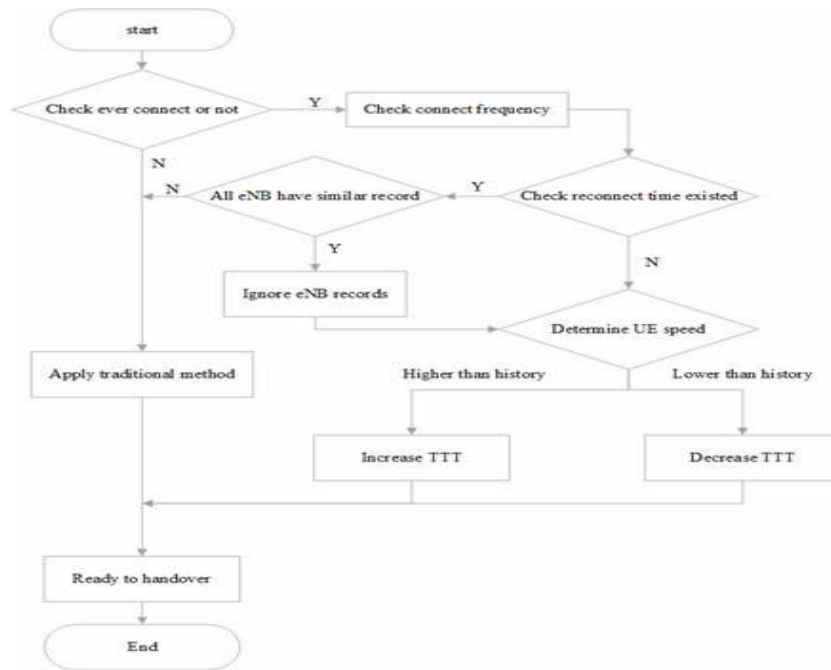


Рисунок 2.13 – Етапи прийняття рішення про хендовер

Якщо є більше eNB без запису часу повторного підключення, щоб встановити більш точний час спрацьовування, швидкість переміщення UE потрібно розрахувати для коригування значення TTT для запуску процесів за допомогою традиційних методів обслуговування [3].

У алгоритмі хендовера CoMP є три змінні: період вимірювання, запас хендовера (НОМ) та таймер спрацьовування (ТТТ). Період вимірювання – це проміжок часу, який використовується для періодичної перевірки стану передачі [13]. Поле хендовера – це постійна змінна, яка представляє поріг для різниці в одержуваному опорному сигналі (RSRP) між обслуговуючим та цільовим сотами. НОМ допомагає у визначенні найбільш відповідної цільової комірки, якій може бути переданий мобільний. Значення ТТТ – це інтервал часу, необхідний для задоволення умови НОМ. Поєднання ТТТ та НОМ може запобігти непотрібним хендоверам, так званий ефект пінг-понга [14]. Коли мобільний телефон відчуває цей ефект, він передається від обслуговуючої соти до цільової соти і знову повертається до початкової обслуговуючої соти знову

через невеликий проміжок часу [15]. Цей ефект збільшує необхідні ресурси сигналізації, зменшує пропускну здатність системи та збільшує затримку трафіку, викликану буферизацією вхідного трафіку в цільовій соті при кожному хендовері. Передача може бути виконана лише після виконання обох критеріїв TTT та НОМ.

Алгоритм хендовера CoMP починається, коли UE приєднується до мережі, кемпінгом на соту, RSRP який є найвищим, або соту, де отримав вказівку попередньої обслуговуючої соти. Потім UE починає отримувати зворотну передачу обслуговуючої соти з набором вимірювань, який є вимірами RSRP, отриманими від усіх сот мережі[22].

Перший період вимірювання закінчується негайно через оновлення, необхідне для нового вхідного UE. Обслуговуюча сота вибирає набір сот з найвищим показником RSRP у наборі вимірювань як CCS. Подібним чином, набір сот з найвищим показником RSRP в CCS потім буде обраний обслуговуючою сотою як СТР. Після того, як вибір СТР буде завершено, обслуговуюча сота запросить усі соти в СТР розпочати передачу пакетів в UE. Коли під час передачі потрібно регулярне оновлення вимірювань, вибір CCS і СТР для кожного UE буде повторений обслуговуючою сотою для пошуку оновлених цільових сот.

Повний алгоритм прийняття рішення про хендовер проілюстрований на рисунку 2.14.

CoMP Handover Algorithm починається, коли UE приєднується до мережі, кемпінгом на осередку, RSRP якого є найвищим, або осередку, який отримав вказівку попередньої обслуговуючої осередку. Потім UE починає отримувати зворотну передачу обслуговуючої соти з набором вимірювань, який є вимірами RSRP, отриманими від усіх сот мережі. Перший період вимірювання закінчується негайно через оновлення, необхідне для нового вхідного UE. Обслуговуюча сота вибирає набір сот з найвищим показником RSRP у наборі вимірювань як CCS. Подібним чином, набір сот з найвищим показником RSRP в

CCS потім буде обраний обслуговуючою сотою як СТР. Після того, як вибір СТР буде завершено, обслуговуюча сота запросить усі соти в СТР розпочати передачу пакетів до UE. Коли під час передачі потрібно регулярне оновлення вимірювань, вибір CCS і СТР для кожного UE буде повторений обслуговуючою сотою для пошуку оновлених цільових сот.

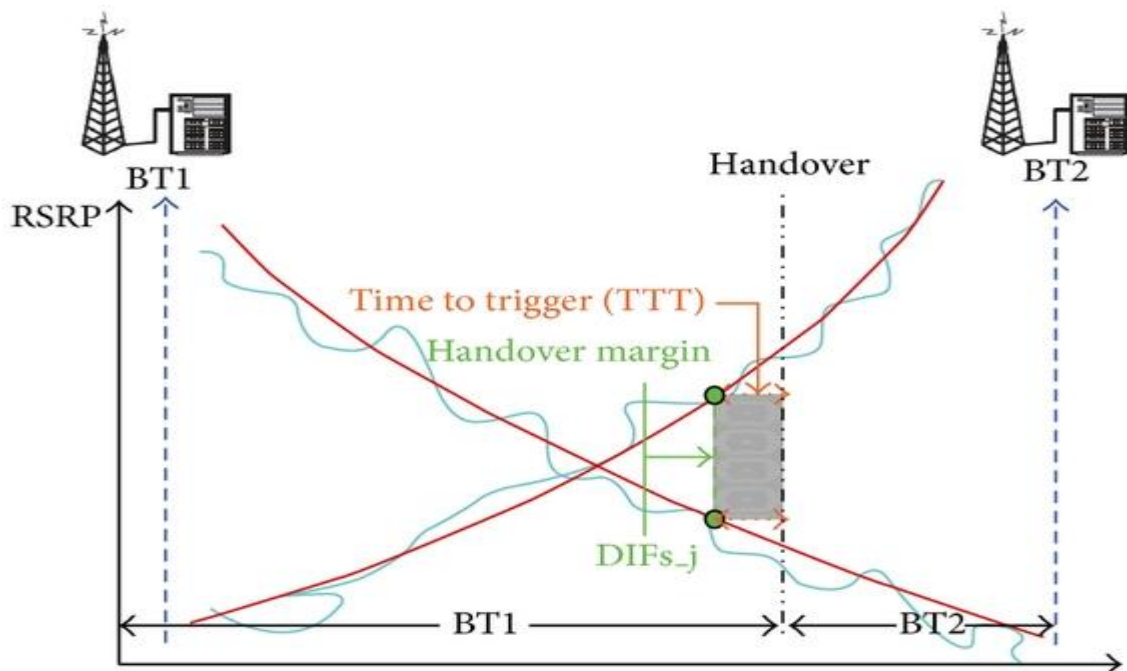


Рисунок 2.14 – Умова передачі в LTE-A – повний алгоритм прийняття рішення про хендовер

Аналіз рисунку 2.14 показує, що основна різниця між CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm полягає в кроці 6 на рисунку 2.9, де Limited CoMP Handover Algorithm відстежує якість каналу кожної цільової соти в СТР для кожного UE в будь-який інший момент часу, використовуючи розмір вікна НОМ (розмір вікна НОМ може бути скоригований для адаптації до різних сценаріїв) у (2), щоб визначити якість каналу цільової соти порівняно з обслуговуючою. Якщо RSRP цільової соти в СТР, яку отримало UE, значно нижча, ніж RSRP обслуговуючої соти з розміром вікна НОМ, це UE

класифікується як UE центру соти. Таким чином, слід уникати багаторазової передачі даних для UE клітинного центру, щоб запобігти надмірному використанню радіоресурсів в інших цільових клітинках в СТР на основі концепції Limited CoMP Handover Algorithm. З іншого боку, якщо RSRP цільової соти в СТР, яку отримало UE, знаходиться в діапазоні розміру вікна НОМ від RSRP обслуговуючої соти, це UE класифікується як UE з краєм соти. Таким чином, Limited CoMP Handover Algorithm повинен забезпечувати безліч передач даних для UE на краю соти, щоб підтримувати їх якість з'єднань, поки вони перебувають у зонах краю соти. Цей механізм (крок 6 на рисунку 2.9) допомагає усунути неефективну передачу даних у будь-який момент часу в мережі; тому Limited CoMP Handover Algorithm здатний ефективніше підтримувати доступні радіоресурси.

2.6 Показники ефективності системи - CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm

Ефективність системи на базі використання CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm оцінюється на основі використання RBs, пропускної здатності системи та затримки системи. Детальний опис кожного показника наведено нижче.

RBs Utilization оцінює частку загальної кількості використовуваних RB до загальної кількості RBs у кожній соті та описує поточний стан навантаження соти. Вище використання RBs вказує на вищий насичений стан, в який переходить клітина; тому перевибір соти потрібно розглянути, коли більше UE буде передано цій соті. З іншого боку, коли сота має нижчий рівень використання RB, ця сота здатна вмістити більше вхідних UE[9].

Використання RBs можна математично виразити як:

$$RBs_{utilization} = \frac{\sum_{t=1}^T \cdot \sum_{c=1}^C \cdot RBs_{used}(t)}{\sum_{t=1}^T \cdot \sum_{c=1}^C \cdot RBs_{max}(t)}, \quad (2.2)$$

де C – загальна кількість сот;

T – загальний час моделювання;

$RB_{used}(t)$ – загальний блок ресурсів, що використовується сотою c в момент часу t ;

$RB_{max}(t)$ – загальний ресурс соти c в момент часу t .

Пропускна здатність системи визначається як загальна кількість бітів, правильно отриманих усіма користувачами, і може бути математично виражена як:

System throughput =

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \cdot \sum_{i=1}^I p_{transmit_{c_i}}(t) c \forall CTP_i, \quad (2.3)$$

де I – загальна кількість UE;

T – загальний час моделювання;

$p_{transmit_{c_i}}(t)$ – кількість переданих бітів соти c залежно від того, що раніше було отримано UE в момент часу t . Сота c належить CTP UE i .

Системна затримка дає середнє значення загальної затримки черги всіх пакетів у буферах на eNB в системі. Ця метрика визначається як середня затримка пакетів Head-of-Line (HOL) усіх UE за весь час моделювання. Затримку системи можна математично виразити як:

System delay =

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \cdot \sum_{i=1}^I W_{c_i}(t) c \forall CTP_i, \quad (2.4)$$

де I – загальна кількість UE;

T – загальний час моделювання;

$W_{c,i}(t)$ – затримка пакета HOL, залежно від того, що раніше було отримано UE i в той час t . Сота c належить СТР UE i .

Використання RB CoMP

Рисунок 2.15 ілюструє використання RB CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A. Використання RB зросте, коли кількість UE збільшиться в обох алгоритмах, оскільки чим більше UE надходить при моделювання, тим більше RB потрібно використовувати для того, щоб користувачі передавали пакети. Використання RB в кінцевому підсумку досягне 100% в моделюванні, коли кількість користувачів збільшиться в обох алгоритмах. Алгоритм хендовера - CoMP Handover Algorithm має вищий коефіцієнт використання RB порівняно з обмеженим алгоритмом передачі – Limited CoMP Handover Algorithm у всіх сценаріях UE. Це пояснюється тим, що CoMP Handover Algorithm фактично має двійну передачу в будь-який час, що вимагає щонайменше вдвічі більше RBs при моделюванні порівняно з обмеженим алгоритмом передачі – Limited CoMP Handover Algorithm.

Наприклад, у випадку при 30 UE, CoMP Handover Algorithm вже досягає 72,94 % використання RB, тоді як Limited CoMP Handover Algorithm досягає 57,18 %, 58,11 %, 62,11 %, 63,90 % і 65,18 % використання RB при НОМ, рівному 1, 2, 3, 4 та 5 відповідно.

Крім того, насичена точка, коли CoMP Handover Algorithm досягає повного стану використання 100 % RB, знаходиться там, де – 100 UE тоді, як Limited CoMP Handover Algorithm досягає повного стану 100 % RB використання при 150 UE. НОМ, рівний 1, дає найнижче використання RB, яке долає інші значення НОМ в Limited CoMP Handover Algorithm. Система стає насиченою після того, як кількість UE дорівнює 150 в обох алгоритмах[11].

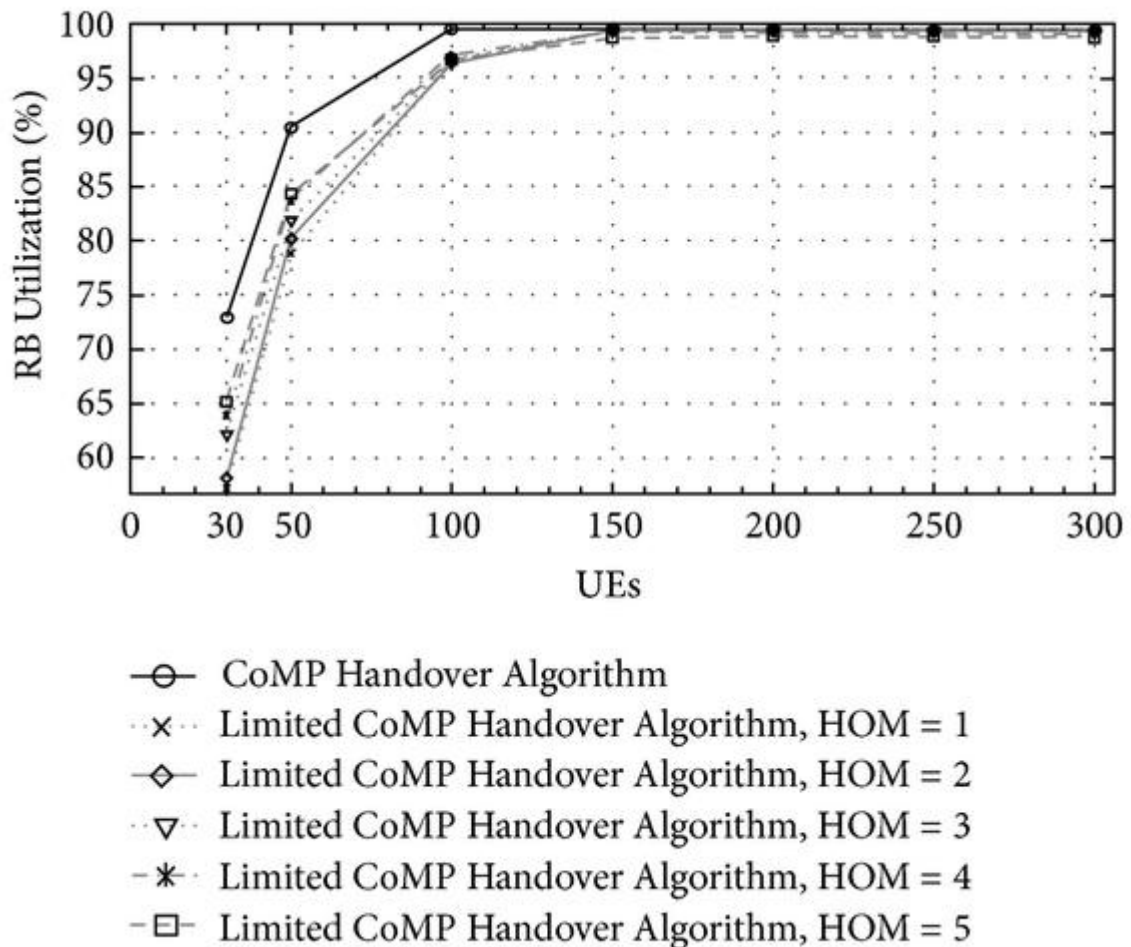


Рисунок 2.15 – Графіки залежності використання RB CoMP та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A від кількості UEs

Пропускна здатність системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A

Рисунок 2.16 демонструє порівняння пропускної здатності системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A. Загальна тенденція пропускної здатності системи зростає в обох алгоритмах, коли кількість UE збільшується, оскільки чим більше UE надходить в моделювання, тим успішніше передаються пакети з усіх UE в системі. Відповідно до (2.3), чим більша кількість переданих бітів в системі, тим більшою є пропускна здатність системи. Алгоритм передачі CoMP забезпечує кращу пропускну

здатність системи, як 27,28 Мбіт/с та 42,02 Мбіт/с за Limited CoMP Handover Algorithm, незалежно від значення HOM у сценарії 30 та 50 UE відповідно. Це пов'язано з тим, що коли кількість UE низька, використання RB CoMP Handover Algorithm ще не досягло насиченого стану (рис. 2.16).

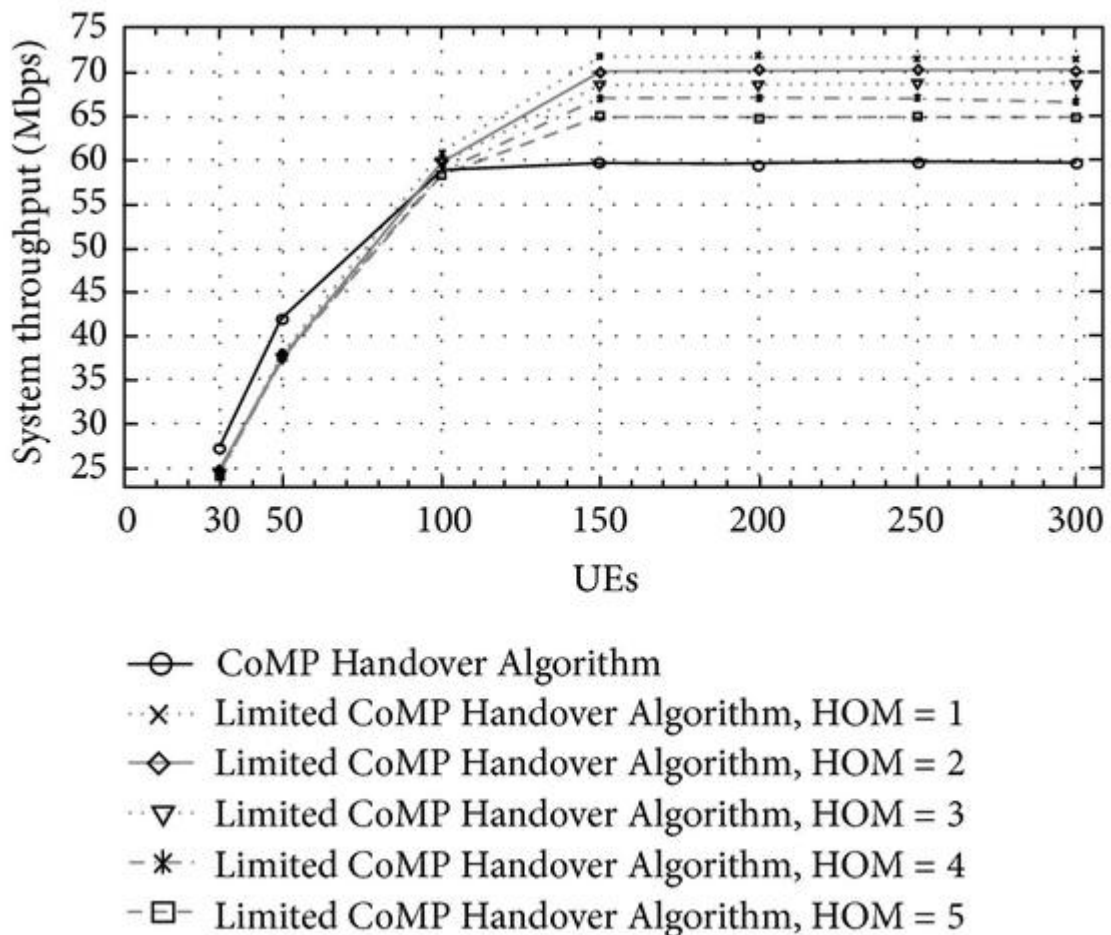


Рисунок 2.16 – Графіки залежності пропускної здатності системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A від кількості UEs

Отже, UE в CoMP Handover Algorithm можуть повністю використовувати всі доступні RB в мережі, що безпосередньо покращує пропускну здатність системи при моделюванні. З іншого боку, Limited CoMP Handover Algorithm обмежує кількість з'єднань даних для кожного UE в будь-який час в системі на

основі стану каналу. CoMP Handover Algorithm одночасно підтримує лише одне підключення даних для UE за умови вищого/хорошого каналу, що обмежує кількість переданих бітів в системі, безпосередньо обмежуючи пропускну здатність системи. Тому CoMP Handover Algorithm може досягти вищої пропускну здатності системи порівняно з Limited CoMP Handover Algorithm, коли він знаходиться в системі з низьким рівнем насиченості[12].

Однак, коли система дорівнює 150 UE, Limited CoMP Handover Algorithm перевершує CoMP Handover Algorithm, покращуючи пропускну здатність системи на 19,91 %, 17,09 %, 14,64 %, 12,02 % і 8,65 %, коли НОМ дорівнює 1, 2, 3, 4 і 5 відповідно. Limited CoMP Handover Algorithm передачі даних використовує переваги підтримки єдиного з'єднання даних для UE центрів мобільного зв'язку в системі. UE мобільного центру в CoMP Handover Algorithm буде виділяти дві передачі даних у будь-який час, тоді як в Limited CoMP Handover Algorithm UE мобільного центру може виділяти лише одну передачу даних. Це обмеження звільняє доступні RB другого з'єднання даних від UE мобільного центру, а звільнені доступні RB можуть бути надалі використані для інших нових вхідних UE, що покращує більше пакетів передачі в системі і, отже, підвищує пропускну здатність системи. Коли система стає насиченою, пропускну здатність системи перестає збільшуватися через недостатню кількість радіоресурсів (RB), які повинні бути призначені для UE в системі. Справа в тому, що системна пропускну здатність CoMP Handover Algorithm припиняє збільшуватися і залишається фіксованою близько 60 Мбіт/с при сценаріях 150, 200, 250 та 300 UE. Коли система стає насиченою в сценаріях 150, 200, 250 і 300 UE, пропускну здатність системи Limited CoMP Handover Algorithm також припиняє збільшуватися і залишається фіксованою на 72 Мбіт/с, 70 Мбіт/с, 68 Мбіт/с, 67 Мбіт/с та 65 Мбіт/с, де НОМ дорівнює 1, 2, 3, 4 та 5 відповідно. НОМ, рівний 5 в Limited CoMP Handover Algorithm, має найнижчу пропускну здатність системи через те, що має найбільше значення НОМ, яке затримує час спрацьовування передачі. Надто пізній хендовер вплине

на стан каналу UE, а також занадто пізній хендовер, швидше за все, призведе до ситуації збою радіозв'язку, коли пакети UE не можуть бути прийняті правильно, що зменшує пропускну здатність системи в цілому.

Затримка системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A

На рисунку 2.17 показано порівняння системної затримки CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A. Загальна тенденція системної затримки зростає в обох алгоритмах, коли кількість UE збільшується, оскільки чим більше UE надходить в моделювання, тим більш ущільненою стає система, де всі пакети повинні бути буферизовані довше в черзі, щоб бути переданими всім UE, що призводить до більшої затримки системи. CoMP Handover Algorithm має нижчу системну затримку, як 4341,33 мс, ніж затримка Limited CoMP Handover Algorithm, коли НОМ дорівнює 1, як 4597,8 мс, оскільки загальна ємність сот у моделюванні ще не повністю використана, що означає загальну кількість доступних RB в соті можуть бути повністю використані для передачі пакетів для кожного UE. Таким чином час очікування пакетів і черги не триватиме довго в буфері; тому CoMP Handover Algorithm досягає нижчого результату системної затримки. CoMP Handover Algorithm має вищу системну затримку, як 5691,81 мс, 8615,15 мс, 11416,7 мс, 12874,8 мс, 13904,8 мс та 14455 мс над Limited CoMP Handover Algorithm, незалежно від значення НОМ у сценарії 50, 100, 150, 200, 250, та 300 UE відповідно. Це пов'язано з тим, що кожен пакет UE в обслуговуючій соті та / або цільовій соті в СТР повинен бути буферизований і поставлений в чергу для передачі в системі CoMP Handover Algorithm. Коли CoMP Handover Algorithm повністю використовує два з'єднання даних для кожного UE в кожний момент часу при моделюванні, пакети, що належать до UE, повинні бути буферизовані як в обслуговуючій, так і в цільовій соті в СТР.

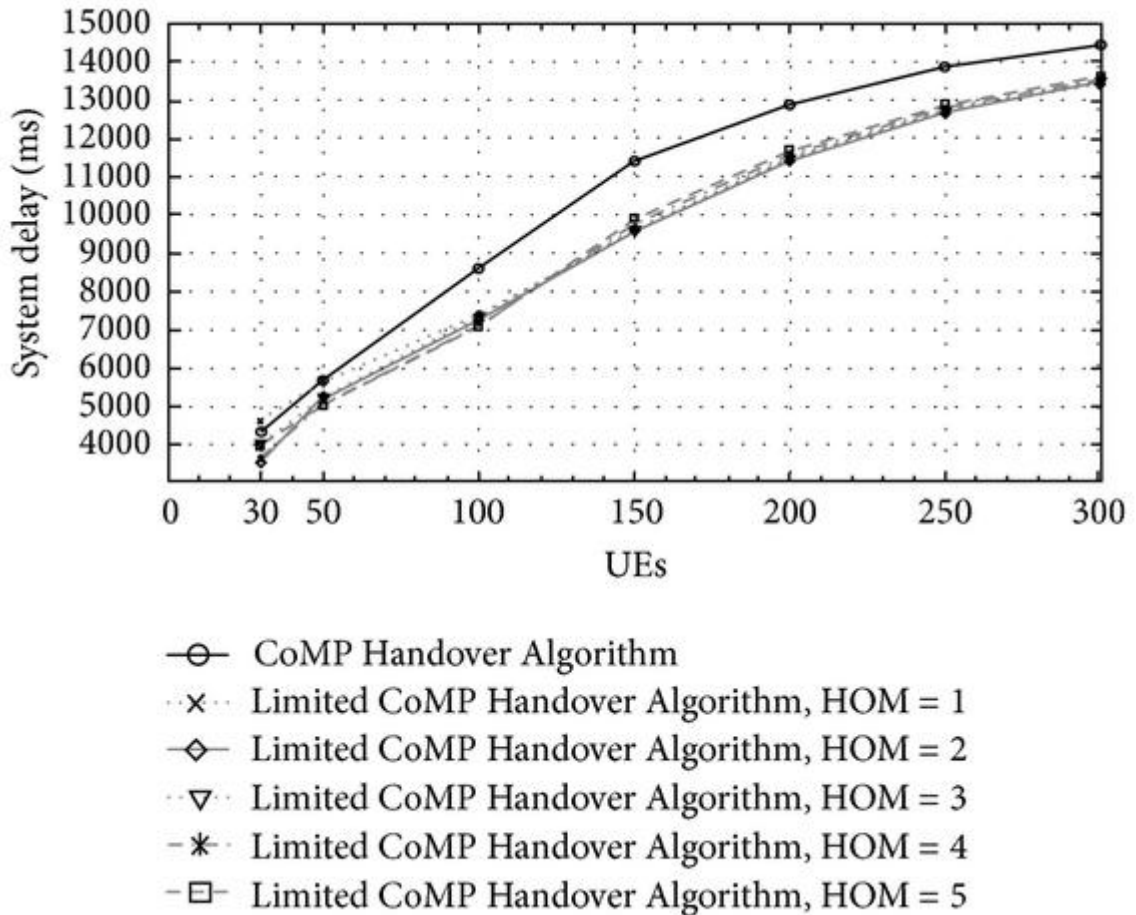


Рисунок 2.17 – Графіки залежності затримки системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A від UEs

Така поведінка збільшує завантаження та затримку черги як обслуговуючої соти, так і цільової соти в СТР, що призводить до більшої системної затримки. В Limited CoMP Handover Algorithm, коли UE з краю соти може бути запропоновано лише одне з'єднання даних, тоді UE не матиме шансу отримати друге з'єднання даних з цільової соти в СТР; таким чином, не буде пакету, який буде буферизовано та поставлено в чергу в цільовій соті в СТР для цього конкретного UE. Тому це UE не збільшить завантаження та затримку черги цільової соті в СТР, що призводить до нижчого результату затримки системи 5(50-650 мс по класах обслуговування QoS для UE).

3 КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

3.1 Постановка завдання

При процедурі хендовер ресурсів доступу в LTE-Advanced мережі представлено теоретичний етап синтезу структурної схеми управління.

Об'єкт дослідження – процес доступу до ресурсів в LTE-Advanced мережах.

Предмет дослідження – методи й алгоритми контролю параметрів ефективності доступу до ресурсів інфокомунікаційних послуг на прикладі мобільних вузлів, які функціонують із заданими параметрами LTE-Advanced мережі.

Ціль дослідження – аналіз характеристик і розробка пропозицій по підвищенню ефективності методів контролю ресурсів доступу до послуг вузькосмугових Інтернет - речей (NB-IoT) LTE-Advanced мережі.

На основі діаграми обміну сигнальною інформацією при процедурі хендовер розглянемо методи вибору мобільною станцією обслуговуючої станції RBS для працювання у режимі хендовера в LTE – Advanced мережі (рис.2.4).

Перше завдання, яке вирішує мобільна станція щоб працювати в мережі LTE, це вибір обслуговуючої станції RBS. Цей вибір головним чином залежить від стану радіоканалу між абонентською і базовою станціями, також вплив надають конфігураційні параметри[19].

Навіть після вибору відповідної базової станції мобільна станція продовжує стежити за станом радіоканалу не тільки обраної RBS, а й сусідніх RBS.

Якщо результат вимірювань покаже, що радіоканал однієї з сусідніх базових станцій покращився, і якість каналу між мобільною станцією і поточною обслуговуючої базової станцією є вищим, то мобільна станція повинна

поставити обслуговуючу базову станцію до відома про це. Коли RBS дізнається про цю подію, вона може почати процедуру хендовера (handover).

Нижче описані механізми вимірювання, які використовуються в LTE мережі для оцінки радіоумов.

Можливі дві характеристики, за свідченнями яких можна визначити нормативну якість радіоканалу: RSRP або RSRQ.

RSRP (ReferenceSignalReceived Power) – це середнє значення потужності прийнятих пілотних сигналів (Reference Signal).

RSRQ (Reference Signal Received Quality) – описує якість прийнятих пілотних сигналів. Цю характеристику розраховують за такою формулою:

$$RSRQ = RSRP / \left(\frac{RSSI}{N} \right), \quad (3.1)$$

де N – кількість ресурсних блоків, за якими проводилось вимірювання RSSI.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – середнє значення потужності сигналів в OFDMA символах, які містять пілотні сигнали (якщо MIMO не використовується, то це символи 0 і 4). Значення RSRP вимірюється в дБм (dBm), а значення RSRQ в дБ (dB). Для вибору відповідної соти, тобто соти з максимально можливим рівнем сигналу, потрібно відстежити потужність сигналів всіх, які знаходяться поруч базових станцій в даній точці[13].

Це необхідно для таких процедур, як підключення мережі (UE attach), вибір стільниці (cell selection, cell reselection), а також процедура хендовера (handover). Щоб дізнатися значення RSRP абонентська станція проводить спеціальні вимірювання.

RSRP (Reference Signal Received Power) – як уже відзначено раніше, це середнє значення потужності прийнятих пілотних сигналів (Reference Signal). Пілотний сигнал (Reference Signal) – сигнал, призначений для контролю і

порівняння умов поширення радіохвиль від різних мобільних станцій, розташованих в певному місці в ресурсному блоці.

Вимірювання RSRP може проводитися для однієї, або для двох антен. Передача RSRP відбувається в блоці системної інформації №3 (SIB3, System Information Block 3). У цьому ж блоці передають ширину частотного діапазону, для якої повинен вимірюватися RSRP.

Величина RSRQ (Reference Signal Received Quality)

Значення RSRQ вимірюється в дБ (dB). При повідомленні базової станції RSRQ передається також не його значення, а індекс згідно технічних вимог.

Передбачається, що йде прийом тільки пілот-сигналів, а передачі по трафіку немає. З цього припущення обчислюється максимальне значення RSRQ.

В цьому випадку передаються два пілотних сигналу в OFDMA символі, це означає:

$$RSRQ = \frac{RSRP}{\left(\frac{RSSI}{N}\right)} = \frac{RSRP}{\left(2 \cdot RSRP \cdot \frac{N}{N}\right)} = 0.5 = -0.3 \text{ дБ}, \quad (3.2)$$

Абсолютна точність вимірювання RSRQ визначається 3GPP як $\pm 2.5 - \pm \pm 3.5$ дБ.

Моделювання методу контролю параметрів доступу до послуг Інтернет-речей для абонентів, які забезпечуються мобільними станціями споживачів, ставиться до розряду оптимізаційних, а метод контролю ефективності використання параметрів доступу для абонентів згідно послуг, які надаються, в якості альтернативності.

Ціль моделювання – визначити, що дає процедура хендовер, яка починається з відправки мобільною станцією звітів про вимірювання параметрів ефективності на базову станцію. Як змінилися вихідні дані, тобто кількість процедур хендовер у вузол доступу RBS, і що конкретно викликало ці зміни.

Для апроксимації ідеальних процесів, що протікають в системі, зазвичай використовують три види процедур: детерміновану, вірогідну, визначення середніх значень. В нашому випадку використовуємо детерміновану процедуру, при якій результати моделювання однозначно визначаються по заданій сукупності вхідних впливів, параметрів і змінних моделі.

3.2 Сценарій розробки імітаційної моделі

Розробка імітаційної моделі базується на основі ініціювання відправки звітів про вимірювання на базову станцію через події A3. Обґрунтовуються параметри якості управління процедурами хендовер: Hyst, Offset, time-to-trigger[18].

В процесі моделювання закладені основні дані параметрів:

- пізніх неуспішних спроб хендовера (HO_Late_Fail): втрати зв'язку з цільовою eNodeB;
- ранніх неуспішних спроб хендовера (HO_Early_Fail): втрати зв'язку з обслуговуваною eNodeB;
- Ping-Pong HO – хендовер обслуговування між двома базовими станціями.

В таблиці 3.1 представлені вхідні дані для розробки імітаційної моделі хендовера.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані

Тип параметрів	Назва папараметру	Значення параметру
Параметри базової станції	Потужність передавача базової станції (eNB_power, dBm)	27
	Частота передавача базової станції (eNB_F, MHz)	2100
Параметри користувача	Чутливість приймача мобільної станції (UE_sens, dBm)	-111
	Швидкість переміщення абонента (UE_speed, км / год)	3, 50, 120
Параметри управління процедурою хендовер	TimeToTrigger, мс	0, 40, 60...5000
	Hyst	0,1...30
	Offset	-30...30
	Модель загасання	Cost Nata

3.3 Алгоритм роботи імітаційної моделі

На рисунку 3.1 зображена функціональна блок-схема імітаційної моделі.

На базі представленої імітаційної моделі та розрахунків отримані графіки залежності параметрів пізніх, ранніх і частих хендоверів від значень різних параметрів системи LTE-A.

Таким чином, імітаційна модель дає можливість оцінки впливу швидкості мобільності споживача на ефективність хендовера системи обслуговування.

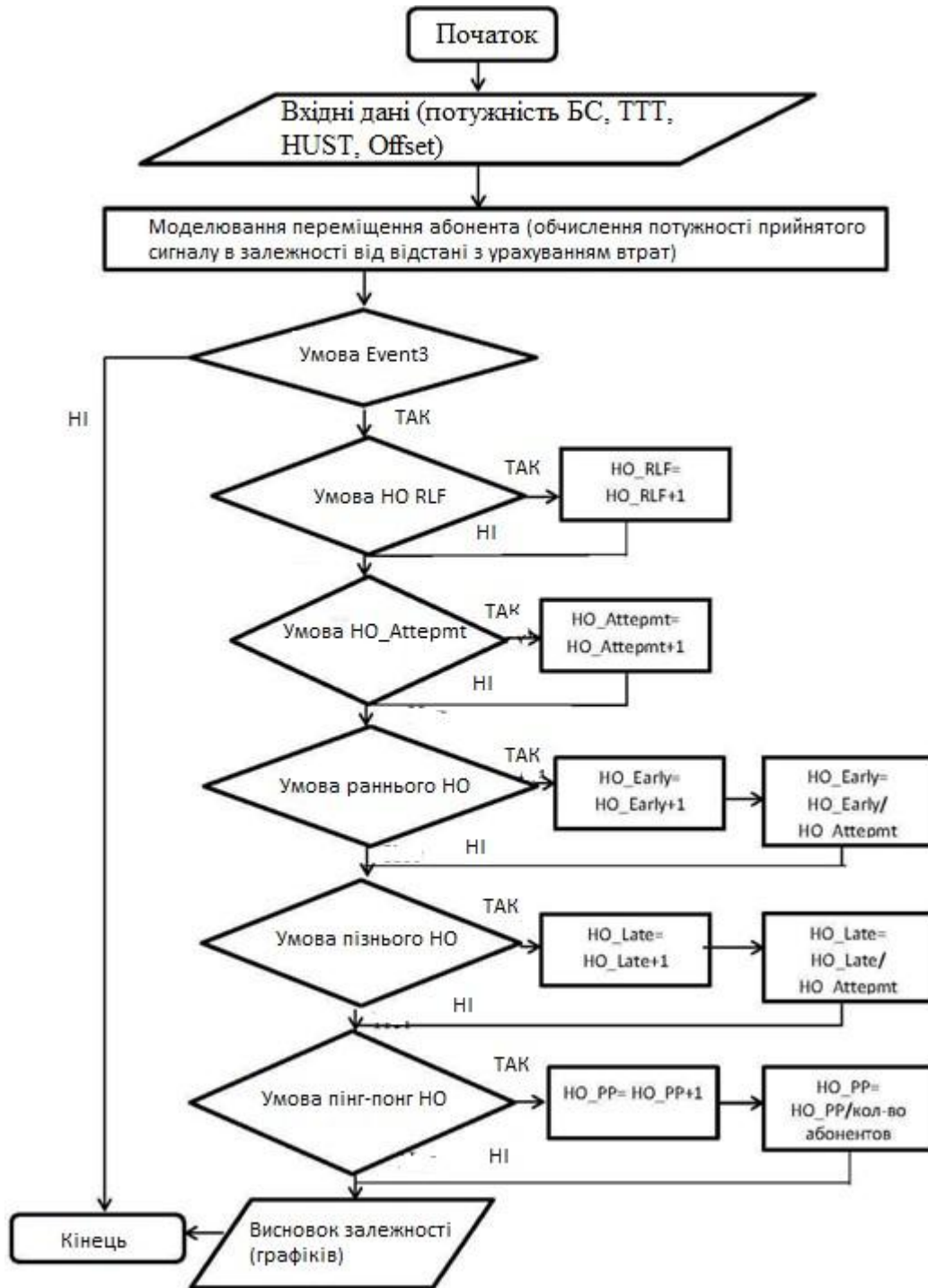


Рисунок 3.1 – Функціональна блок-схема імітаційної моделі

Результати моделювання

Аналіз впливу швидкості на ймовірність обриву зв'язку в умовах мобільності споживача, який обслуговується базовою станцією (пізній

хендовер).

При погіршенні якості сигналу до критичних значень, який обслуговується базовою станцією – це втрати зв'язку. В цей момент мобільна станція, через такі втрати хендовера не попадає на цільову базову станцію.

По даному аналізу та розрахункам побудовані графіки залежності ймовірності втрати зв'язку в умовах мобільності споживача, який обслуговується базовою станцією від TimeToTrigger параметра з різною швидкістю переміщення мобільної станції (рис. 3.2).

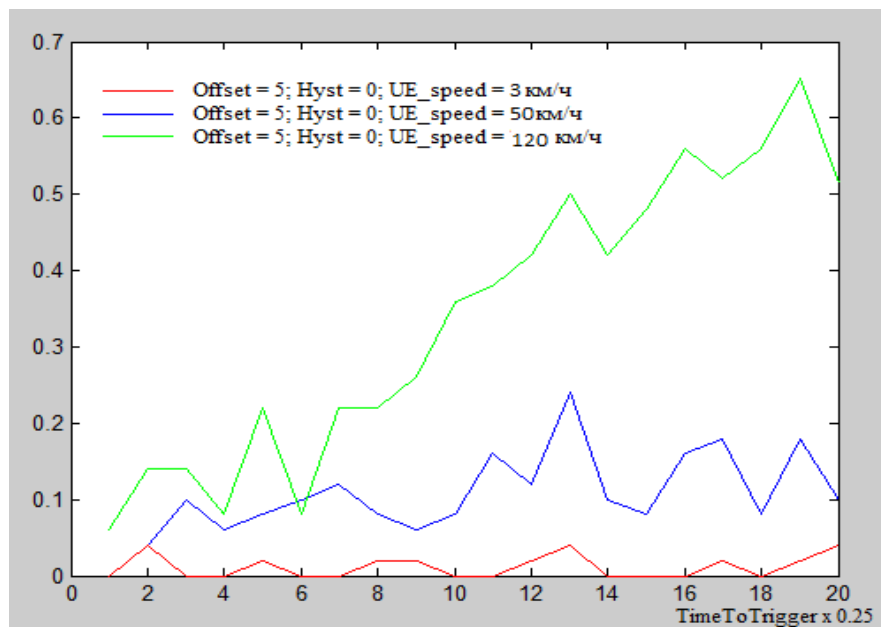


Рисунок 3.2 – Графіки залежності ймовірності пізнього хендовера від параметра TimeToTrigger для мобільної станції з різною швидкістю переміщення

Аналіз графіків (див. рис. 3.2) показує, що зі зростанням швидкості переміщення мобільної станції, зростає ймовірність появи пізнього хендовера, тобто втрати надійного зв'язку з обслуговуючою базовою станцією (Source eNodeB).

Період часу, через який мобільна станція буде відправляти звіт на базову станцію при настанні події A3 (Event A3) фіксує TimeToTrigger параметри.

В випадках, коли велика кількість мобільних станцій матиме високу швидкість переміщення, в соті TimeToTrigger параметри зафіксують час - < 1 сек.

Підтверджена ефективність Hyst і Offset параметрів через плив на ймовірність появи пізніх та ранніх хендоверів

Аналіз побудованих графіків залежності ймовірності втрати надійного зв'язку мобільною станцією з різною швидкістю переміщення з цільовою базовою станцією від Hyst і Offset параметрів.

$$I = 0,1 \dots 30.$$

$$\text{Hyst} = I - \text{змiна в дiапазонi: } 0, 1 \dots 30.$$

$$\text{Offset} = -30 + 2I - \text{змiна в дiапазонi: } -30, -28 \dots 30.$$

Аналіз графіків (див.рис.3.3) показує, що зі зростанням результатів Offset + Hyst параметрів, зростає ймовірність появи пізнього хендовера.

Сумарні параметри показують зміну сигналу від якості обслуговування і ефективності роботи цільової базових станцій для забезпечення події А3 (Event А3).

На графіках видно, що знижка Offset + Hyst параметрів допускає появу ймовірності ранніх хендоверів, де мобільна станція без проблем попадає в зону обслуговування цільовою базовою станцією (рис. 3.3).

Обґрунтовані забезпечення та підтримка оптимальних Hyst і Offset параметрів для соти

Розрахунки оптимальних Hyst і Offset параметрів на основі імітаційної моделі показали ефективність продуктивності процедури хендовера за формулою:

$$HO_Performance = 0.4 \cdot HO_Late + 0.4 \cdot HO_Early + 0.2 \cdot HO_PP \quad (3.3)$$

Розрахунки включають пізні та ранні хендовери, а також і Ping-Pong хендовери.

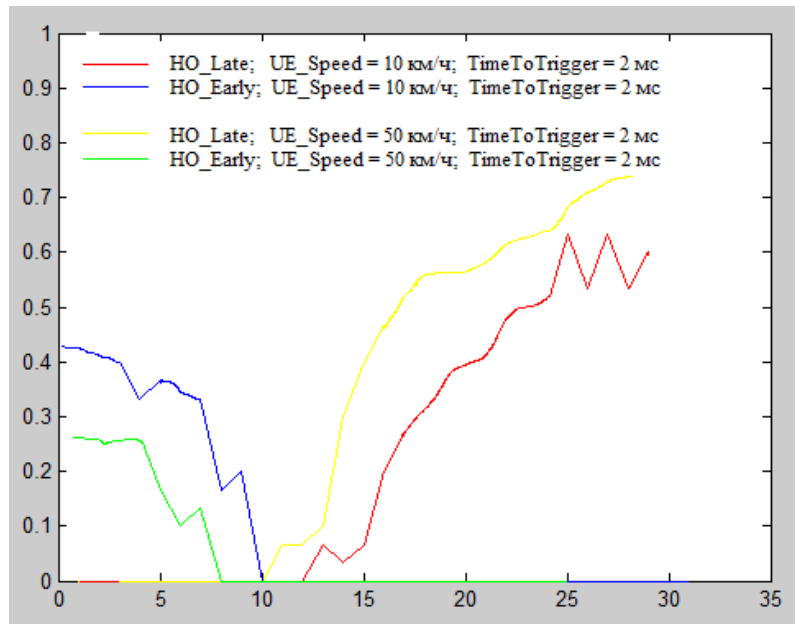


Рисунок 3.3 – Графіки залежності ймовірності пізнього та раннього хендвера від Hyst і Offset параметрів

На рисунку 3.4 представлені графіки залежності ефективності продуктивності процедури хендвер від Hyst і Offset параметрів.

Аналіз графіків показує (рис 3.4) реалізацію оптимальних Hyst і Offset параметрів для стоти. Ефективність продуктивності забезпечує найменші результати оптимальних Hyst і Offset параметрів.

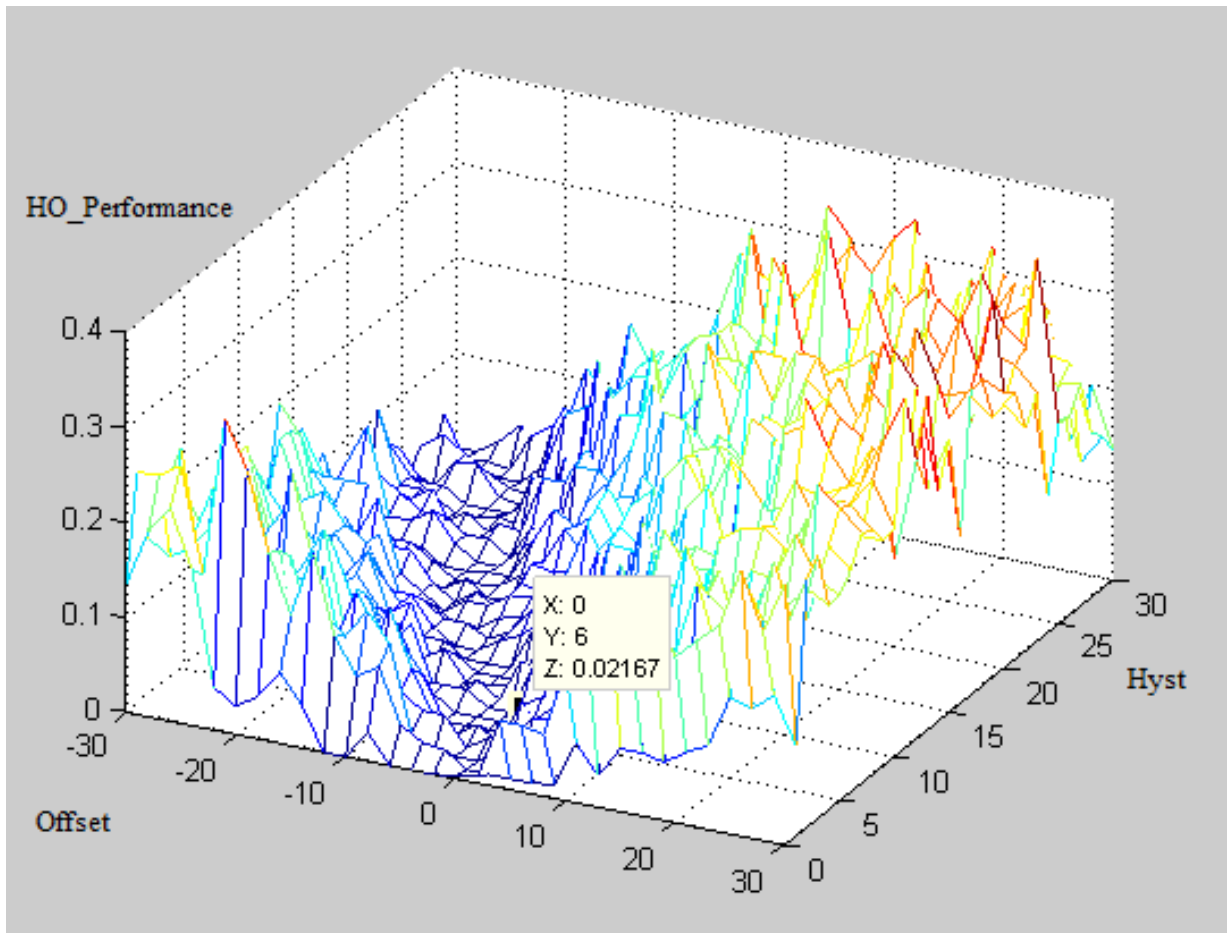


Рисунок 3.4 – Графіки залежності ефективності продуктивності хендовера від Hyst і Offset параметрів

4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

4.1 Моделювання на базі MATLAB

MATLAB – це високорівнева мова і інтерактивне середовище для програмування, чисельних розрахунків і візуалізації результатів. За допомогою MATLAB можна аналізувати дані, розробляти алгоритми, створювати моделі і додатки.

Мова, інструментарій та вбудовані математичні функції дозволяють досліджувати різні підходи і отримувати рішення швидше, ніж з використанням електронних таблиць, або традиційних мов програмування, таких як C / C++ або Java.

MATLAB широко використовується в таких областях, як:

- обробка сигналів і зв'язок,
- обробка зображень і відео,
- системи управління,
- автоматизація тестування і вимірювань,
- фінансовий інжиніринг,
- обчислювальна біологія і т.п.

MATLAB в порівнянні з традиційними мовами програмування (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN) дозволяє на порядок скоротити час вирішення типових завдань і значно спрощує розробку нових алгоритмів.

Ядро MATLAB дозволяє максимально просто працювати з матрицями реальних, комплексних і аналітичних типів даних і зі структурами даних і таблицями пошуку.

MATLAB містить вбудовані функції лінійної алгебри (LAPACK, BLAS), швидкого перетворення Фур'є (FFTW), функції для роботи з поліномами, функції базової статистики та чисельного рішення диференціальних рівнянь; розширені математичні бібліотеки для Intel MKL.

4.2 Моделювання процедури передачі обслуговування (Handover) в системі MATLAB

Розроблена модель, яка передбачає використання події A3 (Event A3) для ініціювання відправки звітів про вимірювання на базову станцію (розділ 3).

Абонентська мобільна станція забезпечує метрику, параметри цих вимірювань задає повідомлення RRC (Connection Reconfiguration).

Виділяють 5 видів подій (measurement reporting events) при яких відбувається оповіщення базової станції (для стандарту LTE-A специфікації 3GPP TS 36.331):

- Event A1: Рівень сигналу від обслуговуючої базової станції (БС) перевищив встановлене значення;
- Event A2: Рівень сигналу від обслуговуючої БС став гірше, ніж встановлене значення;
- Event A3: Рівень сигналу від сусідньої БС став краще, ніж від обслуговуючої БС на встановлене значення;
- Event A4: Рівень сигналу від сусідньої БС перевищив встановлене значення;
- Event A5: Рівень сигналу від обслуговуючої БС став гірше, ніж встановлене значення[3]. У той час, як рівень сигналу від сусідньої БС перевищив інше встановлене значення.

Параметри, які використовуються для управління процедурою хендовер: Hyst, Offset, time-to-trigger.

Розрахунки параметрів в умовах моделювання:

$$I = 0,1 \dots 30.$$

$$\text{Hyst} = I - \text{змiна в дiапазонi: } 0, 1 \dots 30.$$

$$\text{Offset} = -30 + 2I - \text{змiна в дiапазонi: } -30, -28 \dots 30.$$

4.3 Текст програми математичної моделі

Лістинг Програми

```

Loss_Rand = 10;
ISD = 0.4; % km
Speed = 20/3600; % Km / sec
N_ue = 20;% кількість абонентів
T_simulation = round (ISD / Speed); % sec
Ue_sens = -130;% чутливість приймача
T_step = 0.2; % sec
N_step = round (T_simulation / T_step);
eNB_Serv_Power = 47;
eNB_Serv_TTT = 2;
eNB_Serv_Hyst = 0;
eNB_Serv_A3Offset = -2;
eNB_Serv_CIO = 0;
eNB_Target_Power = 47;
eNB_Target_Hyst = 0;
eNB_Target_A3Offset = 0;
C = 0;
f = 1200;
Hm = 2;
Hbs = 50;
%%%%%%%%%%%% ініціалізація даних
UE = struct ([]);
UE1 = struct ([]);
eNB_Serv = struct ([]);
eNB_Target = struct ([]);
Matr_Rez = struct ([]);

```

```

for i = 1: N_ue
    UE (i) .speed = Speed; % Km / sec
    UE (i) .Hyst = eNB_Serv_Hyst;
    UE (i) .A3Offset = eNB_Serv_A3Offset;
    UE (i) .TTT = eNB_Serv_TTT;
    UE (i) .d_Serv (1: N_step) = 0.01;
    UE (i) .Loss_Serv (1: N_step) = 0;
    UE (i) .Meas_Serv (1: N_step) = 0;
    UE (i) .R_Meas_Serv (1: N_step) = 0;
    UE (i) .d_Target (1: N_step) = 0;
    UE (i) .Loss_Target (1: N_step) = 0;
    UE (i) .Meas_Target (1: N_step) = 0;
    UE (i) .R_Meas_Target (1: N_step) = 0;
end
for i = 1: N_ue
    Matr_Rez (i) .Step (1: N_step) = 0;
    Matr_Rez (i) .Speed (1: N_step) = UE (i) .speed;
    Matr_Rez (i) .d_Serv (1: N_step) = 0;
    Matr_Rez (i) .Meas_Serv (1: N_step) = 0;
    Matr_Rez (i) .Meas_Target (1: N_step) = 0;
    Matr_Rez (i) .R_Meas_Serve (1: N_step) = 0;
    Matr_Rez (i) .R_Meas_Target (1: N_step) = 0;
end
C = 0.8 + (1.1 * log (f) - 0.7) * Hm - 1.56 * log (f);
for i = 1: N_ue %
    for j = 1: N_step-round (N_step / 20)
        tttt = ((-1) ^ round (rand));
        UE (i) .d_Serv (j + 1) = UE (i) .d_Serv (j) + UE (i) .speed * T_step;
    end
end

```

```

UE (i) .Loss_Serv (j) = 69.25 + 26.16 * log (f) -13.82 * log (Hbs) -C + log (UE (i)
.d_Serv (j)) * (44.9-6.55 * log (Hbs) );
UE (i) .Meas_Serv (j) = eNB_Serv_Power - UE (i) .Loss_Serv (j);
UE (i) .R_Meas_Serv (j) = UE (i) .Meas_Serv (j) + tttt * Loss_Rand * rand;
UE (i) .d_Target (j) = ISD - UE (i) .d_Serv (j);
d = UE (i) .d_Target (j);
    UE (i) .Loss_Target (j) = 69.25 + 26.16 * log (f) -13.82 * log (Hbs) -C + log (d)
* (44.9-6.55 * log (Hbs));
UE (i) .Meas_Target (j) = eNB_Target_Power - UE (i) .Loss_Target (j); UE (i)
.R_Meas_Target (j) = UE (i) .Meas_Target (j) + tttt * Loss_Rand * rand;
Matr_Rez (i) .Step (j) = j;
Matr_Rez (i) .Speed (j) = UE (i) .speed;
Matr_Rez (i) .d_Serv (j) = UE (i) .d_Serv (j);
Matr_Rez (i) .Meas_Serv (j) = UE (i) .Meas_Serv (j);
Matr_Rez (i) .R_Meas_Serv (j) = UE (i) .R_Meas_Serv (j);
Matr_Rez (i) .d_Target (j) = UE (i) .d_Serv (j);
Matr_Rez (i) .Meas_Target (j) = UE (i) .Meas_Target (j);
Matr_Rez (i) .R_Meas_Target (j) = UE (i) .R_Meas_Target (j);
end
end
for i = 1: N_ue
for j = 1: N_step
Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 1) = j;
Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 2) = UE (i) .speed; Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 3) = UE (i) .d_Serv
(j); Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 4) = UE (i) .Meas_Serv (j); Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 5) = UE
(i) .R_Meas_Serv (j); Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 6) = UE (i) .d_Target (j); Matr_Rez1 (i)
.Rez (j, 7) = UE (i) .Meas_Target (j); Matr_Rez1 (i) .Rez (j, 8) = UE (i)
.R_Meas_Target (j);
end

```

```

end
HO_Early = 0;
HO_Late = 0;
HO_RLF = 0;
HO_Attempmt = 0;
HO_PP_UE = 0;
HO_PP = 0;
N_PP = 20;
for i = 1: N_ue
    for j = 1: N_step-3-round (eNB_Serv_TTT / T_step)
        tttt = ((-1) ^ round (rand));
        if (UE (i) .R_Meas_Serv (j) <Ue_sens) && (UE (i) .R_Meas_Target (j) <Ue_sens)
            HO_RLF = HO_RLF + 1;
            break
        end
        if (UE (i) .Meas_Target (j)> UE (i) .Meas_Serv (j) + UE (i) .Hyst + UE (i) .A3Offset)
            HO_Attempmt = HO_Attempmt + 1;
            j = j + round (eNB_Serv_TTT / T_step);
        end
        if UE (i) .R_Meas_Target (j) <Ue_sens && UE (i) .R_Meas_Serv (j)> Ue_sens
            HO_Early = HO_Early + 1;
        end
        if UE (i) .R_Meas_Serv (j) <Ue_sens && UE (i) .R_Meas_Target (j)> Ue_sens
            HO_Late = HO_Late + 1;
        end
        break
    end
end
end
end
end
for i = 1: N_ue

```

```

for j = 1: N_step-3-round (eNB_Serv_TTT / T_step)
if UE (i) .Meas_Target (j)> UE (i) .Meas_Serv (j) + UE (i) .Hyst + UE (i) .A3Offset
    PP_step = j;
    for jj = 1: N_PP
        tttt = ((-1) ^ round (rand));
        j = PP_step + tttt * round (eNB_Serv_TTT / T_step);
        if UE (i) .Meas_Target (j)> UE (i) .Meas_Serv (j) + UE (i) .Hyst - UE (i) .A3Offset
            HO_PP = HO_PP +1;
        end
    end
    break
end
end
end
end
end
end
HO_Early = HO_Early / HO_Attempmt;
HO_Late = HO_Late / HO_Attempmt;
HO_PP = HO_PP / N_ue;

```

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі магістра на тему “Моніторинг параметрів ефективності хендвера в мережах LTE-Advanced” виконано завдання в повному обсязі.

В першому розділі розглянуто перспективи розвитку мереж LTE. Основна відмінність між мережами і пристроями, які підтримують LTE-Advanced (також званий LTE-A) і LTE – це функція, яка називається агрегацією несучих. Агрегація несучих відноситься до здатності мережі або пристрою об’єднувати пропускну здатність – смугу пропускання, яка може бути розкидана по радіочастотного спектру.

Наприклад, оператор мобільного зв’язку може мати спектр в смугах частот 900 МГц, 1800 МГц і 2100 МГц. Раніше, коли телефон підключався до мережі, він підключався тільки в одному з цих діапазонів. Пристрій буде мати доступ до максимальної смуги пропускання, доступною в цій смугі, яка завжди менше 20 МГц.

Представлено еволюційний розвиток LTE Advanced Pro (4,5G) з використанням типові конфігурації MIMO, які складаються з антен 2×2, 4×4 та 8×2.

На сьогодні існує технологія LTE-U (LTE Unlicensed), сенс якої впливає з її назви: використання стандарту LTE на неліцензійному спектрі частот.

В Україні мережа LTE запущена в діапазоні 1800 МГц. Цей діапазон розділений між гравцями ринку: кожен отримав деяку частину певної ширини (5 МГц, 10 МГц і т. п.). “Київстар”, наприклад, володіє п’ятьма каналами по 5 МГц (всього 25 МГц безперервного спектра), Vodafone – 20 МГц, а lifecell – 15 МГц.

В другому розділі проведено моніторинг підвищення параметрів ефективності хендвера в LTE-Advanced мережах. Існує низка ключових функцій, представлених в LTE-A, включаючи Handover (HO), агрегацію несучих, покращення просторового мультиплексування в низхідній та висхідній лініях зв’язку, вузли ретрансляції, сумісні гетерогенні мережі та координовану багатоточкову передачу та прийом.

Агрегація несучих забезпечує високу пікову швидкість передачі даних 1 Гбіт/с в низхідній лінії зв'язку та 500 Мбіт/с в висхідній лінії зв'язку з розширенням смуги пропускання від 20 МГц до 100 МГц.

Розглянуто процедури Handover (НО), де виділяються два види хендовера, м'які і жорсткі (soft handover), які встановлені відповідно до специфікації Європейського інституту по стандартизації в галузі телекомунікації (ETSI).

Хендовер, має класифікацію 3-класів: порятунку, якості обслуговування та перевантаження у час найбільшого навантаження (ЧНН). Запропоновано використання алгоритму процедури Handover (НО) в мережі LTE-A.

Проаналізовано помилки хендовера в умовах: занадто ранній хендовер з низькими параметрами ТТТ (Time-to Trigger Timer), занадто пізній хендовер з великим значенням часу спрацьовування (ТТТ) та хендовер на неправильну соту. А хендовер пінг-понгу обтяжить eNB непотрібною передачею.

Побудовані графіки залежності параметрів ефективності хендовера від часу встановлення адміністратора ТТТ у ЧНН та блок-схема запропонованого алгоритму хендовера на етапи прийняття рішення про хендовер.

Представлені показники ефективності системи – CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm на основі математичної моделі та побудови графіків залежності використання RB CoMP та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A від кількості UEs, пропускну здатності системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A від кількості UEs, затримки системи CoMP Handover Algorithm та Limited CoMP Handover Algorithm в LTE-A від UEs.

CoMP Handover Algorithm має вищу системну затримку, як 5691,81 мс, 8615,15 мс, 11416,7 мс, 12874,8 мс, 13904,8 мс та 14455 мс над Limited CoMP Handover Algorithm, незалежно від значення НОМ у сценарії 50, 100, 150, 200, 250, та 300 UE відповідно, що відповідає нормам параметрам якості по відношенню до кожної МС (50-650 мс по класах обслуговування QoS).

В третьому розділі запропоновано концептуальний опис математичної моделі з теоретичним етапом синтезу структурної схеми управління ресурсами в LTE-Advanced мережах.

Проведено аналіз характеристик і розробка пропозицій по підвищенню ефективності методів контролю ресурсів доступу до послуг вузькосмугових

Інтернет - речей (NB-IoT) LTE-Advanced мережі на прикладі мобільних вузлів, які функціонують із заданими параметрами.

Представлено сценарій розробки імітаційної моделі, де закладені основні дані параметрів на основі вхідних даних:

- пізніх неуспішних спроб хендовера (НО_Late_Fail): втрати зв'язку з цільовою eNodeB;
- ранніх неуспішних спроб хендовера (НО_Early_Fail): втрати зв'язку з обслуговуємою eNodeB;
- Ping-Pong НО – хендовер обслуговування між двома базовими станціями.

Розроблено алгоритм роботи імітаційної моделі з розрахунками, аналізом результатів моделювання та програмним забезпеченням на базі MATLAB.

По аналізу та розрахункам побудовані графіки залежності ймовірності втрати зв'язку в умовах мобільності споживача який обслуговується базовою станцією від TimeToTrigger параметра з різною швидкістю переміщення мобільної станції, графіки залежності ймовірності пізнього та раннього хендовера від Hyst і Offset параметрів та графіки залежності ефективності продуктивності процедури хендовер від Hyst і Offset параметрів з підтвердженням забезпечення ефективності продуктивності хендовера.

В четвертому розділі представлено програмне забезпечення математичної моделі на базі MATLAB з розробкою моделі, яка передбачає використання подій Event A1-A5 для ініціювання відправки звітів про вимірювання на базову станцію при хендовері. Параметри, які використанні для управління процедурою хендовер: Hyst, Offset, time-to-trigger.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. [електронний ресурс] : мультимед. підручник, Том 1// За редакцією В. В. Поповського, Харків, ТОВ “Компанія СМІТ”, 2018 р. Режим доступу до ресурсу: <http://www.znanius.com/3533.html> - 1012с.
2. Багатоканальний електрозв’язок та телекомунікаційні технології [електронний ресурс]: підручник у 2-х томах. /О. В. Лемешко, В. А. Лошаков, В. В. Поповський, Сабурова С. О. та ін.// за редакцією В. В. Поповського-Х.: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2018. Режим доступу до ресурсу: <http://www.smit-book.com/books.html>- 1012 с.
3. Міресь Ю. О., Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірювальних технологій “Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті”-2020. 1-4с.
4. Міресь Ю. О., Сабурова С. О., “Перспективи розвитку технології мобільного зв’язку 4G” представлена на П’ятій міжнародній науково-технічній конференція “Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв’язку, EMC-2020”. 102-106 с.
5. Міресь Ю. О., Рой В. Ф., д.ф.-м.н., проф. Використання мікропроцесорних пристроїв в системах захисту та керування мережами [Текст]: матеріали II Всеукраїнської наук.-техн. конф. “Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем”, 3-6 грудня 2018 р. – Х : НТУ “ХПІ”, 2018.
6. Moskalets M., Naors Y Anad Alsaleem. “IMPROVE MECHANISMS OF RANDOM MULTIPLE ACCESS IN WIRELESS COMMUNICATIONS SYSTEMS” 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2020, pp. 1-6.
7. Moskalets M., Sielivanov K., Al-Vandavi Saif Ahmed Iskandar Ismael. A Method for Increasing Probability of Detecting Call Signals of Subscriber Stations in

Mobile Communication Systems // 3rd IEEE International Conference Advanced Information and Communication Technologies (AICT), July 2 – 6, 2019. – Lviv, Ukraine. – P. 1-4.

8. 3GPP standardization, -Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS) (Release 11), || TS32.522 v11.7.0, Dec. 2013. - 58 p.

9. Анисимов А. Подія А3 (Event А3) [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: http://anisimoff.org/lte/measurements/event_a3.html (дата звернення: 20.03.2020).

10. Ermolayev V. Handover Parameter Optimisation in LTE. MERA, Russia, 2012.

11. Capdevielle V. Self-Optimization of Handover Parameters in LTE Networks // Alcatel-Lucent Bell-Labs. France

12. 3GPP TS 36.902: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions"

13. Vivian Lee. LTE and Evolution to 4G Wireless, design and measurement challenges, 457 с.

14. Попов Є. А. Технологія LTE мобільної передачі даних, СПб .: Видавництво політехнічного університету, 2011. - 205 с.

15. Тихвинський В. О. Мережі мобільного зв'язку LTE, технології та архітектура 2010. - с.123-134.

16. Д. В. Зав'ялова, А. В. Андреев. Оптимізація процедури передачі обслуговування (Handover) в мережах стільникового зв'язку 4-го покоління LTE, 2016. - 10с.

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

18. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Высочин В.П. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура. – М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2014. – 384 с.
19. Маглицкий Б.Н. Технология LTE систем сотовой связи четвертого поколения / СибГУТИ, Новосибирск. 2010.-168 с.
20. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия LTE. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 156 с.
21. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 188 с.
22. Колюбякин В. «Беспроводные мультисервисные сети»- М.: Телеспутник. 2016.