ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Застосування сучасних методів для створення методики підвищення пропускної здатності безпроводової мережі»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ В’ячеслав КОПЄЙКА
(підпис) *(Ім’я ПРІЗВИЩЕ)*

Виконав: здобувач вищої освіти гр. ТСДМ-62

В’ячеслав КОПЄЙКА
Ім’я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:
ДТН, професор
Віктор ЗАЇКА
Ім’я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент: _____
Ім’я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

Кафедра ___Телекомунікаційних систем та мереж_____
Ступінь вищої освіти __магістр_____
Спеціальність __172 Електронні комунікації та радіотехніка_____
Освітньо-професійна програма ____Телекомунікаційні системи та мережі_____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою __ТСМ_____
_____ Віктор ЗАЇКА
«____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Копєйці Вячеславу Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Застосуванням сучасних методів для створення методики підвищення пропускної здатності безпроводової мережі_____
_____
керівник кваліфікаційної роботи Віктор ЗАЇКА, ДТН, професор
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від « 30 жовтня 2025 р. № 467.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «___» _____ 2025 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Огляд архітектури мережі радіодоступу 5G;
   2.Технологія SFN;
   3.Технологія кооперативна ретрансляція;
   4. Кооперативна ретрансляція D2D;
   5. Науково-технічна література;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Дослідження архітектури мережі радіодоступу 5G.
   2. Огляд технології SFN.
   3. Детальний розгляд та аналіз стратегій ретрансляції.
   4. Схема роботи кооперативної ретрансляції D2D.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: ___презентація на слайдах_____
6. Дата видачі завдання «___» _____ 2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та аналіз науково-технічної літератури	20.10.2025	Виконано
2	Огляд архітектури мережі радіодоступу 5G	31.10.2025	Виконано
3	Огляд технології SFN (Single Frequency Network)	10.11.2025	Виконано
4	Дослідження та аналіз технології «Кооперативна ретрансляція»	21.11.2025	Виконано
5	Висновки, вступ, реферат	10.12.2025	Виконано
6	Розробка презентації	14.12.2025	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Вячеслав КОПЄЙКА
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віктор ЗАЇКА
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістр

Направляється здобувач Копєйка В.Г.до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)
за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(назва)
на тему: «Застосуванням сучасних методів для створення методики підвищення пропускної здатності безпроводової мережі».

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника магістерської роботи

Здобувач Копєйка Вячеслав Григорович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які були поставлені керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до наукової роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача Копєйки Вячеслава Григоровича на оцінку «добре» та присвоїти йому кваліфікацію магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віктор ЗАЇКА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

«____» _____ 2025 року

Висновок кафедри про магістерську роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Копєйка В.Г. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедрою телекомунікаційних систем та мереж _____ Віктор ЗАЇКА
(назва) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну роботу
на здобуття освітнього ступеня магістра

здобувача вищої освіти Копєйки Вячеслава Григоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему : «Застосуванням сучасних методів для створення методики підвищення пропускної здатності безпроводової мережі»

Актуальність.

Описана нова архітектура побудови базових станцій за використанням Cloud BBU. Розглянуті перевіги та проблематику використання цієї технології на сучасному етапі еволюції БС. Використовуючи технологію «когнітивний радіодоступ» можна підвищувати якість ретрансляційного зв'язку. Локалізовані мережі можуть співпрацювати в неліцензованих смугах оминаючи базову мережу стільникового оператора. Цей метод розвантажує базову мережу оператора зв'язку, і як на слідок підвищує якість обслуговування и швидкості передачі даних.

Позитивні сторони.

В даній роботі, мета, що зазначена вище, була повністю досягнена. Було проведено детальний розгляд та аналіз стратегій ретрансляції та порівняння в традиційними методами побудови бездротових телекомунікаційних мереж.

Недоліки.

1. Можливо більш детально було провести аналіз недоліків кооперативної ретрансляції.

2. Слід було більше уваги приділити технічним засобам, їх технічним характеристикам.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку магістерської кваліфікаційної роботи

Висновок: *кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра заслуговує оцінку "добре", а здобувач* Копєйка Вячеслав Григорович *заслуговує присвоєння кваліфікації: магістр з телекомунікацій та радіотехніки.*

Рецензент
науковий ступінь _____ (підпис) _____ *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: ___ стор., ___ рис., ___ табл., ___ джерел.

Об'єкт дослідження – розгляд прикладу використання SFN стільників, а також методів забезпечення ретрансляції.

Предмет дослідження – теоретичні відомості про мережі п'ятого покоління, використання кооперативної ретрансляції. Огляд технології SFN та методи підвищення швидкості мережі за рахунок спільного використання Macro-Cell та Small-Cell.

Мета роботи – детальний розгляд технології SFN, алгоритму хендовера для підвищення швидкості передачі даних, огляд технології кооперативної ретрансляції.

Методи дослідження – провести огляд технології SFN на прикладі мереж 5G. Провести огляд сценаріїв міграції мережі LTE до 5G NR.

Було проведено детальний розгляд та аналіз стратегій ретрансляції та порівняння в традиційними методами побудови бездротових телекомунікаційних мереж. Розроблений алгоритм хендоверу на основі використанного SSB ресурсу.

Наведені приклади підвищення пропускної здатності мережі за рахунок використання SFN стільників та розроблений загальний принцип роботи Smart HO Algorithm за рахунок якого буде відбуватись перерозподіл трафіку між Macro Cell та mm-Wave Cell. Наведені приклади MML скриптів для активації Smart HO Algorithm Switch на Cell рівні gNodeB.

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

4G, 5G, ТЕХНОЛОГІЯ SFN, КООПЕРАТИВНА РЕТРАНСЛЯЦІЯ, LTE, DEVICE-TO-DEVICE (D2D), ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, QOS.

ABSTRACT

Text part of the qualification work for obtaining a master's degree: ___ pages, ___ figures, ___ tables, ___ sources.

The object of the study is to consider an example of using SFN cells, as well as methods for ensuring relaying.
The subject of the study is theoretical information about fifth-generation networks, the use of cooperative relay. An overview of SFN technology and methods for increasing network speed through the joint use of Macro-Cell and Small-Cell.
The purpose of the work is a detailed review of SFN technology, a handover algorithm for increasing data transfer speed, and a review of cooperative relay technology.

Research methods – to review SFN technology using the example of 5G networks. To review LTE to 5G NR network migration scenarios.
A detailed review and analysis of retransmission strategies and comparison with traditional methods of building wireless telecommunication networks were carried out. A handover algorithm was developed based on the used SSB resource.
Examples of increasing network throughput due to
The use of SFN cells and the general principle of operation of the Smart HO Algorithm are developed, due to which traffic will be redistributed between Macro Cell and mm-Wave Cell. Examples of MML scripts for activating the Smart HO Algorithm Switch at the gNodeB level Cell are given.

KEYWORDS: 4G, 5G, SFN TECHNOLOGY, COOPERATIVE RETRANSMISSION, LTE, DEVICE-TO-DEVICE (D2D), TELECOMMUNICATIONS NETWORK, QOS.

ЗМІСТ

ВСТУП……..9
1 ОГЛЯД АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ 5G……10
1.1 Архітектура базових станций gNodeB……...10
1.2 Функціональна архітектура рівнів……..13
1.3 Сценарії міграції від LTE до 5G……17
2 ТЕХНОЛОГІЯ SFN (SINGLE FREQUENCY NETWORK)……...29
2.1 Огляд технології SFN (Single Frequency Network)……29
2.2 Small SFN-Cell (mm-Wave)……...30
2.3 Алгоритм хендовера Macro Cell – Small Cell……31
3 ТЕХНОЛОГІЯ «КООПЕРАТИВНА РЕТРАНСЛЯЦІЯ»……..36
3.1 Визначення поняття «Кооперативні системи»……36
3.2 Застосування кооперативної ретрансляції……..38
3.3 Переваги кооперативної ретрансляції…….....40
3.4 Класифікація кооперативних систем…….…..….41
3.5 Стратегії «Підсилення та передача» (Amplify and Forward (AAF) та «Декодування та передача» (Decode and Forward (DAF)…….....42
3.6 Стратегія «Детектування та передача» (Detect-and-Forward (DtAF).....45
3.7 Стратегія «Вибіркове виявлення та передача» (Sele CtiveDetect-and Forward)…….…….…..45
4 КООПЕРАТИВНА РЕТРАНСЛЯЦІЯ D2D……46
4.1 Кооперація в бездротових мережах……46
4.2 Технологія Device-to-Device (D2D)……47
4.3 Ретрансляція Device-to-Device (D2D) в мобільних мережах……....48
4.4 Схема роботи ретрансляції D2D……..…….51
4.5 Кооперативний ретрансляційний режим……52
4.6 Підсумки моделювання…….....54
ВИСНОВКИ…….....57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ…….…….59
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ…….……61

ВСТУП

Бездротовий зв'язок є одним з найбільш швидкозростаючих сегментів інформаційно-комунікаційної галузі, що забезпечує обмін інформацією між портативними пристроями, розташованими в будь-якій точці світу [18]. Як приклад такого зростання, стільникові телефони стали необхідним обладнанням у бізнесі та незамінним інструментом у нашому повсякденному житті. Іншою формою бездротового зв'язку є бездротова локальна мережа (WLAN), яка наразі використовує сотні мільйонів станцій, які забезпечують підключення до Інтернету в будинках, офісах, кампусах, кафе, залізничних вокзалах і аеропортах [19, 20]. У той же час, багато інших мереж, таких як бездротові сенсорні мережі (WSN), автоматизовані фабрики, розумні будинки та телемедицина, виходять з дослідницьких ідей до реальних розгортань. З розвитком різноманітних видів застосування бездротового зв'язку, попит на більш високу швидкість передачі даних збільшується, штовхаючи досягнуті швидкості передачі даних до межі насичення каналомісткості. Було зафіксовано, що за останні 104 роки потужність бездротового зв'язку зростала вдвічі кожні 30 місяців [21], що призводить до збільшення мільйонної ємності з 1960-х років. Ці вражаючі досягнення досягаються за рахунок більш широкого спектра, поділу спектру на більш дрібні смуги, схеми модуляції вищого порядку і більш ефективного повторного використання спектру, наприклад, через менші розміри комірок і більш короткі відстані передачі в стільникових мережах.

Тому ми постійно знаходимось в пошуках нових алгоритмів та технологій щоб задовольнити попит та вимоги користувачів. Так з 2019 року з’явилися перші комерційні мережі п’ятого покоління 5G. Які мають задовольнити усіх користувачів найбліжчі 10-15 років. Основні вимоги до нового покоління зв’язку стали: низька затримка, збільшена ємність, використання різних діапазонів частот, підвищена швидкість передачі даних.

1 ОГЛЯД АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ 5G

1.1 Архітектура базових станций gNodeB.

Близько 10 років тому виробники почали випуск так званих розподілених базових станцій, на основі яких в даний час побудовані мережі мобільного зв'язку 2G-GSM, 3G-UMTS і 4G-LTE більшості операторів зв'язку. Така базова станція включає в себе базовий блок (або BBU – Baseband Unit), як і раніше розміщується "на землі", і кілька радіомодулів (або RRU), що розміщуються поблизу антен стільникового зв'язку. BBU і RRU пов'язані між собою оптичним кабелем, поверх якого реалізується інтерфейс CPRI (Common Public Radio Interface). Радіомодуль здійснює аналого-цифрове/цифро-аналогове перетворення, посилення і фільтрацію сигналу, формування радіочастотного тракту. Весь стек протоколів взаємодії базової станції з призначеним для користувача терміналом і базової станції з ядром мережі, а також алгоритми обробки сигналів реалізуються базовим блоком (BBU). BBU по суті являє собою невеликий сервер, висотою 2-3 юніта, який може бути встановлений або в телекомунікаційній стійці (якщо існує якесь виділене приміщення), або в кліматичному шафі на даху будівлі, або безпосередньо на стовпі/радіощоглі для BBU зовнішнього (outdoor) виконання.

Наступним кроком розвитку архітектури побудови базових станцій стала концепція хмарних BBU або "Cloud BBU", яка полягала у відмові від локальних BBU, що розміщуються безпосередньо на об'єктах БС, і перенесення їх функціональності на віртуалізовані ресурси потужних серверів, що розміщуються в центрах обробки даних (ЦОД). Дана концепція за рахунок централізації ресурсів і ефекту "масштабу" дозволяє підвищити надійність і ємність базових станцій, одночасно знизивши витрати на їх експлуатацію. Однак вона не знайшла істотного застосування через високі вимоги до характеристик CPRI каналів:

- допустима затримка – RTT - 5мкс;
- допустимий рівень бітових помилок – 10-12;
- стабільність частоти - 0.002 ppm;
- пропускна здатність для 4G-LTE в смузі 20 МГц в залежності від кількості потоків до 10G (в цьому випадку вимоги до пропускної здатності CPRI для мереж 5G в смузі 400 МГц можуть вирости до 400G).

Архітектура базових станцій gNb мережі мобільного зв'язку 5-го покоління, пропонована 3GPP, являє собою подальший розвиток ідеології розподілених базових станцій і "Cloud BBU". gNb включає в себе центральний модуль gNB-CU (gNB Central Unit) і один або кілька розподілених модулів gNB-DUs (GNB Distributed Unit). 3GPP (рекомендація TR 38.801 V14.0.0) визначає 8 можливих опцій поділу функцій між CU і DU (рис.1.1). При цьому опція 8 відповідає класичній (існуючій) схемі побудови розподіленої базової станції.

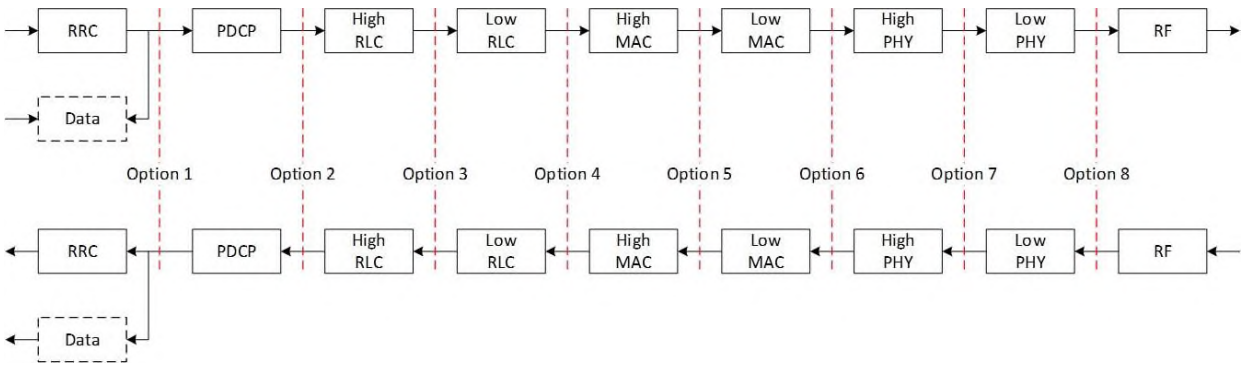


Рис. 1.1 Схема побудови розподіленої базової станції

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

Передбачається, що виробники будуть проектувати базові станції, вводячи додаткові площини поділу, виділяючи радіоблок з розподіленого модуля за допомогою інтерфейсу F2 (відповідно до опції 7), а також розносячи PDCP рівня користувацького трафіку і рівня управління (рис. 1.2).

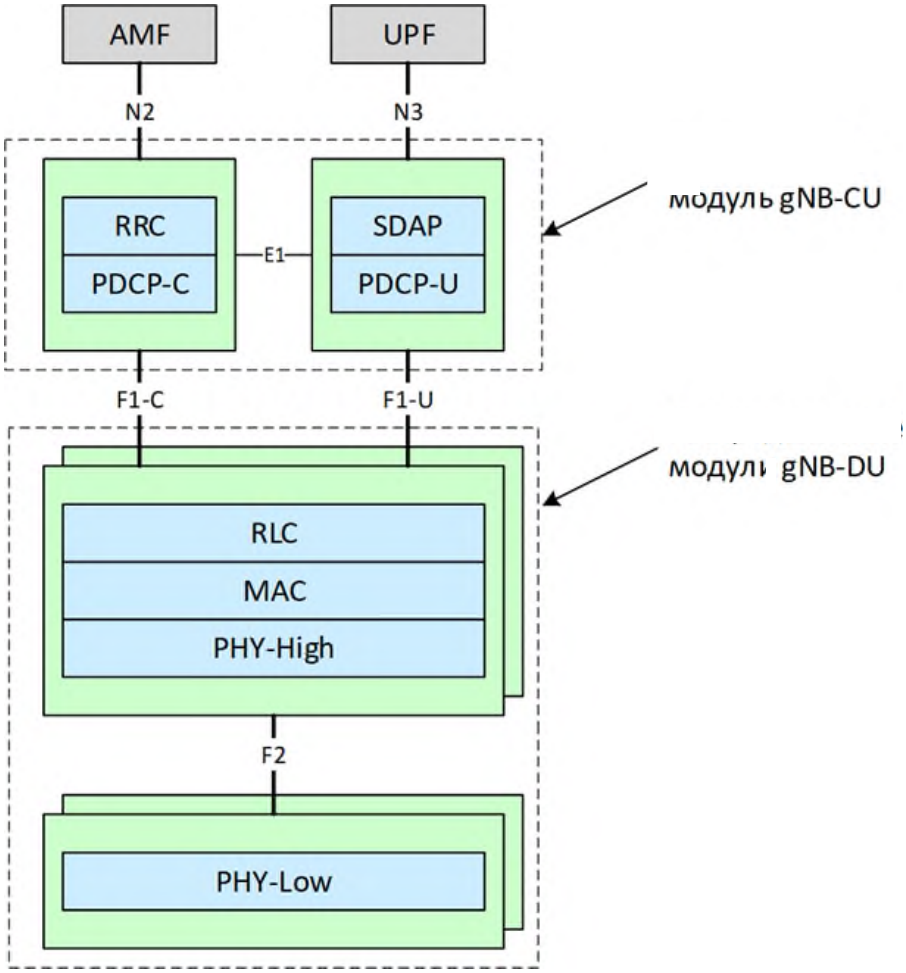


Рис. 1.2 Площини поділу в архітектурі базової станції

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

Структури стека протоколів мережі радіодоступу площини користувацького трафіку (User Plane) (рис. 1.3) і площині управління (Control Plane) (рис. 1.4).

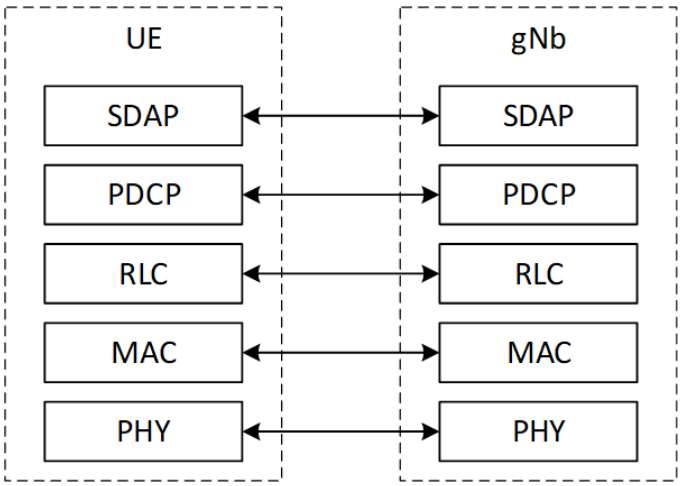


Рис. 1.3 Протоколи користувацького трафіку (User Plane)

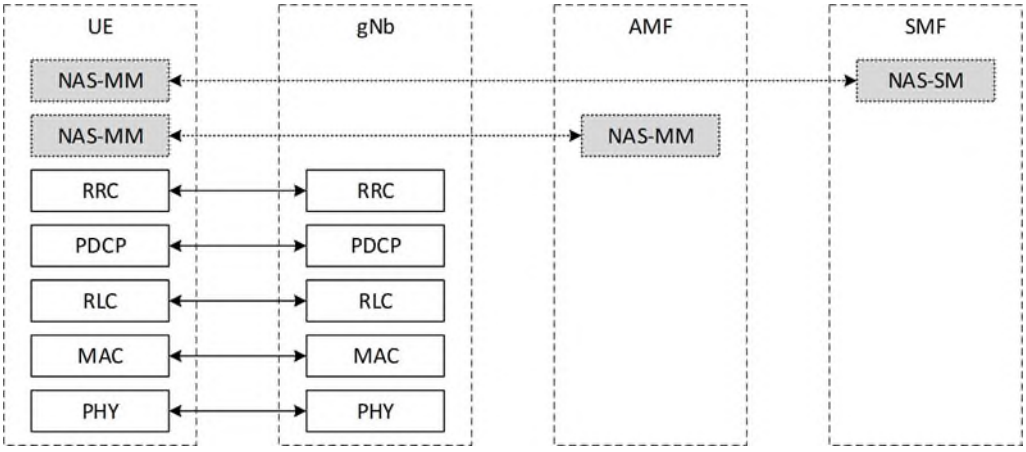


Рис.1.4 Протоколи управління (Control Plane)

1.2 Функціональна архітектура рівнів

RRC (Radio Resource Control) – протокол управління радіоресурсами. Основні функції, що реалізуються на рівні RRC:

- передача системної інформації;
- управління RRC з'єднанням (RRC connection control);
- управління механізмами міжтехнологічної мобільності (inter-RAT mobility);

- налаштування вимірювань (measurement) і звітності (reporting);
- передача повідомлень сигнального трафіку, що не відноситься до радіоз'єднання (NAS-Non Access Stratum).

Ключові зміни в порівнянні з рівнем RRC інтерфейсу S1 мереж LTE пов'язані з введенням нового RRC стану (RRC INACTIVE), покликаного мінімізувати сигнальний обмін для окремих класів постійно підключених до мережі пристроїв, а також з реалізацією механізму передачі частини системної інформації (SIB3..n) не в широкомовних, а у виділених каналах конкретних пристроїв.

SDAP (Service Data Adaptation Protocol) – є новим рівнем, вперше введеному в 15-му релізі 3GPP. Реалізується в рамках інтерфейсу NG-U мереж, побудованих на базі ядра NGCN при взаємодії з базовими станціями не тільки мереж радіодоступу NR (gNb), але і E-UTRAN (NG-eNb).

Забезпечує реалізацію фреймворку архітектури управління якістю (QoS), включаючи:

- маркування висхідних і низхідних пакетів даних відповідними параметрами QFI (QoS Flow ID);
- маппінг між потоками даних з відповідними параметрами QoS і віртуальними каналами (DRB – data radio bearer).

При цьому на стороні призначеного для користувача терміналу (UE) В UL каналі можливі дві схеми маппінга – явна, при якій пакети маршрутизуються в той чи інший віртуальний канал (DRB) на підставі QFI, або дзеркальна, при якій UE здійснює маппінг UL пакетів за результатами аналізу параметрів відповідних пакетів DK каналу.

PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

Основні функції, що реалізуються на рівні PDCP:

- передача призначених для користувача даних і даних площині управління;
- нумерація пакетів даних;

- шифрування і контроль цілісності даних;
- відновлення порядку проходження пакетів даних, видалення дублікатів;
- дублювання пакетів даних з метою підвищення надійності передачі;
- маршрутизація пакетів "розщеплених" віртуальних каналів (split bearer) в режимі dual connectivity (тільки для пакетів даних користувача);
- Robust Header Compression (тільки для пакетів даних користувача);
- видалення пакетів даних після закінчення таймера discardTimer (тільки

для пакетів даних користувача).

Ключові зміни в порівнянні з рівнем PDCP інтерфейсу S1 мереж LTE полягають в наступному:

- перенесення з рівня RLC на рівень PDCP функції відновлення порядку проходження пакетів даних, що з одного боку спрощує реалізацію механізму розщеплення віртуальних каналів (split bearer) в режимі Dual Connectivity з іншого – дозволяє на більш ранній фазі виконувати операції дешифрування і контролю цілісності надходять з мережі пакетів даних з порушенням послідовності, що в окремих кейсах може зменшити величину затримки;
- реалізація можливості дублювання даних на PDCP рівні в рамках концепції подвійного підключення (Dual Connectivity).

RLC (Radio Link Control)

RLC може функціонувати в одному з трьох режимів:

- прозорий режим передачі (transparent mode, TM);
- передача без підтвердження (unacknowledged mode, UM);
- передача з підтвердженням (acknoledged mode, AM).

Основні функції, що реалізуються на рівні RLC:

- передача пакетів, що формуються вищерозміщеним рівнем (PDCP PDU);
- незалежна від рівня PDCP нумерація пакетів даних;
- сегментація і десегментація пакетів даних (тільки в режимах AM і

UM);

- виявлення та корекція помилок передачі RLC PDU методом автоматичного запиту повторної передачі – ARQ (тільки в режимі AM);
- виявлення дублюючих RLC PDU (тільки в режимі AM);
- видалення пакетів даних за запитом вищого PDCP рівня – RLC SDU

discard (тільки в режимах AM і TM).

При цьому функцію сегментації / десегментації умовно відносять до підрівня Low-RLC, решта до High-RLC.

MAC (Medium Access Control)

Основні функції, що реалізуються на рівні MAC:

- маппінг між логічними і транспортними каналами;
- мультиплексування MAC SDU, що належать одному або декільком логічним каналам, в транспортні блоки (TB), що передаються на фізичний рівень;
- демультиплексування MAC-PDU, отриманих в транспортних блоках від фізичного рівня;
- динамічний розподіл ресурсів з урахуванням пріоритетів користувацьких терміналі в (UE) і логічних каналів, а також звітів про інтерференції – функції менеджера розкладів (scheduler);
- виявлення та корекцію помилок передачі MAC PDU методом гібридного автоматичного запиту повторної передачі – HARQ.

При цьому функцію, що реалізує метод HARQ, умовно відносять до підрівня Low-MAC, інші-до High-MAC.

Фізичний рівень

На фізичному рівні виконуються функції, перераховані в таблиці 1.1, при цьому частина функцій (в залежності від опції поділу) умовно відносять до підрівня Low-PHY, Інші – до High-PHY.

Таблиця 1.1

Функціонал фізичних рівнів

Функції на фізичному рівні		Відносимо до LOW-PHY		
		7-1	7-2	7-3
Downlink - DL	Обчислювання CRC			
	Канальне кодування (channel coding)			
	Перемежування та вирівняюванн швидкості			
	Скрелбліювання			X
	Модуляція		X	X
	Розподілення потоків		X	X
	Прекодування		X	X
	Розподілення по ресурсним елементам	X	X	X
	Обернене швидке перетворення Фур’є	X	X	X
	Вставка циклічного префіксу (CP)	X	X	X
Uplink - UL	Видалення циклічного префіксу (CP)	X	X	X
	Швидке перетворення Фур’є	X	X	X
	Об’єднання даних з ресурсних елементів (RE de-mapping)	X	X	X
	Об’єднання даних декількох потоків (layers de-mapping)		X	X
	Демодуляція		X	X
	Дескрембліювання			X
	Відновлення премежованих даних (rate de-matching)			
	Канальне декодування (channel de-coding)			

1.3 Сценарії міграції від LTE до 5G

Найбільш затребувана операторами зв'язку стратегія розгортання 5G буде мабуть полягати в тривалому спільному існуванні мереж 4-го і 5-го поколінь

при максимальному перевикористанні інфраструктури, вузлів і мережевих елементів. Це дозволить операторам модернізувати свої мережі не революційно, а поступально (еволюційно), з одного боку зберігаючи інвестиції в будівництво мереж LTE і широку зону радіопокриття мереж LTE, з іншого - надавати клієнтам нові, що базуються на 5G послуги в тих зонах, де ці послуги затребувані

З метою реалізації даної стратегії 3GPP запропонував кілька можливих сценаріїв (або опцій) впровадження 4G (LTE) і 5G (NR). Всі опції розділені на дві групи:

- Standalone – (SA) - передбачають використання тільки однієї технології радіодоступу (LTE або NR-New Radio);
- Non-Standalone (NSA) – використання і LTE і NR, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі.

Для розгортання 5G за сценарієм Non-Standalone необхідна модернізація базових станцій мережі 4G-LTE до рівня eLTE (або enhanced LTE) з метою підтримки розширеного функціоналу взаємодії з базовими станціями 5G (gNb). Стандартизація даного сценарію (в рамках релізу 15 3GPP) була завершена в січні 2018р.

Важливим аспектом для реалізації Non-Standalone опцій є концепція подвійного підключення (Dual Connectivity), специфікована 3GPP в релізі 12, і передбачає підключення призначених для користувача терміналів (UE) в стані RRC_CONNECTED одночасно до двох базових станцій (Master eNb і Secondary eNb). Ключова відмінність Dual Connectivity від агрегації частот полягає саме в підключенні до двох різних базових станцій, пов'язаних за допомогою X2 інтерфейсу, і знаходяться в загальному випадку на різних сайтах.

При цьому можливі дві схеми реалізації:

- split bearer - у цій схемі на PDCP рівні потік призначених для користувача даних (user plane) віртуального каналу розщеплюється на два підпотоки в напрямку Master eNb і Secondary eNb відповідно;

- switch bearer - у цій схемі потік даних користувача (User plane) може комутуватися або в напрямку Master eNb, або в напрямку Secondary eNb (без агрегації).

Реалізація Non-Standalone накладає додаткові вимоги до складності призначених для користувача терміналів (UE), включаючи забезпечення одночасної роботи двох модемів, збільшений розмір буфера прийому і додаткове навантаження на процесорні ресурси рівня PDCP для відновлення порядку проходження пакетів (у разі режиму MCG split bearer). Також потрібно відзначити, що для опцій 3, 4, 7, 8 вноситься додаткова затримка в передачу пакетів призначеного для користувача трафіку за рахунок використання інтерфейсу Xx.

Option 1 – являє собою реалізацію класичної виділеної мережі LTE на базі ядра EPC і базових станцій eNb (відповідно до 14-м або більш ранніми релізами 3gpp). Використовується в географічних зонах, де 5G сервіси не затребувані:

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- призначений для користувача термінал (UE) має підключення тільки до мережі радіодоступу E-UTRA.

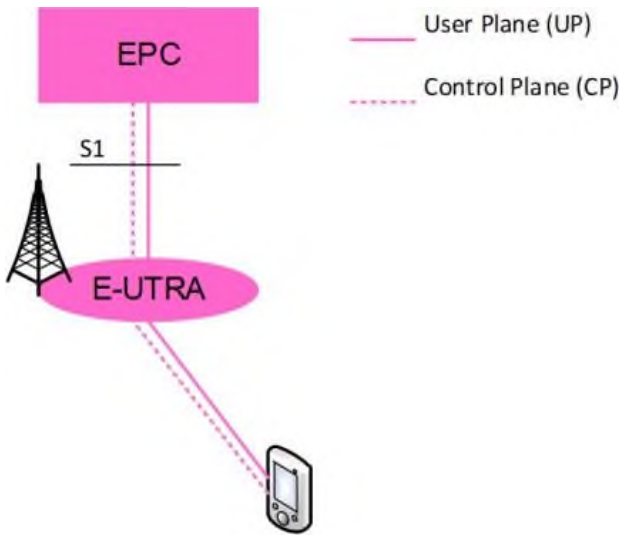


Рис. 1.5 Option 1

Option 5 – актуальна при новому будівництві виділеної мережі LTE (greenfield) з можливістю подальшої модернізації до комбінованої мережі 5G/LTE (Option 4/4A). Використовується ядро NGCN і модернізовані базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN ng-eNb:

- використовується ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);
- призначений для користувача термінал (UE) має підключення тільки до мережі радіодоступу E-UTRA.

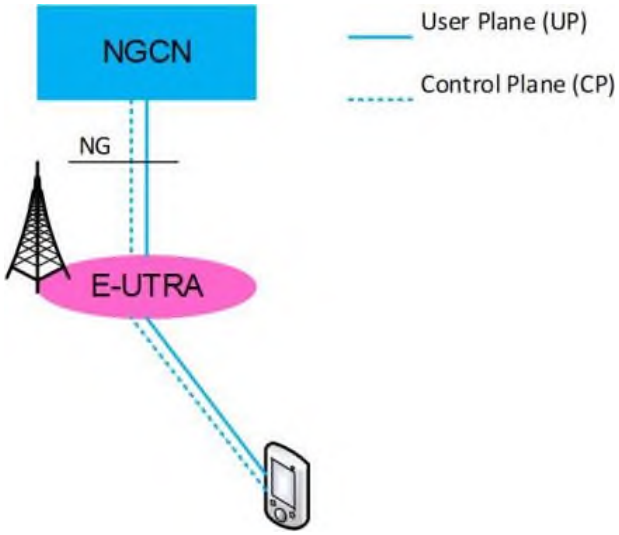


Рис. 1.6 Option 5

Option 2 – являє собою цільову фінальну архітектуру виділеної мережі 5G мережі на базі ядра мережі NGCN і базових станцій gNb. Використовується в географічних зонах, де мережі LTE відсутні і їх будівництво недоцільно.

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR

і E-UTRA;

- сигнальний трафік (Control Plane – CP) обробляється виключно на

eNb;

- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split

bearer) є eNb;

- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: EPC-Nb-UE і EPC-Nb-gNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і 5G User Plane.

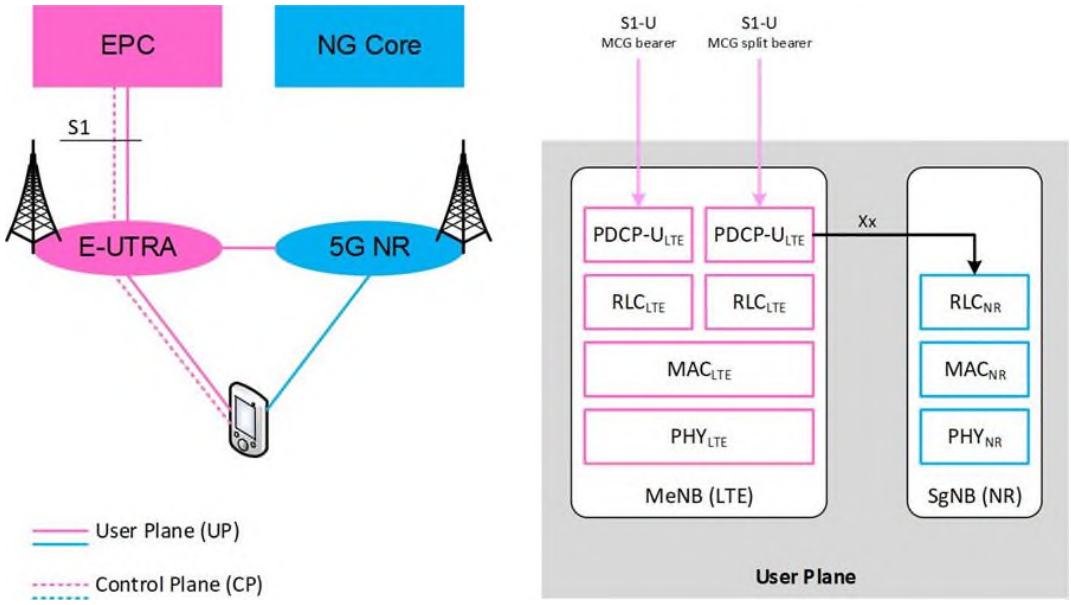


Рис. 1.7 Option 2

Option 6 – може використовуватися при будівництві виділеної мережі 5G, але на базі існуючого ядра мережі LTE (EPC), наприклад, при розгортанні тестових зон, або як проміжний етап на шляху до цільової архітектури 5G в географічних зонах, де мережі LTE відсутні і їх будівництво недоцільно (Option 2).

- використовується ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);

- призначений для користувача термінал (UE) має підключення тільки до мережі радіодоступу E-UTRA.

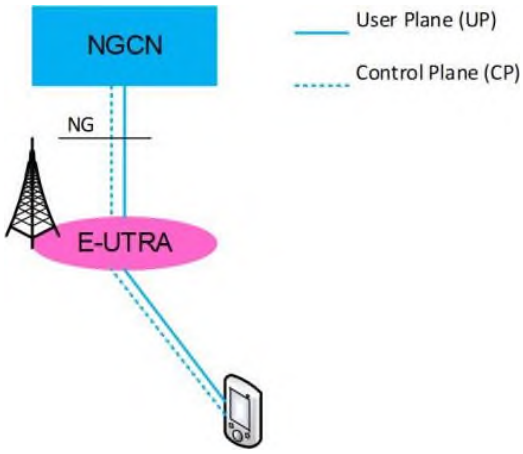


Рис. 1.8 Option 6

Option 3/3a – актуальна на ранніх етапах будівництва 5G (у вигляді точкового радіопокриття) в географічних зонах, де вже розгорнуті мережі 4G-LTE. Не вимагає впровадження ядра NGCN (використовується ядро мережі LTE – EPC). Базується на технології подвійного підключення. В якості і нтерфейсу, що зв'язує мережі радіодоступу E-UTRA / NR і EPC, і переносить користувальницький (User Plane) і сигнальний (Control Plane) трафік використовується S1. Якірною точкою для термінації S1-MME є базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN (eNb).

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane – CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split bearer) є eNb;
- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: EPC - eNb-UE і EPC-eNb-gNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і 5G User Plane.

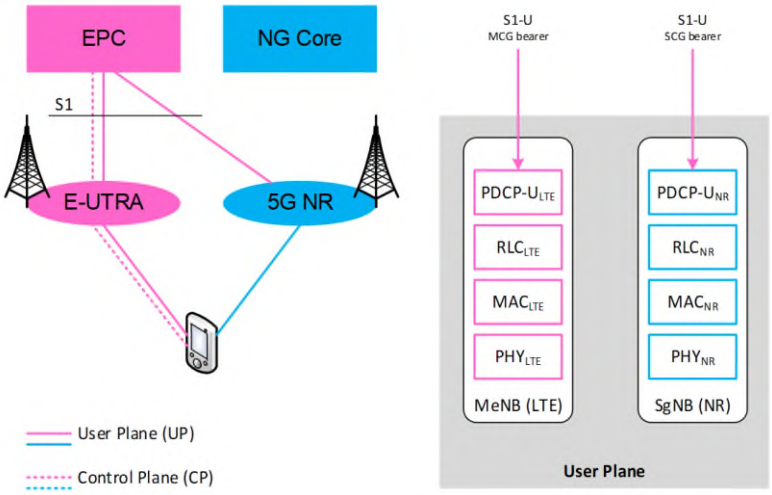


Рис. 1.9 Option 3

- використовується ядро мережі LTE (EPC);

- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split bearer) є EPC;
- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: EPC- eNb-UE і EPC-gNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

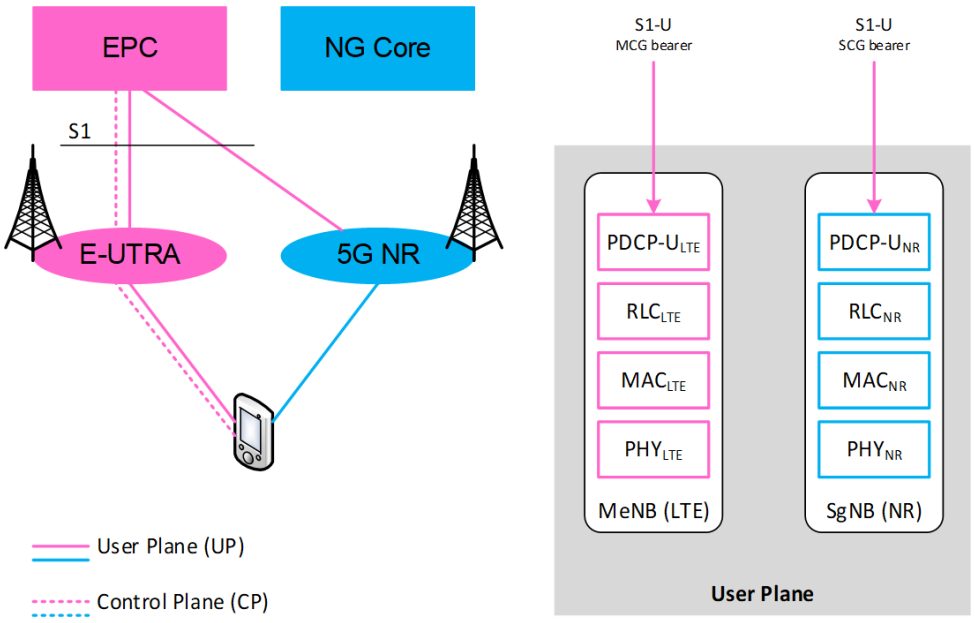


Рис. 1.10 Option 3a

Option 8/8a – може використовуватися як проміжний етап на шляху до цільової архітектури 5g / LTE від Option 3/3a до Option 4/4A. на відміну від Option3/3a якірною точкою для термінації S1-MME є базові станції мережі

радіодоступу NR (gNb).

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split

bearer) є gNb;

- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: EPC- gNb-UE і EPC-gNb-eNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і LTE User Plane.

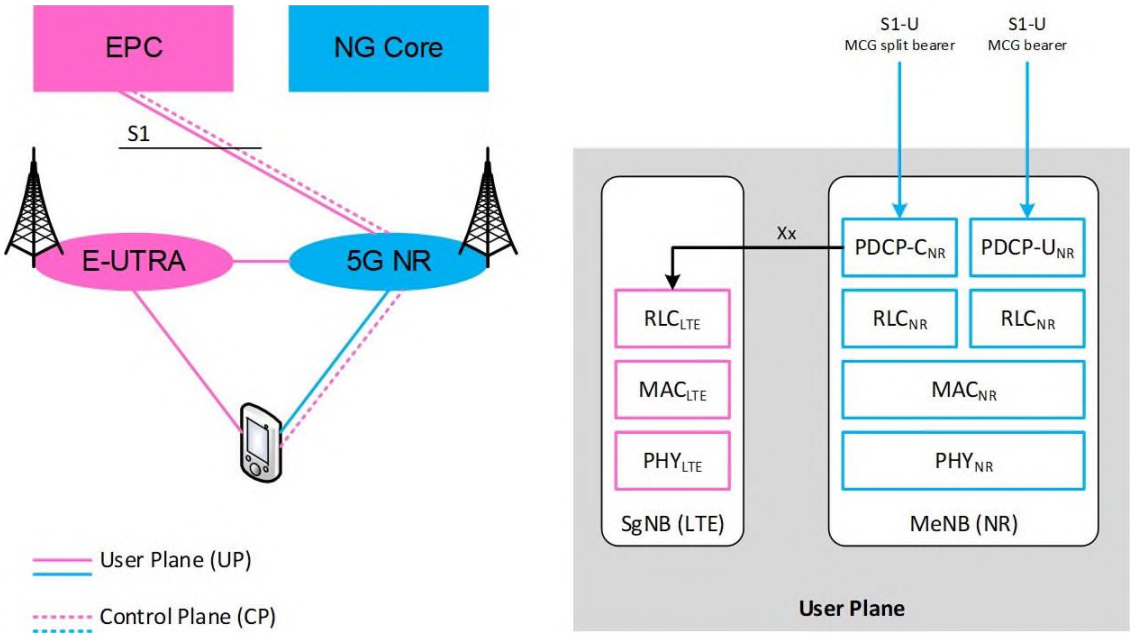


Рис 1.11 Option 8

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G

NR і E-UTRA;

- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split bearer) є EPC;
- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: EPC- gNb-UE і EPC-eNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

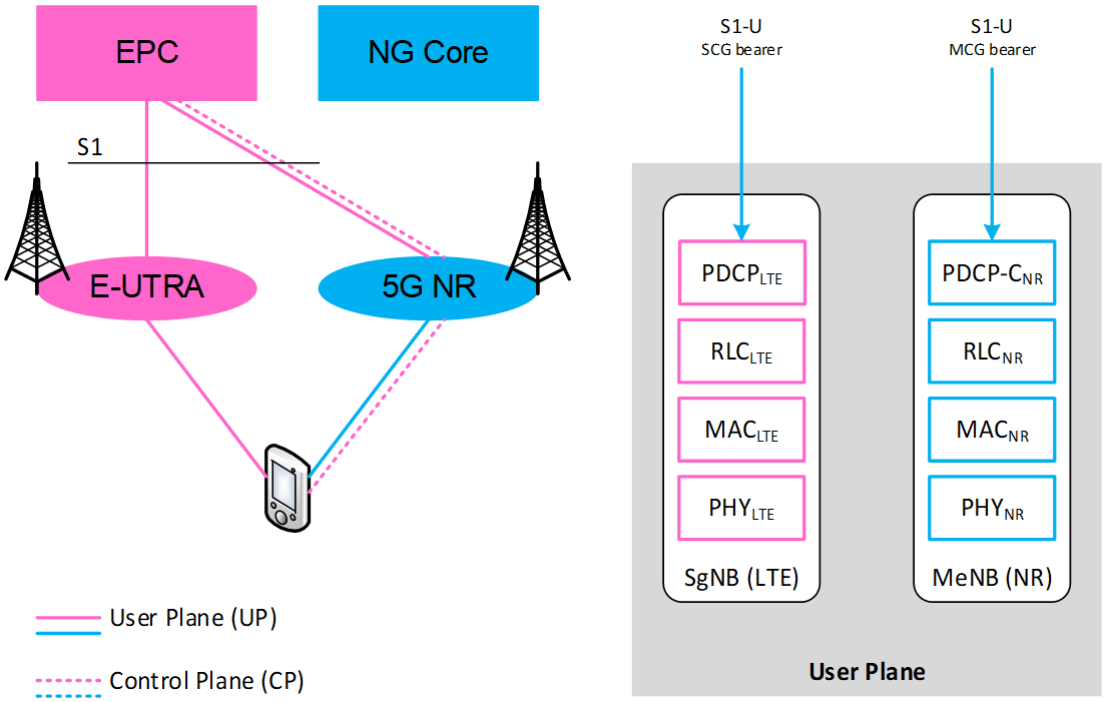


Рис. 1.12 Option 8a

Option 4/4a – являє собою цільову фінальну архітектуру комбінованої мережі 5G / LTE. Використовується технологія подвійного підключення. Вимагає впровадження ядра NGCN і модернізації базових станцій мережі LTE до ng-eNb. Базується на технології подвійного підключення. В якості інтерфейсу, що зв'язує мережі радіодоступу E-UTRA / NR і NGCN, і переносить користувальницький (User Plane) і сигнальний (Control Plane) трафік використовується NG. Якірною точкою для термінації NG-C є базові станції мережі радіодоступу NR (gNb).

- використовується ядро мережі 5G (NGCN);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split bearer) є gNb;
- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: NGCN- gNb-UE и NGCN-gNb-eNb-UE;

інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і LTE User Plane.

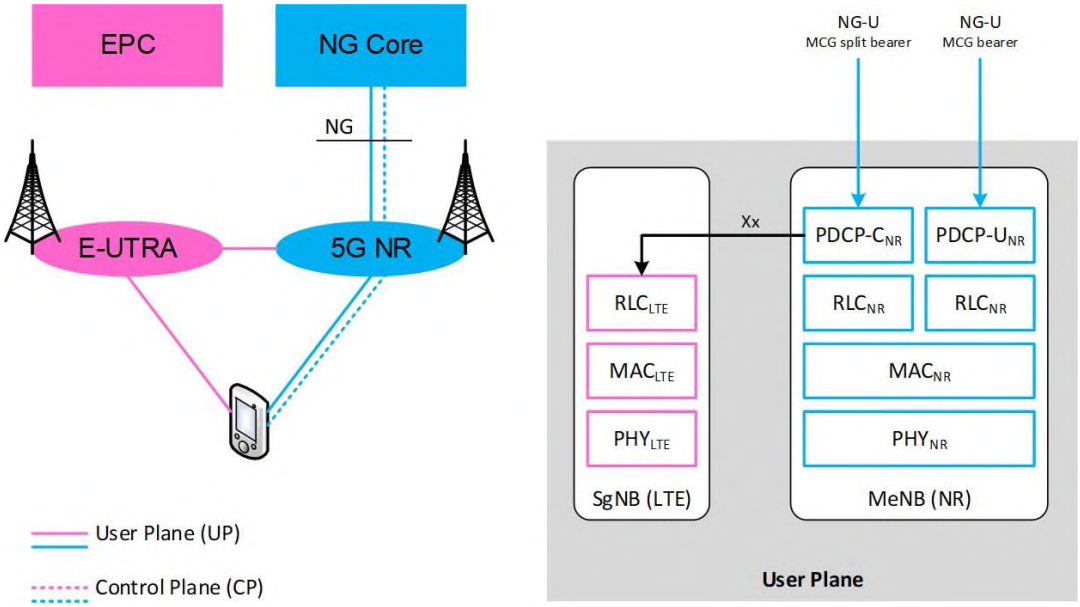


Рис. 1.13 Option 4

- використовується ядро мережі 5G (NGCN);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP

split bearer) є NGCN;

- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: NGCN- gNb-UE и NGCN-eNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

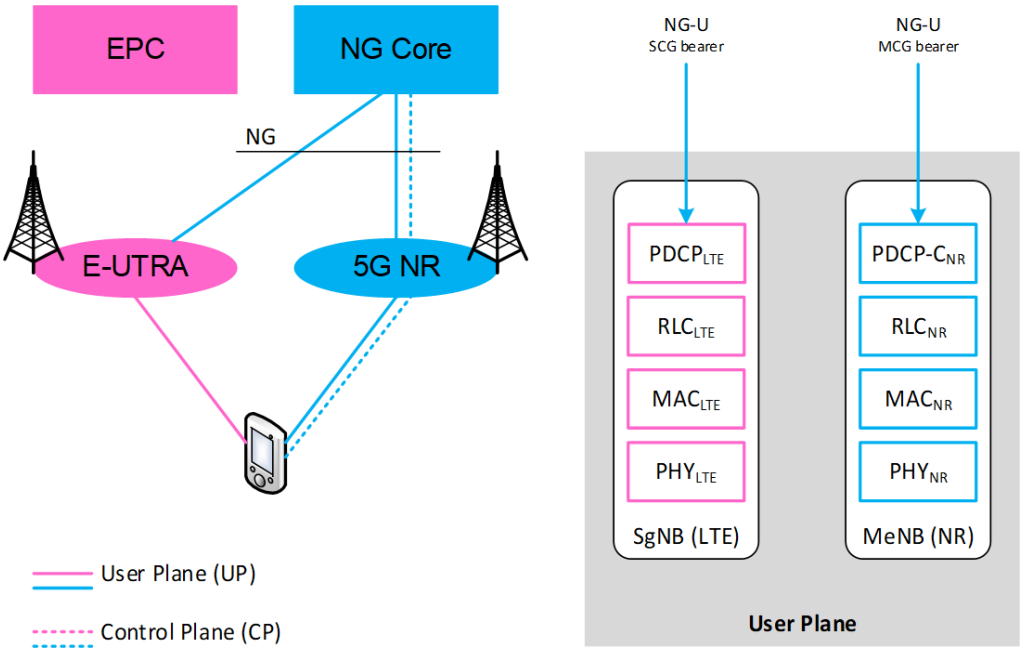


Рис. 1.14 Option 4a

Option 7/7a – може використовуватися як проміжний етап на шляху доцільової архітектури 5g/LTE Option 4/4A, на відміну від якої якірною точкою для термінації NG-C є базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN (eNb).

- використовується ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR

і E-UTRA;

- сигнальний трафік (Control Plane – CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split bearer) є eNb;

- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: NGCN- eNb-UE и NGCN-eNb-gNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і 5G User Plane.

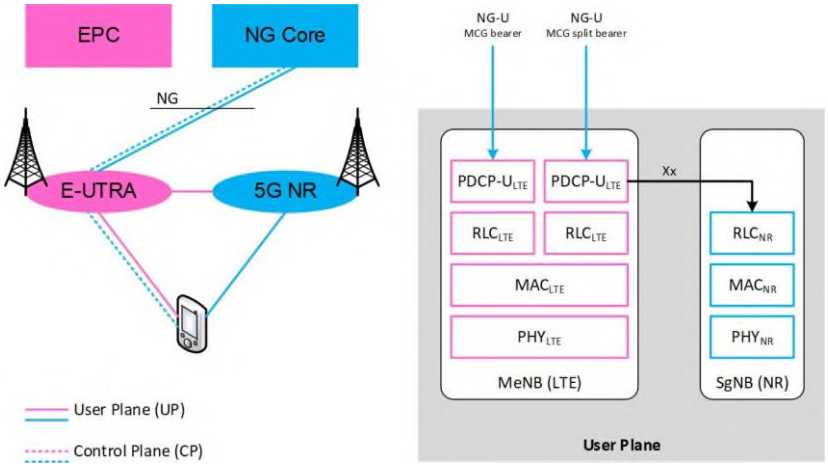


Рис. 1.15 Option 7

- використовується ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);
- користувальницький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення користувацького трафіку (User Plane - UP split bearer) є EPC;
- користувальницький трафік передається за двома маршрутами: NGCN- eNb-UE і NGCN-gNb-UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane [1].

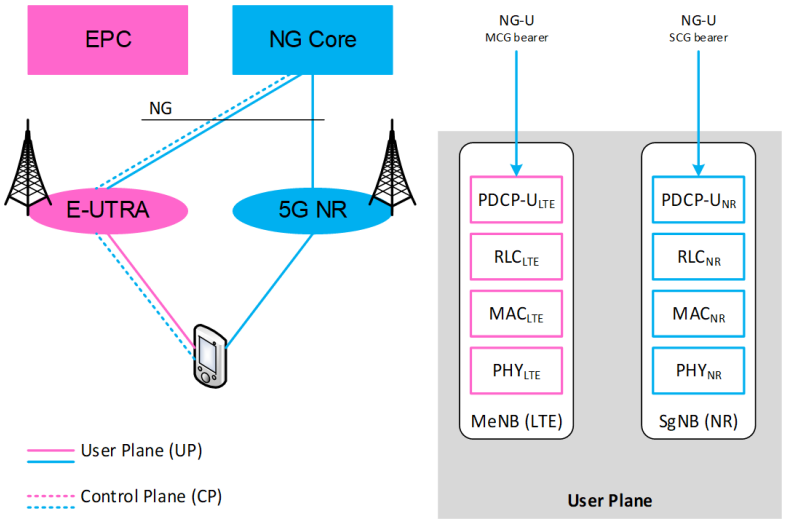


Рис. 1.16 Option 7a

2 ТЕХНОЛОГІЯ SFN (SINGLE FREQUENCY NETWORK)

2.1 Огляд технології SFN (Single Frequency Network).

Технологія SFN (Single Frequency Network) вперше була застосована для бездротових мереж LTE, найбільшого поширення набула при будівництві закритих indoor-систем. Таких як тунелі метрополітену, офісні будівлі, концертні зали. Перевагою даної технології є об'єднання декількох фізичних сот в одну логічну соту (рис.2.1). Дане об'єднання розширює межі стільника, зменшуючи кількість хендоверів і знижує навантаження на сигнальні канали CCCH (Common Control Channel).

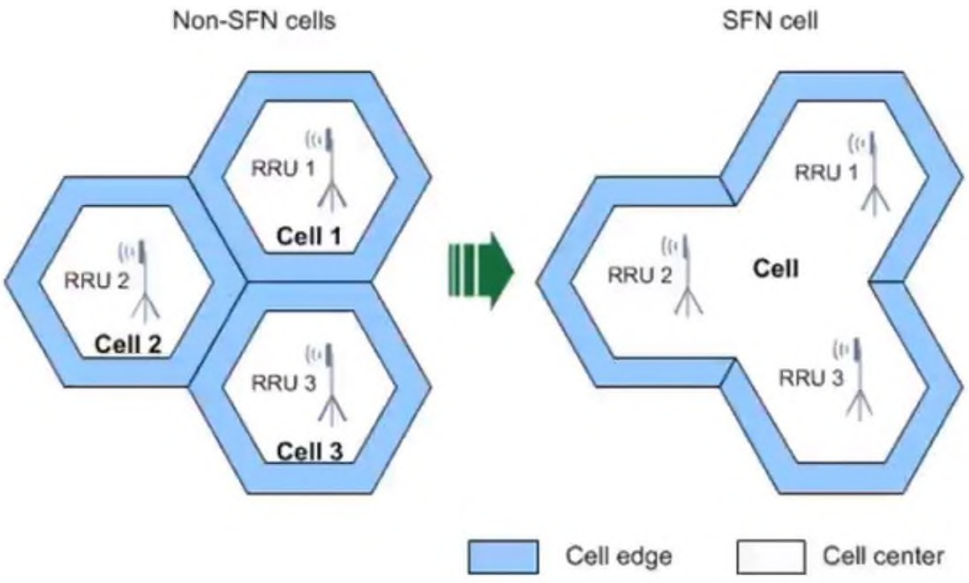


Рис. 2.1 Об'єднання сот в SFN соту

Найбільшого поширення технологія SFN повинна придбати при будівництві мереж п'ятого покоління. Зі збільшенням частоти мовлення знижується зона обслуговування, якщо в міських умовах межа LTE стільника L2600 знаходиться в межах 500-700 метрів, то для 5G g3500 ця відстань

зменшується до 300-400 метрів. А для стільника міліметрового діапазону (mm-Wave Cell) відстань зменшується до 50-100 метрів.

До плюсів технології SFN можна віднести:

- розширення фізичних кордонів стільника;
- простота планування сусідніх комірок;
- поліпшення таких характеристик як CSI SINR, SSB RSRP;
- знижене навантаження на сигнальні канали;
- зменшення кількості хендовер запитів;
- підвищення середньої швидкості завантаження в межах одного стільника.

До мінусів технології SFN можна віднести:

- складність оптимізації;
- складне планування, що вимагає більш детального розрахунку перед будівництвом;
- низька стійкість до зовнішніх перешкод, в порівнянні з non-SFN сотою.

2.2 Small SFN-Cell (mm-Wave)

Найбільше поширення SFN стільники отримають при освоєнні mm-Wave технології операторами мобільного зв'язку. Стільники mm-Wave не вимагають великих енергітичних витрат, тому можна застосовувати RRU модулі з низьким споживанням потужності - pRRU.

Підключення pRRU не вимагає витрат на прокладку оптичних кабелів, кабелів живлення. Підключення відбувається за технологією PoE від віддалено встановленого RHUB. До одного RHUB підключається до 6 pRRU, які можуть формувати одну логічну соту (рис. 2.2)

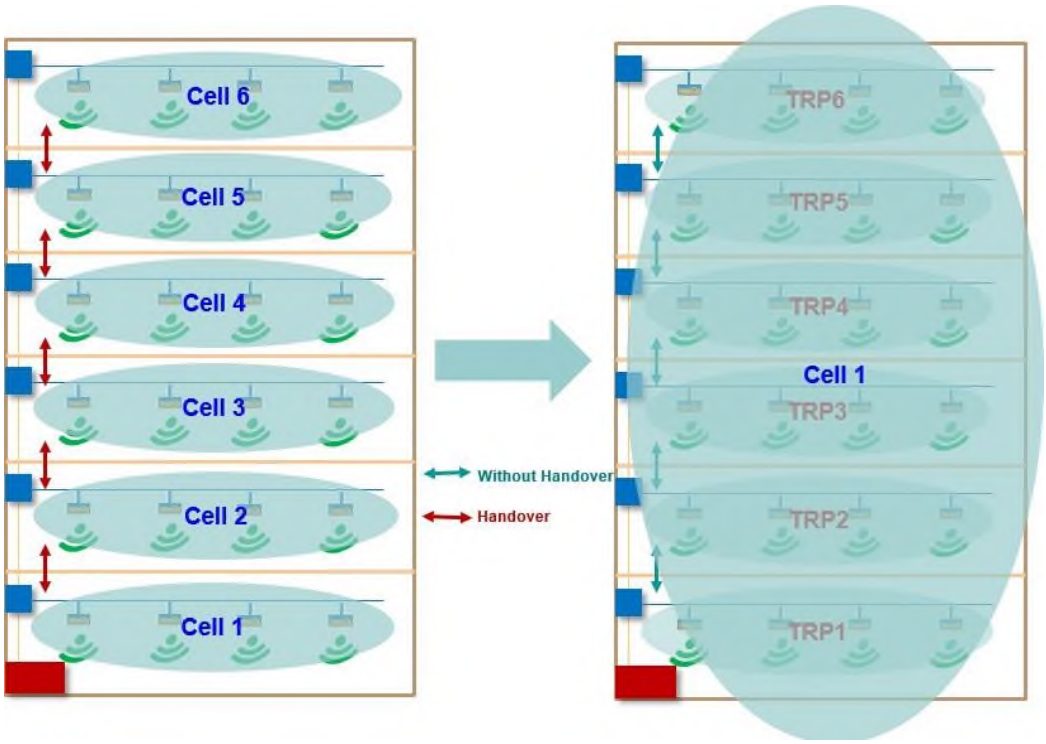


Рис. 2.2 Об'єднання pRRU в SFN соту

2.3 Алгоритм хендовера Macro Cell – Small Cell

Для підвищення пропускної здатності мережі, пропоную використовувати Smart HO, на основі SSB Utilization (використання SSB ресурсів в смузі пропускання). Користувацький термінал має два положення RRC State — Idle / Connected. Для економії ресурсів заряду акумулятора всі термінали в Idle Mode закріплені за Macro сотою. При активному завантаженні даних, Smart HO Switch робить аналіз використаного SSB ресурсу за проміжок часу і приймає рішення, чи здійснювати хендовер на соту mm-Wave або ж залишити термінал на макросо ті . (MML Example: MOD NRCELLALGOSWIRCH: NRSmartHOSwitch=YES; MOD NRCELLRELATION: NrCellID=xx; MCC=xx; MNC=xx; gNbID=xx; CellID=xx; SmartHOSwitchTimer=xx).

Таким чином ми задаємо час спрацьовування таймера для здійснення хендовера з макро стільника на соту mm-Wave. Так само варто враховувати, чи

є у макростільника сусідство з сотою mmWave, так як хендовер буде відбуватися без попередніх вимірювань рівня сигналу сусідньої комірки. Це збільшує швидкість здійснення InterFrequencyHO і знижує навантаження на транспортні інтерфейси gNodeB-NGCN (NextGenCoreNetwork) (рис. 2.3).

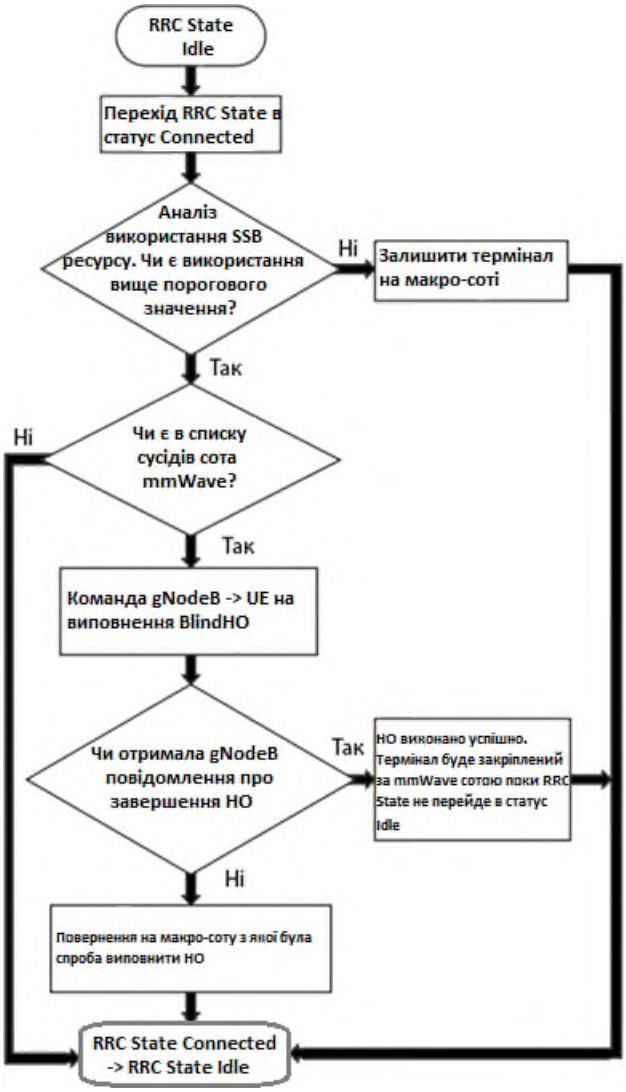


Рис. 2.3 Алгоритм хендоверу макро сота – mmWave сота

Принцип роботи алгоритму: термінал знаходиться в стані RRC State Idle. При активації завантаження даних RRC State переходить в стан Connected. SmartHO Algorithm аналізує використання SSB ресурсу за проміжок часу, заданий параметром SmartHOSwitchTimer=xx, якщо використання SSB ресурсу перевищує заданий поріг, gNodeB відправляє команду терміналу на здійснення

Blind Handover на соту mmWave. У команді Blind HO відправляється ідентифікатор соти, на яку повинен цілитися термінал: DL GARFCN (номер центральної частоти низхідної лінії), PCI (фізичний ідентифікатор соти 0-1008), DL SSB Bandwidth (ширина смуги низхідної лінії), GNODEB ID (ідентифікатор базової станції 5G), Local Cell ID (локальний ідентифікатор соти всередині базової станції. Під час здійснення HO NGCN (NextGenCore Network) відправляє повідомлення на цільову базову станцію з інформацією про термінал який повинен закріпитися за сотою цієї базової станції. Після завершення хендоверу термінал відправляє повідомлення NRHOComplete, після цього можна вважати, що хендовер був виконаний успішно.

В такому випадку термінал успішно закріпився за новою сотою mm-Wave, RRC State не переходив в статус Idle, передача даних здійснювалася без втрат у швидкості завантаження. Для економії заряду акумулятору терміналу, після завершення завантаження файлу, розривається RRC і переходить в статус Idle, термінал здійснює повернення на макро-соту. Дані налаштування повинні розподілити навантаження між Macro-Cell і Small-Cell. Об'ємний трафік проходить четез Small-Cell, де ширина смуги в 5 разів більше ніж у Macro- Cell. А трафік з безперервним сервісом, такий як VoIP, потокова передача відео, трафік з низьким споживанням SSB ресурсів залишається на макро- соті.

У разі якщо термінал не зміг закріпитися за новою сотою, UE робить повернення на стару макро-соту і відправляє повідомлення NRHOFail. У повідомленні міститься інформація про те, куди термінал здійснював хендовер, в якому TA (Time Advanced) знаходився, чи здійснював InterFrequency вимірювання, а так само інформацію про GPS координати, якщо на gNodeB активований A-GPS Switch. У такому випадку термінал розірвав активне з'єднання і потрібно відновити RRC State в стан Connected. Після повідомлення NRHOFail gNodeB не буде здійснювати спроби хендовера з макро-стільники на mmWave соту для безперервної активної сесії.

Після завершення завантаження-вивантаження даних термінал переходить в стан RRC State Idle. У статусі Idle термінал не виконує хендоверів,

а використовує Cell Reselect для закріплення на новій соті. Періодично надсилає повідомлення LAC Update для підтвердження, що термінал знаходиться в конкретній зоні обслуговування NGCN.

Пріоритетність налаштувань мережі віддається макро-соті, так як при постійному моніторингу рівнів сигналу сусідньої комірки підвищується споживання ресурсів акумулятора. У такому випадку Small-Cell є засобом розвантаження для макро-соти і застосування доцільно виключно в місцях з підвищеним споживанням трафіку, таких як концертні зали, стадіони, майданчики фестевалей. Приклад MML команд для додавання сусідства Macro Cell-Small Cell наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

MML приклад додавання сусідньої соти Macro Cell – mmWave Cell

MML команда	Опис команди
MOD NRCELLALGOSWITCH: NRSmartHOSwitch=YES, InterRatServiceMobilitySw=MOBILITY_TO_GUTRAN_SW-1;	Активація функціоналу Smart Ho Algorithm і підтримки мобільності для мережі GUTRAN.
MOD NRINTERRATHOPARAM: NrCellId=xx, HoModeSwitch=GUTRAN_HO_SWITCH1&GUTRAN_REDIRECT_SWITCH1,InterRatHoTriggerEventType=EVENT_B2;	Вибір алгоритму хендовера і реселект параметрів для Idle пристроїв.
MOD NRCELLQCIBEARER: NrCellId=xx, Qci=9, MeasCommonParamGroupId=1;	Параметр задає поріг рівня сигналу для повторного вибору комірки.

Продовженя таблиці 2.1

MML команда	Опис команди
ADD GNBMEASCOMMPARAMGRP: MeasCommonParamGroupId=1, MeasurementEventType=INTER_RAT _HO_EVENT_A2, RsrpThreshold=123, Hysteresis=2, TimeToTrigger=320MS;	Встановлюємо значення InterRAT трешхолду, при якому буде спрацьовувати алгоритм НО.
MOD NRCELLGUTRANNFREQ: NrCellId=xx, DlEarfcn=xx, FreqSpecificOffset=DB0, ConnFreqPriority=1;	Зміна пріоритету для сусідньої комірки.
MOD NRCELLRELATION: NrCellID=xx; MCC=xx; MNC=xx; gNbID=xx; CellID=xx; SmartHOSwitchTimer=xx	Задаємо таймер SmartHOSwitch для конкретної Small-cell.

3. ТЕХНОЛОГІЯ «КООПЕРАТИВНА РЕТРАНСЛЯЦІЯ»

3.1 Визначення поняття «Кооперативні системи»

У традиційних системах бездротового зв'язку пристрої індивідуально спілкуються з асоційованим вузлом приймача і навпаки. Однак інформація передана з вихідного вузла, часто може бути підслухана не тільки вузлом приймача, але і їх сусідніми вузлами. Традиційно сигнали, отримані сусідні ми вузлами, розглядаються як перешкоди, і розроблено багато методів для зменшення його впливу. Однак така «перешкода» фактично містить корисну інформацію для прийому сигналу. Таким чином, в кооперативній ретрансляції така інформація передається до місця призначення оточуючим вузлом(ами), відомим як ретранслятор(и), щоб поліпшити роботу прийому в пункті призначення.

Взагалі кажучи, кооперативна система є системою зв'язку,яка використовує ретрансляційні вузли в мережі для підвищення продуктивності передачі. Через різні способи розгортання та використання ретрансляції існує велика кількість різних типів кооперативних систем. Як приклад, рис.3.1 ілюструє кооперативний сценарій в інфраструктурній бездротовій локальній мережі, де ретранслятор використовується для поліпшення зв'язку для передачі даних від вихідного вузла до асоційованої точки доступу (AP – Access Point).

Інший приклад кооперативних комунікаційних додатків у стільникових мережах показаний на рис. 3.2, стільникові мережі загалом страждають від трьох основних проблем: перешкод, обмеженого покриття та нестачі потужності. Для вирішення цих проблем пропонується, що зв'язок між базовою станцією (BS – Base Station) і мобільною станцією (MS – Mobile Station) може здійснюватися не тільки безпосередньо, а також (або виключно) через ретрансляційну станцію (RS – Relay Station). Таке розгортання може принести значні переваги, що може підвищити продуктивність користувачів, які мають

обмежений потенціал (нижня ліва комірка на рис. 3.2); обмежена охопленням (верхня ліва комірка) або обмежена інтерференцією (середня права клітина).

Взагалі кажучи, кооперативна система є системою зв'язку, яка використовує ретрансляційні вузли в мережі для підвищення продуктивності передачі. Через різні способи розгортання та використання ретрансляції існує велика кількість різних типів кооперативних систем. Як приклад, рис.3.1 ілюструє кооперативний сценарій в інфраструктурній бездротовій локальній мережі, де ретранслятор використовується для поліпшення зв'язку для передачі даних від вихідного вузла до асоційованої точки доступу (AP – Access Point).

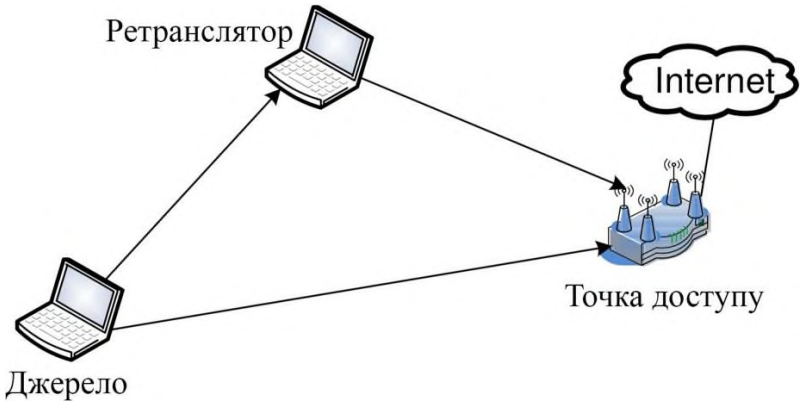


Рис.3.1 Застосування кооперативної ретрансляції у мережах WLAN

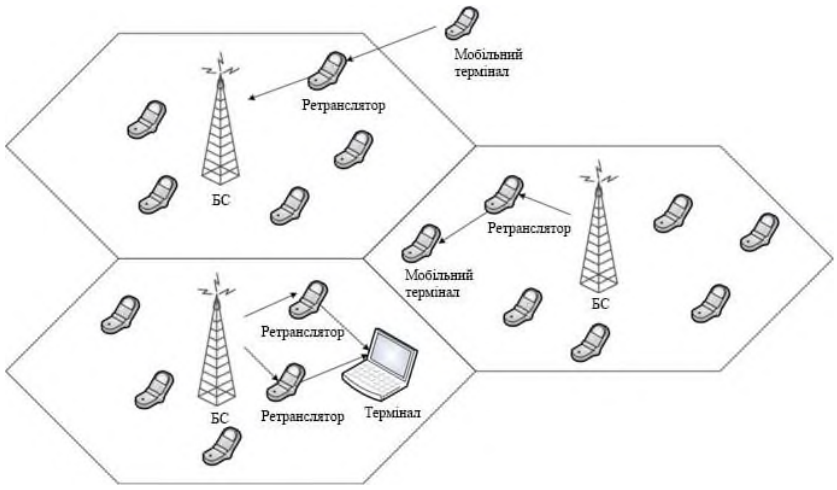


Рис.3.2 Застосування кооперативної ретрансляції в стільниковому зв’язку

3.2 Застосування кооперативної ретрансляції

Ключовою ідеєю у співпраці з користувачем є розподіл ресурсів між кількома вузлами мережі. Причиною вивчення взаємодії з користувачами є те, що готовність до спільного використання потужності та обчислення з сусідніми вузлами може призвести до економії загальних ресурсів мережі.

Когнітивний радіодоступ (рис. 3.3) – це нова технологія, яка допомагає в ефективному використанні дефіцитного радіочастотного спектру. Основною частиною когнітивної радіо системи є спектральне зондування, яке здійснюється з використанням зондуючих вузлів, які визначають вільні смуги спектру, які не використовуються первинними користувачами. У складному багатопроменевому затухаючому середовищі або в ситуаціях, коли сенсорний вузол затінений, стає важко ідентифікувати всі доступні смуги спектру. Це називається проблемою прихованого терміналу, і його можна зменшити за допомогою кооперативного методу зондування спектра, який використовує реалізацію кооперативних зон зчитування для виявлення доступності вільних смуг спектру. Цей метод має переваги максимального відношення сигнал/шум прийнятого сигналу для виявлення присутності або відсутності сигналу первинного користувача [13].

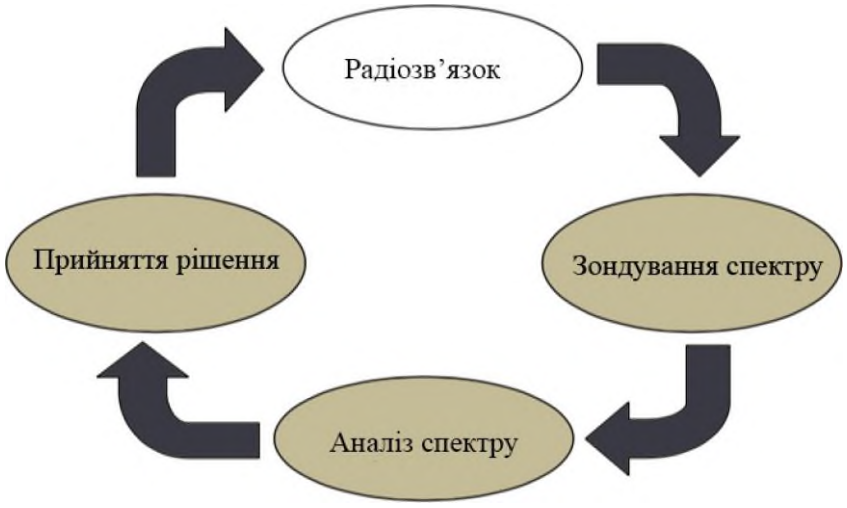


Рис. 3.3 Когнітивний радіодоступ

На рис. 3.4 наведений приклад самоорганізуючої системи [15] без будь-якої заздалегідь встановленої інфраструктури або централізованого контролера. У цій мережі випадково розподілені вузли утворюють тимчасово функціональну мережу, яка підтримує з'єднання вузлів.

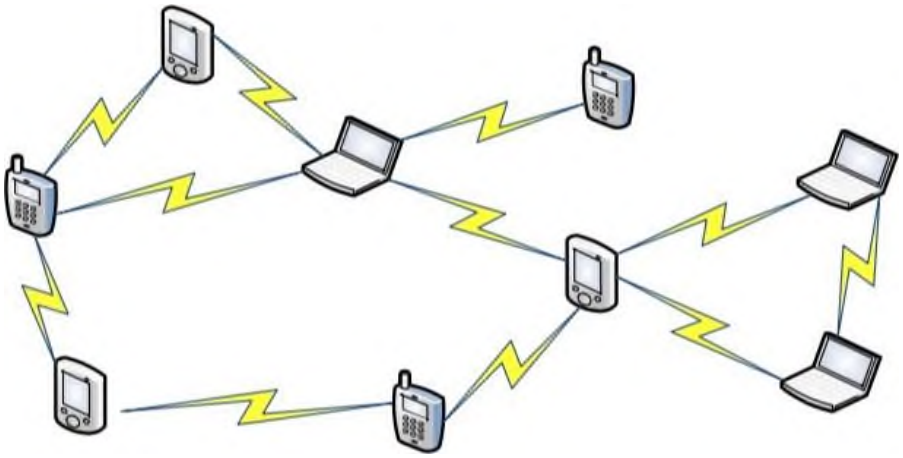


Рис. 3.4 Самоорганізуюча система Ad-Hoc

Такі мережі були успішно розгорнуті для військових комунікацій, а потенційні цивільні додатки включають комерційне та освітнє використання, управління катастрофами, мережу дорожніх транспортних засобів тощо.

Бездротові сенсорні мережі (WSN) придбали всесвітню увагу в останні роки. Мережа складається з просторово розподілених автономних датчиків для спільного контролю фізичних або екологічних умов, таких як температура, звук, вібрація, тиск, рух або забруднюючі речовини.

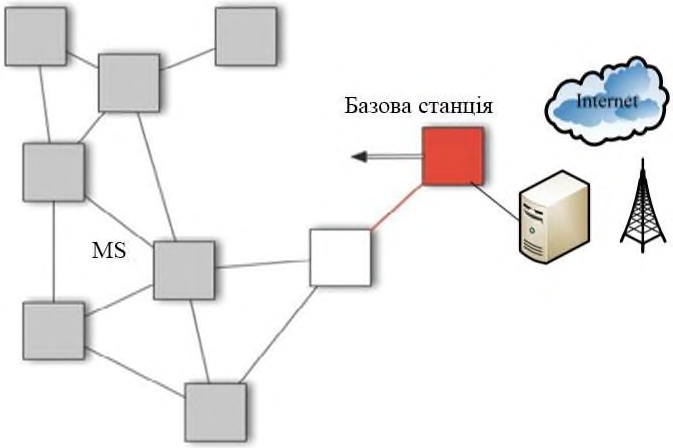


Рис. 3.5 Бездротові системи WSN

Ці датчики невеликі, з обмеженою обробкою процесора, обчислювальними ресурсами, пам'яттю та потужністю. Для боротьби з цими обмеженнями ці датчики обладнані бездротовими інтерфейсами, які вони могли б використовувати для спілкування один з одним, а також для спільної передачі даних на базову станцію [14].

3.3 Переваги кооперативної ретрансляції

Кооперативне рознесення: кооперативна ретрансляція використовує простір і часові розбіжності в бездротових мережах розподіленим способом для поліпшення продуктивності системи. Переваги кооперативного рознесення можуть бути переведені на знижену потужність передачі, більш високу пропускну здатність, кращу надійність передачі або більше покриття мережі**.**

Збалансована якість обслуговування (QoS): у традиційних системах користувачі, що знаходяться на межі покриття мережі або в затінених зонах з поганими умовами зв’язку, можуть страждати від обмеження потужності. Тим не менш, кооперативна ретрансляція може бути використана для подолання цієї невідповідності і, отже, надання більш збалансованого QoS для всіх користувачів.

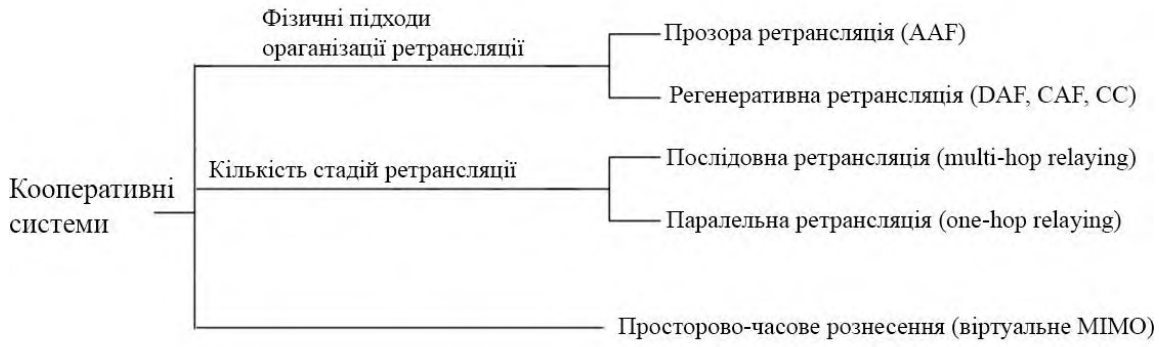
Розгортання мережі без інфраструктури: кооперативна ретрансляція полегшує впровадження системи, яка не має доступної інфраструктури для ро згортання. Наприклад, в районах, що постраждали від стихійного лиха, ретрансляція може бути використана для полегшення зв'язку, навіть якщо стільникові системи або інші існуючі системи зв'язку не працюють.

Підвищення енергоефективності та продовження терміну служби мережі: кооперативна передача також використовується для підвищення енергоефективності та продовження терміну служби мереж, складених з акумуляторних вузлів, наприклад, датчиків у WSN (Wireless Sensor Network). Було показано, що кооперативні схеми передачі з кількома вузлами спільного

використання можуть значно поліпшити тривалість життя мережі за рахунок зменшення навантажень транспортного трафіку вузлів передачі [27, 28].

3.4 Класифікація кооперативних систем

З точки зору впровадження, кооперативні системи можна класифікувати за різними способами використання ретрансляції. Тут ми перерахуємо кілька факторів, які впливають на реалізацію конкретної кооперативної системи, як



показано на рис. 3.6

Рис. 3.6 Класифікація кооперативних систем

По-перше, одним з найважливіших параметрів в кооперативних системах є вибір методів ретрансляції на фізичному рівні. Існують дві основні категорії ретрансляційних підходів, тобто прозора і регенеративна ретрансляція. Amplify and Forward (AAF) є прозорим (нерегенеративним), що означає, що ретранслятор не декодує дані з сигналу, отриманого від прямого зв'язку [30]. На відміну від AAF, ретрансляційний вузол в Decode and Forward (DAF), який належить до регенеративної ретрансляції, декодує отриманий пакет, а потім перекодує інформацію і пересилає її до місця призначення. Існують також інші методи регенеративної ретрансляції, такі як Compress and Forward (CAF) [30] і кодована співпраця (Coded Cooperation) [31]. Підхід CAF, забезпечує баланс між регенеративними та нерегенеративними методами. Кодована співпраця - це метод, який інтегрує співпрацю в кодування каналів.

По-друге, вибір кількості етапів ретрансляції дуже важливий для

розробників системи. Таким чином, ретранслятори можуть працювати або послідовно, або паралельно. З одного боку, збільшення кількості послідовних ретрансляційних вузлів зменшує втрату траєкторії по ходу кожної передачі. З іншого боку, збільшення кількості паралельних вузлів ретрансляції збільшує по тенційні розширення різноманітності.

По-третє, її можна взагалі відрізняти, якщо співпраця є односторонньою або двосторонньою. Як правило, розміщення ретрансляційного вузла між вихідним і кінцевим вузлом називається підтримкою ретрансляції або односторонньої ретрансляції. Підтримуюча ретрансляція також може бути розширена до кооперативної ретрансляції (двосторонньої), де принаймні два кооперативні вузли є відповідними ретрансляторами один для одного, щоб одно часно підвищити надійність зв'язку.

Іншим важливим фактором є те, чи можуть декілька ретрансляторів працювати одночасно з обробкою простору-часу. У традиційній ретрансляції, кілька ретрансляторів працюють в послідовному або паралельному режимі для передачі інформації від вихідного вузла до місця призначення, але не можуть передавати одночасно. У процесі ретрансляції просторово-часової обробки розподілене розгортання декількох вузлів використовується для одночасного оброблення простору-часу, утворюючи віртуальну систему (MIMO).

3.5 Стратегії «Підсилення та передача» (Amplify and Forward (AAF)) та «Декодування та передача» (Decode and Forward (DAF))

Це простий кооперативний метод сигналізації, де кожен користувач отримує шумну версію сигналу, переданого його партнером, підсилює його і повторно передає на базову станцію. База отримує дві незалежні версії сигналу і об'єднує їх, щоб прийняти кращі рішення щодо виявлення інформації.

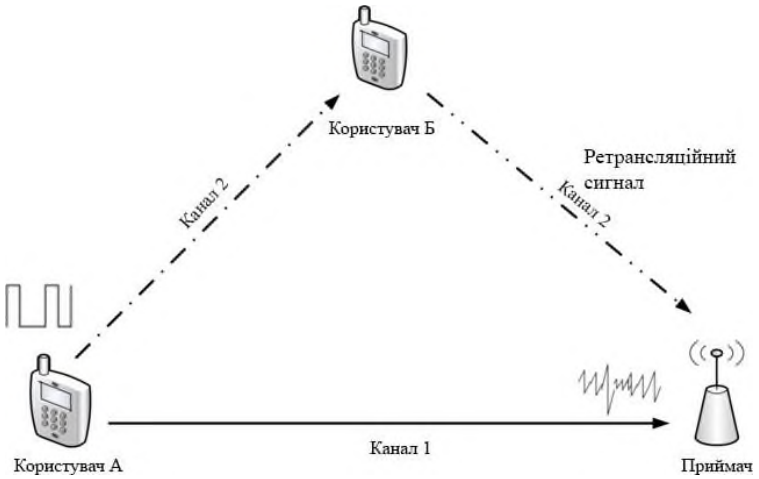


Рис. 3.7 Схема ретрансляції Amplify and Forward

Основний недолік цього методу полягає в тому, що шум, що міститься в сигналі, також посилюється і заважає декодувати повідомлення, коли затримка часу, викликана ретранслятором, повинна бути мінімізована або коли є обмежений час для обчислення. Ампліфікація вхідного сигналу використовується блочно, що може розглядатися як множення з коефіцієнтом посилення (β), яке нормалізує отриману потужність.

Ця стратегія рис. 3.8 має на увазі, що ретрансляційна станція декодує прийнятий сигнал від вихідного вузла, повторно кодує його і пересилає його на станцію призначення. Це найкращій метод для обробки даних в ретрансляції, оскільки немає посиленого шуму в сигналі [17].

Сигнали можуть бути декодовані ретранслятором повністю. Це вимагає багато часу обчислень і пропускної здатності процесора. Код виправлення помилок на джерелі дозволяє виправити отримані помилки бітів на ретрансляційній станції. За відсутності цього блоку ретранслятор може виявляти помилки в прийнятому сигналі за допомогою контрольної суми.

Інша реалізація включає в себе декодування і повторне кодування символьного сигналу, щоб усунути затримку, викликану повним декодуванням і обробкою. Це також забезпечує ситуацію, коли ретранслятор має обмежену обчислювальну потужність або чутливі дані для передачі.

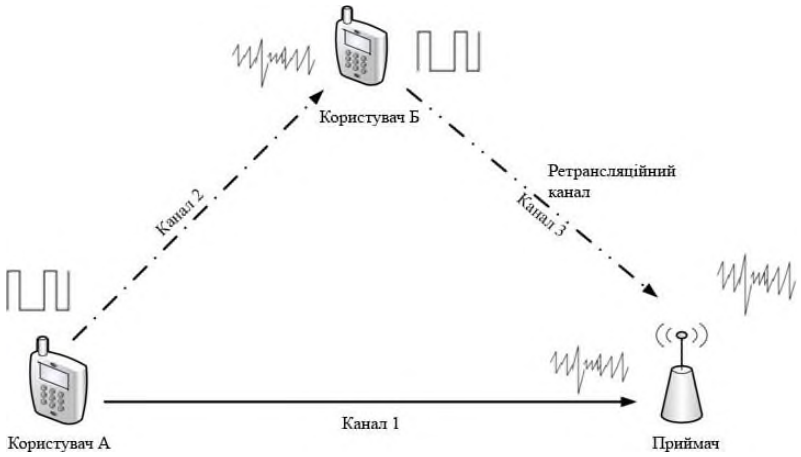


Рис. 3.8 Схема ретрансляції Decode and Forward

На рис. 3.9 зображено порівняння ефективності протоколів AAF і DAF. Результат показує, що про токол DAF завжди приводить до кращої продуктивності, ніж протокол AAF. Це пов'язано з наявністю підсиленого шуму в переданому сигналі в протоколі AAF, тому що цей протокол заснований на підсиленні сигналу ретранслятором перед передачею до приймача. Це негативно позначається на якості сигналу, отриманого в пункті призначення, внаслідок включення шуму в підсилений сигнал [12].

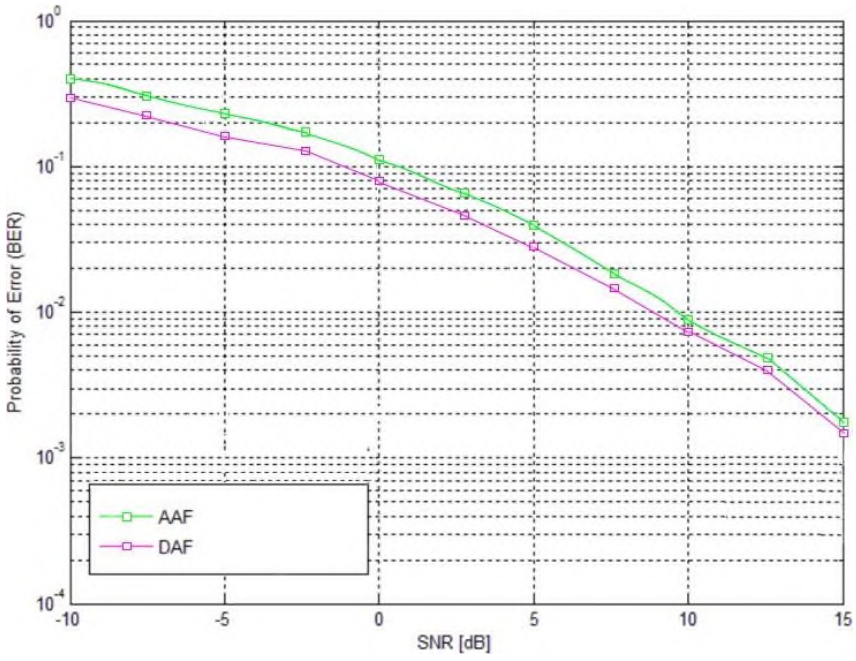


Рис. 3.9 Порівняння протоколів AAF та DAF.Результати використання прото- колу DAF є кращими, ніж при використанні AAF

3.6 Стратегія «Детектування та передача» (Detect-and-Forward (DtAF)).

У цій схемі сигнал демодулюється/детектується ретранслятором і передається в пункт призначення, але кодований по каналу сигнал не повністю декодується ретранслятором. Можна зробити висновок, що ця схема є менш складною в порівнянні з протоколом Decode and Forward (DAF). Це регенеративна схема, коли сигнал виявляється і повторно генерується перед передачею.

Протокол DtAF також називається фіксованим DAF, який забезпечує отримання кодування, а не набуття різноманітності і діє як код повторення [35]. DAF повністю декодує прийнятий сигнал, тоді як DtAF повторно передає символи без їх повного розшифрування, він просто досліджує отримані символи.

3.7 Стратегія «Вибіркове виявлення та передача» (Selective Detect-and- Forward)

У цій схемі ретранслятор виявляє джерело передачі, якщо виявлення не є помилкою, воно передається до місця призначення. Для правильного виявлення передачі джерела повинен бути певний механізм виявлення помилок, як циклічна резервна перевірка (CRC), реалізована на ретрансляторі. Така схема усуває проблему поширення помилок.

4 КООПЕРАТИВНА РЕТРАНСЛЯЦІЯ D2D

4.1 Кооперація в бездротових мережах

Еволюція звичайних бездротових комунікаційних мереж до 5G обумовлена бурхливим збільшенням числа бездротових мобільних пристроїв і послуг, а також їхнім попитом у будь-який час і повсюдного підключення, високу швидкість передачі даних, низьку затримку, високу енергоефективність покращення якості обслуговування. Щоб вирішити ці проблеми, 5G спирається на ключову технологію, як ретрансляція D2D рис. 4.1.

Підвищення енергоефективності та пропускної здатності мережі – основне завдання для майбутнього покоління стільникової мережі 5G. Мережі наступного покоління мають розумно використовувати частотні спекти, використовуючи таку технологію як технологія комунікації пристроїв Device-to-Device (D2D).



Рис. 4.1 Кооперація в бездротових мережах

4.2 Технологія Device-to-Device (D2D)

Ретрансляція D2D в стільникових мережах визначається як прямий або багатокористувацький зв'язок між двома діючими користувачами в ліцензова них або не ліцензова них або спільно використовува них смугах без якої-небудь чи обмеженої участі в базовій мережі. Кооперація між сусідніми пристроями надає операторам мережі значний потенціал для розвантаження трафіку базової мережі. Водночас він представляє нову комунікаційну парадигму для підтримки мереж за допомогою локалізації. Ретрансляція D2D є о дним з основних моментів 3GPP-Release 12 і 13, пристрої будуть взаємодіяти один з одним, працюючи в якості мобільних ретрансляторів і використовуючи свої переваги просторового рознесення [2].

Режим підсилення зв'язку D2D: У режимі підсилення ретрансляції D2D, стільникові та D2D зв'язки використовують одну і ту ж смугу спектру одночасно. Використовуючи просторове розмаїття. Одна з основних проблем поляга є в тому, як керувати перешкодами, спричиненими ретрансляцією D2D на стільникові мережі, і навпаки. Таке втручання можна пом'якшити шляхом впровадження передових схем розподілу спектра та управління потужністю.

Режим накладання зв'язку D2D: У ретрансляції D2D оператор виділяє стільникові ресурси (канали або тимчасові інтервали) до D2D-зв'язків, коли вимоги швидкості передачі даних стільникових зв'язків можуть бути задоволені. Такий підхід усуває проблеми взаємних перешкод між D2D пристроями і стільниковим зв'язком, але не може посилити фактор повторного використання спектру.

Незважаючи на те, що існуючі режими D2D зв'язку можуть покращити продуктивність D2D-зв'язків, забезпечуючи при цьому збереження або не дуже серйозну деградацію зв'язків між мережами.

Кооперативна ретрансляція [3] підтримає співпрацю між кількома користувачами. У контексті когнітивних радіомереж, вторинний користувач

може служити в якості ретранслятора для первинного користувача, щоб заробити більш високу можливість доступу до ліцензованої смуги спектру [4].

Основна ідея запропонованої структури полягає у виборі належних режимів D2D-передачі (накладання, підсилення або кооперативна ретрансляція) для всіх D2D-зв'язків. Оскільки як D2D-зв'язки, так і стільникові зв'язки можуть мати значне підвищення продуктивності за допомогою запропонованих сценаріїв, вони мають стимули до взаємодії один з одним. Більше того, ефективність запропонованої структури та двох базових сценаріїв порівнюються та аналізуються за допомогою чисельних результатів для різних видів кооперації.

Робота поділяється на дві категорії: розподіл спектра для підсилення та накладання зв'язку D2D і кооперативних ретрансляційних мереж. Існує безліч досліджень з управління спектром для підсилення або накладання ретрансляції D2D у стільникових мережах. Допплер вивчав керування сеансами та перешкодами в ретрансляції D2D як основу для мереж LTE-Advanced у роботі [5]. В роботі [6] автори вивчали оптимізацію загальної пропускної здатності однієї нижньої ланки D2D і однієї стільникового зв'язку через спільний спектр при виконанні обмежень ефективності спектру та обмежень потужності.

4.3 Ретрансляція D2D в мобільних мережах

У цьому варіанті D2D зв’язку ми розглянемо мережу, яка базується на технології OFDMA, яка може бути LTE-Advanced або WiMAX [9] та в майбутніх мережах 5G (рис. 4.2). Як показано на рис. 4.3, осередок стільникової мережі зосереджена навколо BS, яка працює над ліцензованою смугою спектрів. За допомогою модуляції OFDMA смуга спектру ділиться на ряд ортогональних каналів з однаковою смугою пропускання; час рівномірно ділиться на кадри OFDMA, і кожен кадр триває кілька мілісекунд. BS підтримує ретрансляцію D2D, керовані оператором [5, 7], що означає, що окрім стільникового зв'язку між мобільним користувачем і BS, два

мобільних користувача можуть безпосередньо спілкуватися один з одним через ретрансляцію D2D. Ми називаємо мобільного користувача в стільниковому зв'язку як стільниковий користувач (CU), а передавач і приймач D2D-зв'язку як D2D- передавач (DT) і приймач D2D (DR) відповідно. Зверніть увагу, що DT і DR в D2D-лінії за лишаються під контролем BS. Зокрема , BS відповідає за виявлення, встановлення / підтримку зв'язку та розподіл спектру для ретрансляції D2D [5].

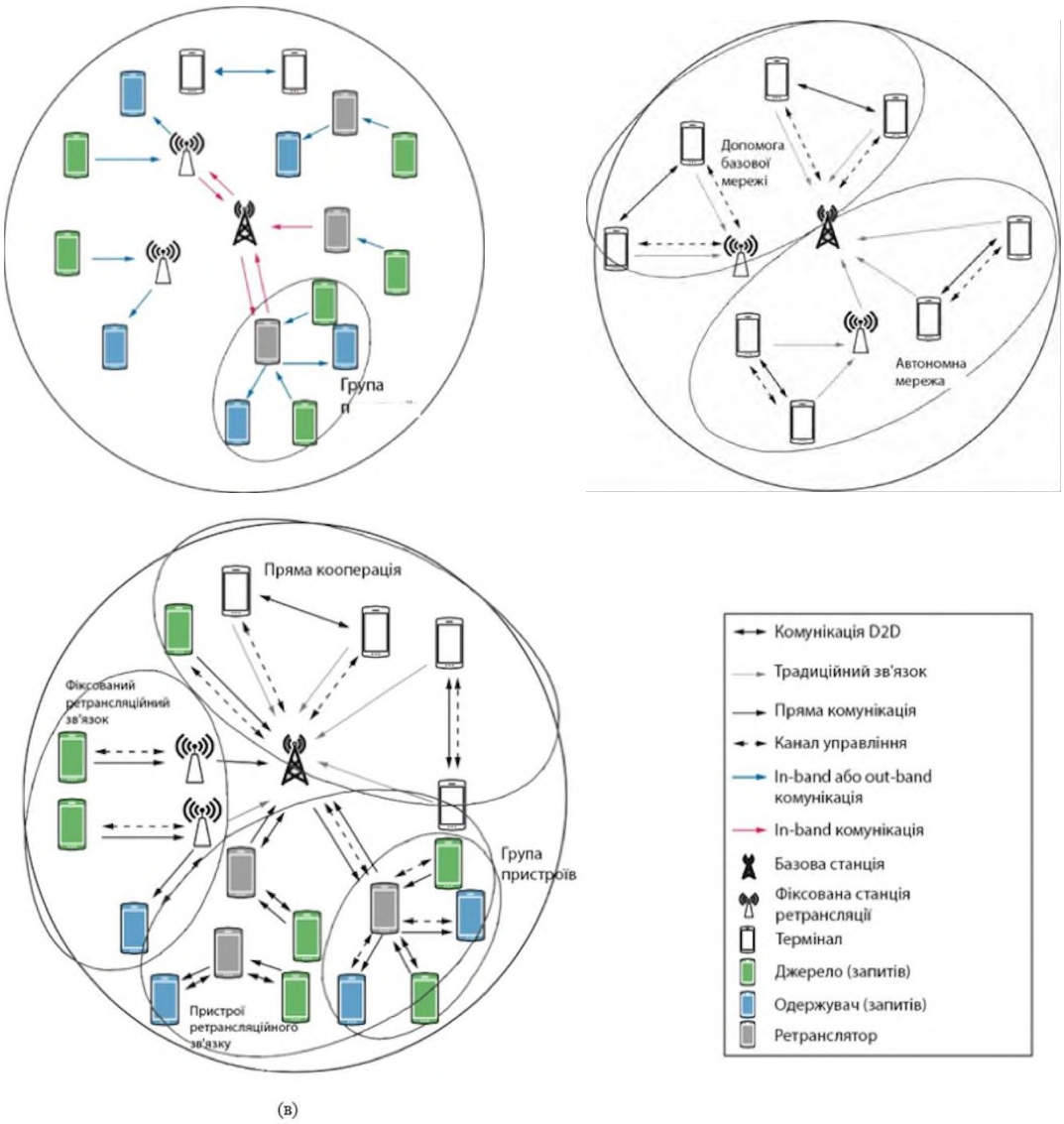


Рис 4.2 Кооперативні види зв'язку D2D в мережах 5G:

а) використання ліцензованого або не ліцензованого спектру.

б) Автономна мережа і базова

мережа

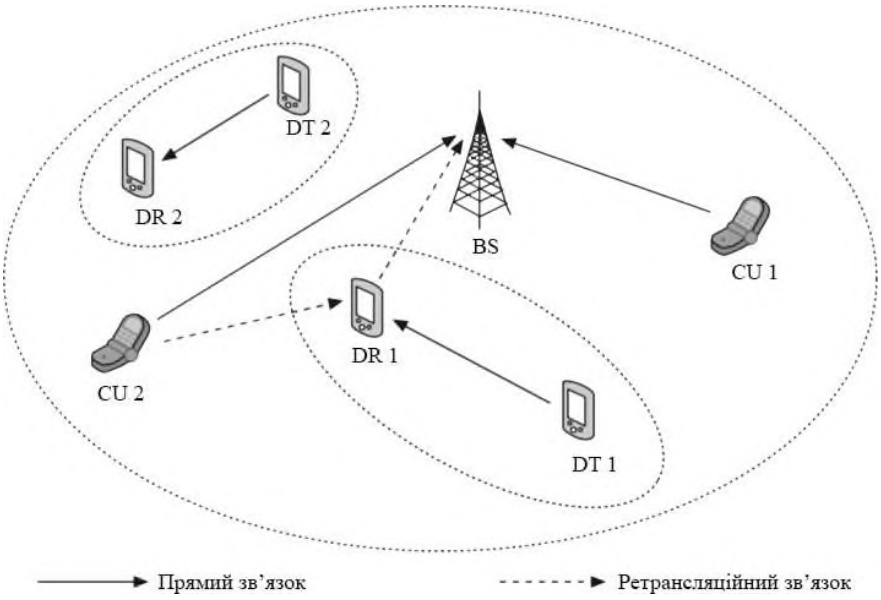


Рис. 4.3 Ретрансляція D2D у стільникових мережах

Припускаємо, що стільниковий зв'язок має мінімальну вимогу до швидкості передачі даних. А ретрансляція D2D навпаки немає мінімальної вимоги до швидкості передачі даних, оскільки вона може бути додатковою до стільникового зв'язку [7]. Без втрати спільності розглянемо випадок, в якому безліч D2D пристроїв використовують спектр декількох висхідних ліній зв'язку (від CU до BS) стільникових зв'язків. Під час кадру OFDMA:

- Кожна стільникова ланка заздалегідь призначена ортогональним каналом для своєї передачі даних;
- В одному каналі D2D дозволяється спільно використовувати канал стільникового зв'язку через режим підстилання або накладання, коли вимога швидкості передачі даних для стільникового зв'язку виконується.

Вибір режиму та розподіл спектру для D2D-зв'язків є істотними для покращення продуктивності як D2D зв'язків, так і стільникових зв'язків. Зокрема, вибір режиму означає, що BS вирішує, чи приймає ретрансляція D2D режим підсилення, режим накладання або режим спільної ретрансляції. Виділення спектра складається з призначення каналів для каналів D2D і керування потужністю передачі для всіх передавачів. Таким чином, вибір

режимів і виділення спектра для D2D-зв'язків з'єднуються разом і повинні розглядатися спільно. Більш того, BS вимагає інформацію стану каналу (CSI) декількох зв'язків на початку кожного кадру OFDMA з метою вибору спільного режиму і виділення спектра. В [6] введено операцію отримання CSI стільникових зв'язків і D2D-зв'язків на BS через зондування каналу і зворотний зв'язок.

4.4 Схема роботи ретрансляції D2D

Розглянемо використання ретрансляції D2D на прикладі схеми роботи вхідного дзвінка рис. 4.4:

- Коли передавальний і приймальний пристрій знаходяться досить близько, встановлюється зовнішня пряма лінія зв'язку (Сценарій А).
- Якщо якість прямого каналу зв'язку не задовольняє вимогам QoS, більше двох пристроїв кооперуються для встановлення зв'язку (Сценарій Б).

Якщо встановлення зв'язку неможливо без участі базової мережі, використо вується сценарій, який відповідає звичайному встановлення зв'язку

- Ретрансляція D2D може використовуватися для допомоги користувачам з поганими характеристиками зв'язку, щоб допомогти їх зв'язку з BS (Сценарій Г).
- Для сценаріїв А і Б кооперація здійснюється на «out-band спектрі» (не ліцензований спектр).
- Для сценаріїв В і Г, використовується звичайний частотний спектр (in-band), оскільки вони зачіпають базову мережу.
- Мережа 5G приймає запит на вхідний дзвінок від вихідного пристрою на основі SINR каналу, вимог QoS і потенційної доступності ретрансляційного пристрою.

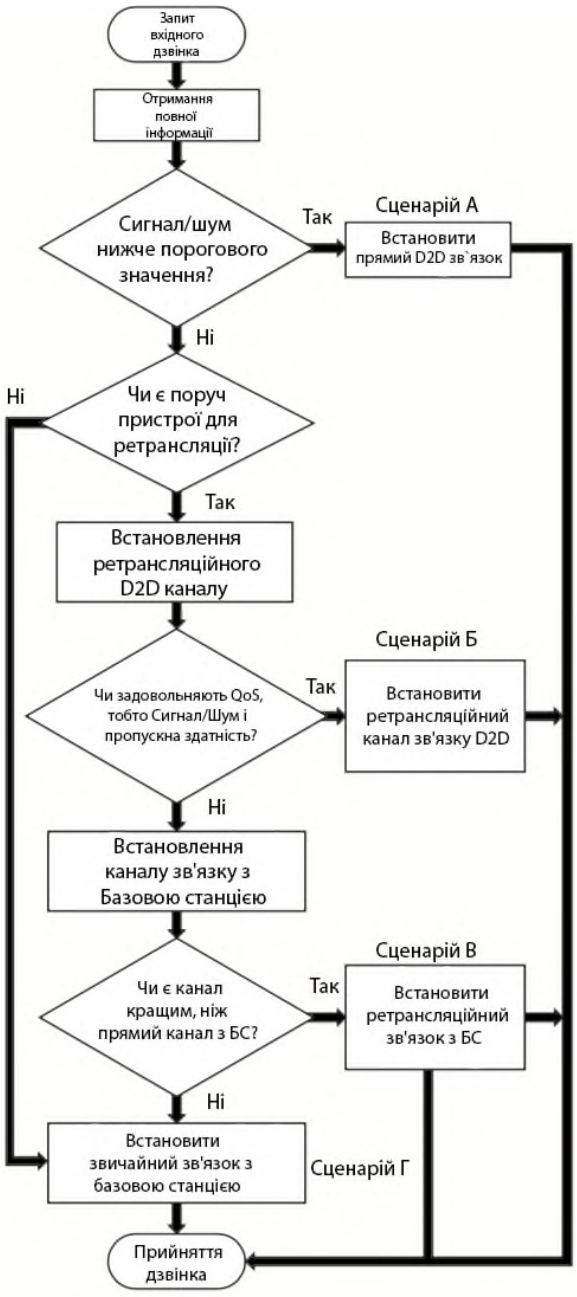


Рис. 4.4 Блок-схема запитів вхідного дзвінки при використанні прямого зв’язку та кооперативної ретрансляції

4.5 Кооперативний ретрансляційний режим

Взагалі, кооперативна ретрансляція є розширенням розподілених множинних вхідних комутацій [3], які можуть бути введені в ретрансляції D2D. Наприклад, DR може виконувати роль ретранслятора для CU, коли CU відповідає поганим умовам каналу. В свою чергу, BS виділяє виділений спектр

D2D-ланцюгу як винагороду, якщо доцільна кооперативна ретрансляція (вимога швидкості передачі стільникового зв'язку виконується завдяки ретрансляції). У запропонованій кооперативній базі зв'язку D2D, кооперативна ретрансляція переважно покращує продуктивність стільникового зв'язку, особливо зменшуючи коефіцієнт відключення.

В запропонованому кооперативному зв’язку режим ретрансляції D2D може бути розширеною опцією до режиму підсилення та накладання. Для підтримки кооперативного режиму ретрансляції, додатковий CSI не потрібно передавати BS через канал управління в порівнянні з режимом підсилення; таким чином, розмір накладних витрат над каналом управління для запропонованого D2D зв'язку є 2 MND байтами.

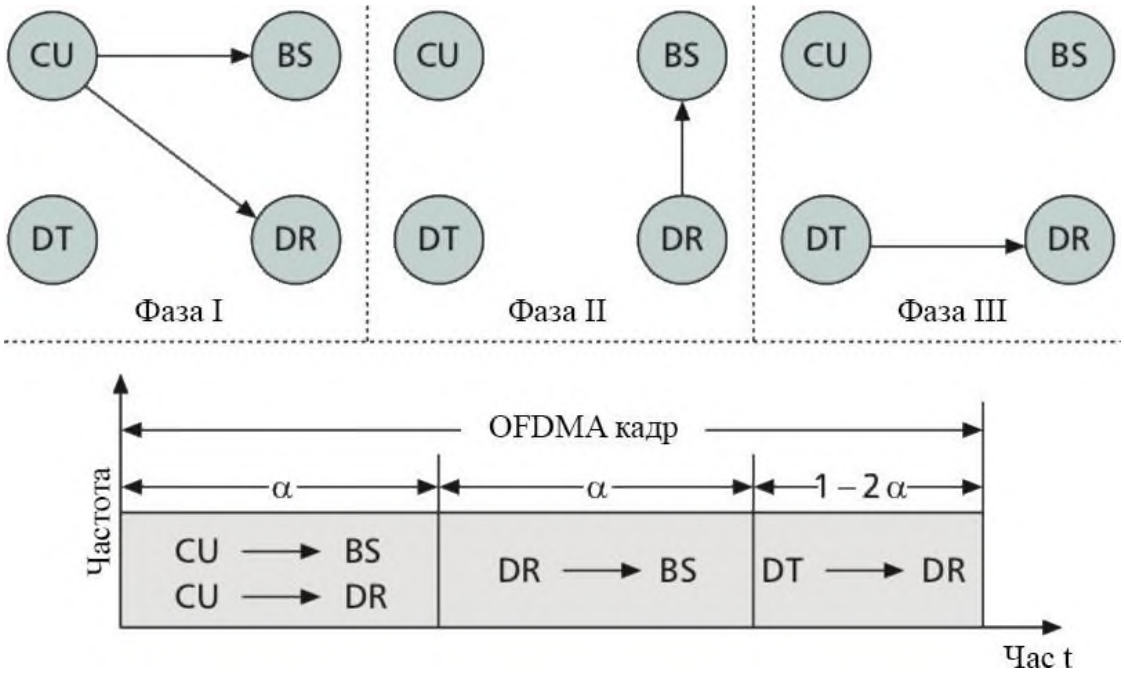


Рис. 4.5 Ілюстрація кооперативного ретрансляційного режиму

4.6 Підсумки моделювання

У комп'ютерному моделюванні осередок знаходиться в центрі BS з радіусом 500 м. Ми встановлюємо a = 0.4, що означає, що 20 відсотків часу одного кадру OFDMA буде зарезервовано для D2D-зв'язку, якщо буде прийнятий кооперативний режим ретранслятора. Ми припускаємо, що існує 10 активних зв'язків CU висхідної лінії зв'язку і ряд активних D2D-зв'язків, які рівномірно розподілені в діапазоні соти, а максимальна відстань між DT і DR в D2D пари становить 100 м. Кожен CU зв'язок є заздалегідь заданим ортогональним каналом, центрованим навколо 2000 МГц, а смуга пропускання каналу - 1 МГц. Максимальна потужність передачі CU, DT і DR дорівнює 100 мВт. Щільність потужності шуму встановлюється на –174 дБм / Гц. Вимоги до мінімальної швидкості для кожної лінії CU встановлено на рівні 2 Мб / с. Більш того, втрати шляху зв'язку між BS і вузлом (CU, DT або DR) і зв'язок між двома вузлами обчислюються на основі моделі COST-231 типу E (Wal-fish-Ikegami) і модель типу F (WINNER II B1) відповідно [9]. Модель каналу також розглядає великомасштабне затінення і дрібномасштабне затухання, модельоване як випадкова варіація ретрансляції. Для порівняння розглянемо три різні варіації:

- Кооперація D2D: Запропонована кооперативна ретрансляційна платформа D2D може адаптивно вирішувати режим D2D зв'язку D2D-зв'язку з трьох режимів: підсилення, накладання та кооперативна ретрансляція, і вибір потужності передачі.
- Підсилення D2D: основним типом зв'язку D2D прийняли тільки режим підсилення.
- Накладання D2D: накладення D2D зв'язку прийняли лише режим накладання.

Ми розглядаємо два показники продуктивності, коефіцієнт відключення CU-зв'язків (визначений раніше) і пропускну здатність D2D-зв'язків. Усі показники продуктивності вимірюються і усереднюються за повторними експериментами з різними конфігураціями випадкових місць CU, DT і DR, а

також умови затухання каналів, щоб імітувати мобільність користувачів. Далі ми змінюємо кількість пар D2D, щоб порівняти продуктивність різних варіантів для різних сценаріїв. На рис. 4.6 наведені криві відношень відключення CU-зв'язків, що використовують різні варіанти роботи, а також кількість пар D2D.

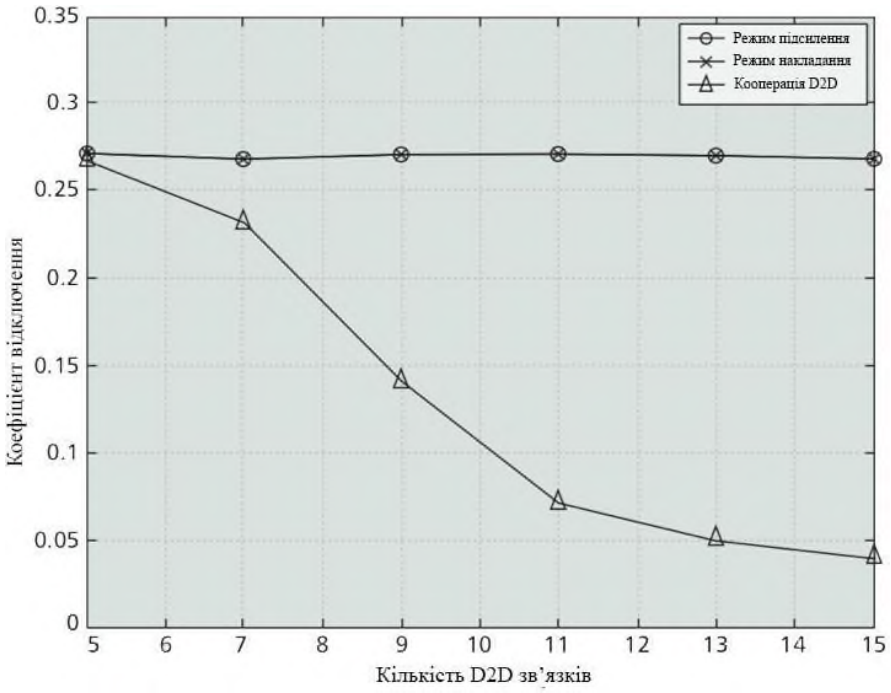


Рис. 4.6 Коефіцієнт відключення стільникових каналів за допомогою трьох класів і кількості каналів D2D

Виявляємо, що варіанти накладання не можуть зменшити відношення проміжків у зв'язках CU, оскільки вони функціонують на безперервній основі, тобто коефіцієнт відключення зв'язків CU не збільшується і не зменшується. У той же час, запропонована кооперативна система D2D забезпечує зв'язок D2D для надання допомоги при передачі даних зв'язку CU, що значно знижує коефіцієнт виходу з ладу CU. Крім того, коефіцієнт відключення зв'язків CU, використовуючи запропоновану структуру, зменшується, коли кількість пар D2D зростає, оскільки більше можливостей для виконання кооперативних ретрансляцій відбувається з більшою кількістю пар D2D. На рис. 4.7 представлена пропускна здатність D2D-зв'язків з використанням різних

варіантів ретрансляції у порівнянні з кількістю пар D2D. Виявлено, що завдяки адаптивному механізму вибору режиму пропонований варіант перевершує як основу, так і накладення в пропускній здатності D2D-зв'язків. Більш того, криві пропускної здатності D2D-зв'язків, використовуючи всі три варіанти, вдосконалені з більшою кількістю пар D2D.

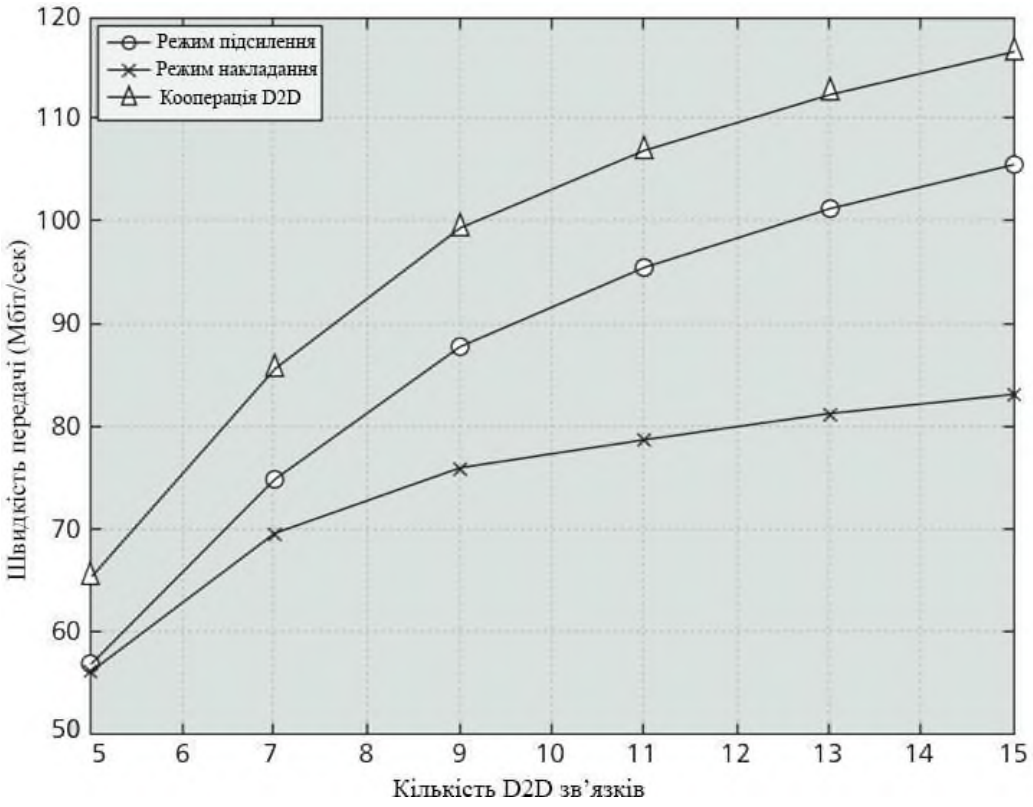


Рис. 4.7 Пропускна спроможність D2D ретрансляції за допомогою трьох видів комунікації та кількості D2D ретрансляторів

ВИСНОВКИ

На початку роботи була поставлена мета зробити огляд технологій для мережі п’ятого покоління. В роботі було розглянуто сценарії міграції мережі LTE до мережі 5G NR, зроблено огляд використання технології SFN та розроблено удосконалений алгоритм хендоверу, а також розглянуті варіанти використання кооперативних видів зв’язку.

В даній роботі, мета, що зазначена вище, була повністю досягнена. Було проведено детальний розгляд та аналіз стратегій ретрансляції та порівняння в традиційними методами побудови бездротових телекомунікаційних мереж. Розроблений алгоритм хендоверу на основі використанного SSB ресурсу. Наведені приклади підвищення пропускної здатності мережі за рахунок використання SFN стільників та розроблений загальний принцип роботи Smart HO Algorithm за рахунок якого буде відбуватись перерозподіл трафіку між Macro Cell та mm-Wave Cell. Наведені приклади MML скриптів для активації Smart HO Algorithm Switch на Cell рівні gNodeB. Описані сценарії використання алгоритму.

Зроблено огляд сценаріїв міграції EPC до NGCN, а також огляд сумісного використання мереж LTE та 5G NR.

Наведені загальні відомості про кооперативну ретрансляцію, її використання в різних мережах бездротового зв’язку та розглянуті позитивні і негативні сторони цього методу. Безумовно, кооперативна ретрансляція один із перспективних напрямків в розгортанні мереж стільникового зв’язку п’ятого покоління, локальних мереж WSN і самоорганізуючих систем Ad-Hoc. Використовуючи технологію «когнітивний радіодоступ» можна підвищувати якість ретрансляційного зв’язку, вирішити проблему «затіненого терміналу» та підвищити спектральну ефективність каналу зв’язку. З наведених рисунків видно, що використання різних методів ретрансляції дають свої переваги над традиційним зв’язком. Можна побачити, що ретрансляція, заснована на

стратегії DSTC дає переваги над прямим зв’язком майже в 2,5 рази. Наведені приклади сценаріїв підсилення і накладання ретрансляційного зв’язку для підвищення пропускної здатності та якості зв’язку. Кооперативна ретрансляція може співпрацювати як з ліцензованими смугами спектру, так і з неліцензованими. Локалізовані мережі можуть співпрацювати в неліцензованих смугах оминаючи базову мережу стільникового оператора. Цей метод розвантажує базову мережу оператора зв’язку, і як на слідок підвищує якість обслуговування и швидкості передачі даних.

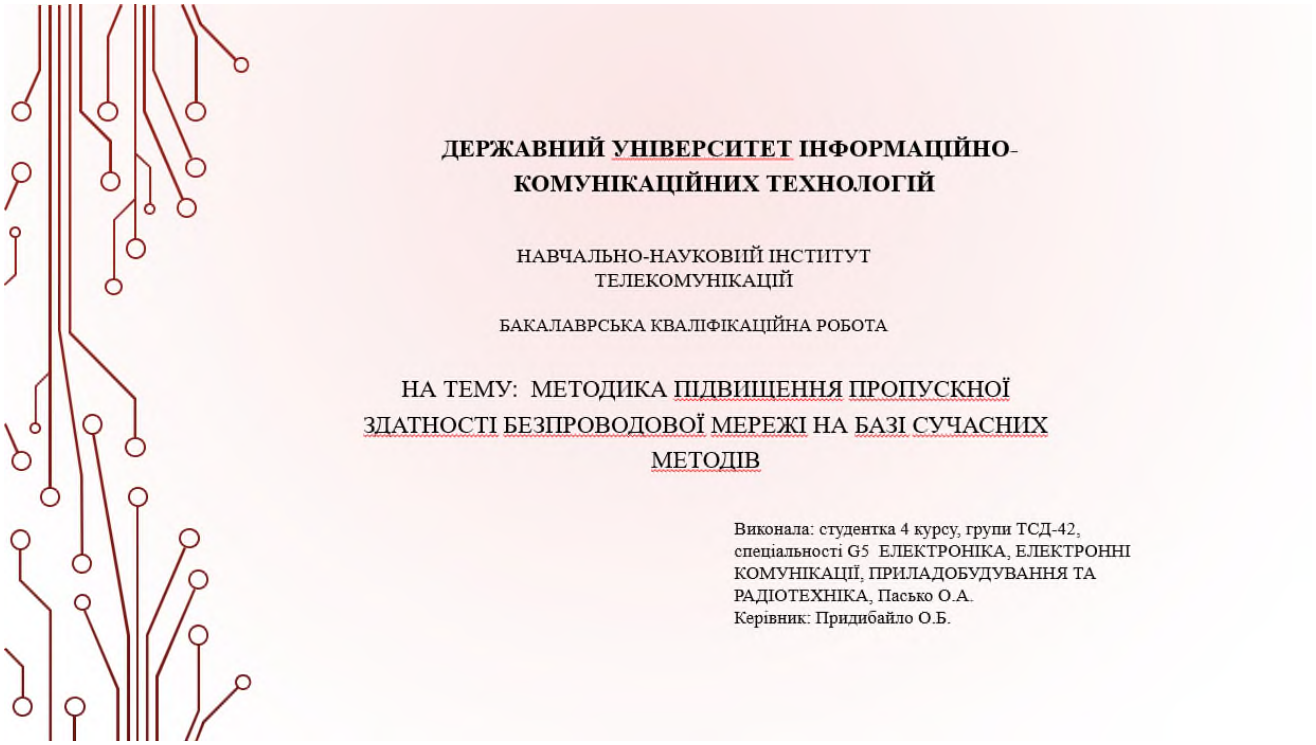
Безумовно, кожний метод, який наведений в кваліфікаційній роботі, має свої переваги та недоліки, один метод потребує великої обчислювальної потужності ретрансляційного вузла, а другий – підвищує рівень шуму в каналі зв’язку і робить навантаження на приймаючий вузол.

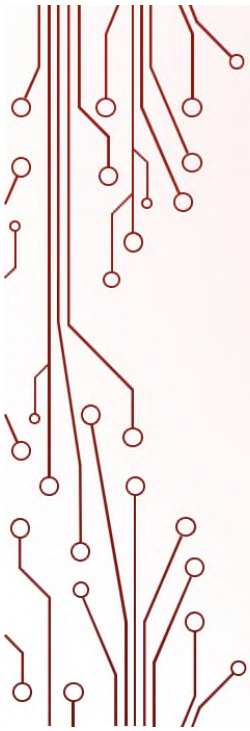
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. “A Survey on Device-To-Device Communication In Cellular Networks,” *IEEE Commun. Surveys and Tutorials*, vol. 16, no. 4, 2014, pp. 18–19. // A. Asadi, Q. Wang, and V. Mancuso
2. “Cognitive Cellular Systems within the TV Spectrum,” *Proc. IEEE DySPAN*, 2010, pp. 1–12. // J. Sachs, I. Mari, and A. Goldsmith
3. “Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks,” *IEEE Commun. Mag*., vol. 47, no. 12, 2009, pp. 42–49.
4. 3GPP TS 23.002 V10.2.0 (2011-03). Network architecture. 2011. - 93 p.
5. Alcatel-Lucent Submission to Commerce Commission. Discussion Paper on Next Generation Networks, 2009. - 17 p.
6. Cho J., Garcia-Molina H. Effective page refresh policies for Web crawlers//ACM Trans.Database Syst. 2013. Vol. 28, № 4. P. 390-426.
7. ETSI TS 123 107 V11.0.0 Quality of Service (QoS) concept and architecture
8. J. Eberspächer, H.-J. Vögel, C. Bettsetter and C. Hartmann. GSM – Architecture, Protocols and Services Third Edition. © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. 2009. -327 p.
9. Kankkunen A. Network convergence, 2005 (SATNAC2005), Cape Town, South Africa, 2005.
10. Lammel R. Google’s MapRcduce programming model — Revisited // Sci. Comput. Program. 2008. Vol. 70, № 1. P. 1-30.
11. McClellan M.T., Minker J., Knuth D.E. The Art of Computer Programming, Vol. 3: Sorting and Searching // Math. Comput. 1974. Vol. 28, № 128. P. 1175.
12. QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems Edited by David Soldani, Man Li and Renaud Cuny © 2006 John Wiley & Sons.
13. Recommendation ITU-T H.323. Packet-based multimedia communications systems. 2009. - 320 p.

14. Zhao V. et al. Ontology Classification for Semantic-Web-Bascd Software Engineering. 2014. Vol. 2, № 4. P. 303-317.
15. Гельгор А.Л. Технологія LTE мобільної передачі даних / Попов Е.А. – СПб: Политехн., 2011 – 204 с.
16. Зозуля О.Ю. Безпека в мережах зв'язку 4G / Конференція «Актуальні проблеми кібербезпеки», 2019 – 3с.
17. Марка Лассерре, "Міжз'єднання локальних мереж за допомогою MPLS", Журнал мережевих рішень LAN. №1.-січень 2014.
18. Рижко Б. Розроблення системи автоматизованого збору, оброблення та аналізу даних на основі технологій Big Data/ Б. Рижко, П. Катін // Інфокомунікаційні системи та технології. – 2018. – № 2(2). – С. 37-41.
19. Рижков А.Е. Системи і мережі радіодоступу 4G: LTE, WiMAX / Сиверс М.А, Гусаров А.С. – СПб: Лінк, 2012 – 226 с.
20. Столінгс В. Бездротові лінії зв'язку та мережі / Вільям Столінгс – М.: Вільямс, 2003 – 639 с.
21. Тихвинський В.О. LTE World Summit-2013: на шляху до 5G / Тихвинський В.О., Архіпкін В.Я. – електрозв'язок, 2013
22. Тихвинський В.О., Терентьєв С.В., Юрчук А.Б. Мережі мобільного зв'язку LTE: технології і архітектура. – М.: Еко-Трендз, 2010 – 284 с.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

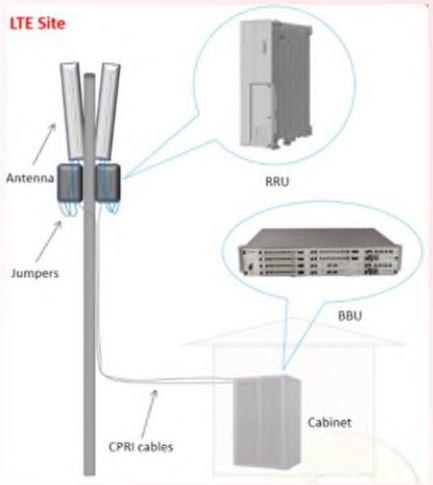


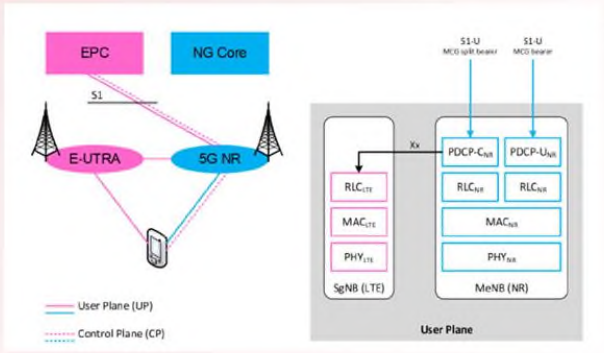


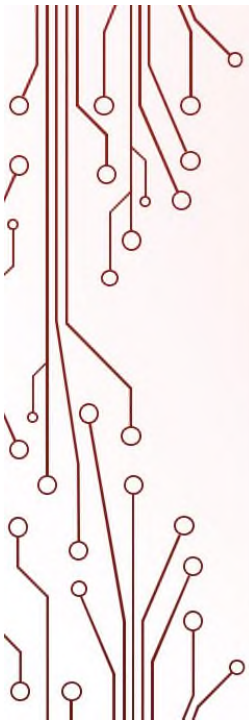
Об'єкт дослідження – розгляд прикладу використання SFN стільників, а також методів забезпечення ретрансляції.

Предмет дослідження - теоретичні відомості про мережі п'ятого покоління, використання кооперативної ретрансляції. Огляд технології SFN та методи підвищення швидкості мережі за рахунок спільного використання Macro-Cell та Small-Cell

Мета роботи - детальний розгляд технології SFN, алгоритму хендовера для підвищення швидкості передачі даних, огляд технології кооперативної ретрансляції.


LTE Site
Antenna
RRU
Jumpers
BBU
Cabinet
CPRI cables


EPC
NG Core
S1
E-UTRA
5G NR
User Plane (UP)
Control Plane (CP)
S1-U
S1-U
Xx
PDCP-C
PDCP-U
RLC
RLC
RLC
MAC
MAC
PHY
PHY
SgNB (LTE)
MeNB (NR)
User Plane



Короткий огляд відмінностей між eNodeB та gNodeB

Функція	eNodeB (4G LTE)	gNodeB (5G NR)
Покоління	4-те покоління (4G)	5-те покоління (5G)
Мережевий стандарт	Частина E-UTRAN (розвинена наземна радіомережа доступу UMTS)	Частина NG-RAN (мережі радіодоступу наступного покоління)
Роль	В першу чергу відповідає за функції радіоінтерфейсу та передачу даних користувача	Обробляє як функції радіоінтерфейсу, так і деякі функції базової мережі, діючи як шлюз між RAN та базовою мережею.
Технологія радіодоступу	Підтримує технологію радіодоступу LTE, включаючи OFDMA та MIMO	Підтримує інтерфейс 5G New Radio (NR), що впроваджує вдосконалення, адаптовані для розгортання 5G
Діапазони частот	Зазвичай працює на частотах нижче 6 ГГц, а LTE Advanced запроваджує агрегацію несучих	Розроблено для роботи в широкому діапазоні частот, включаючи діапазони нижче 6 ГГц та міліметрові хвилі (mmWave).

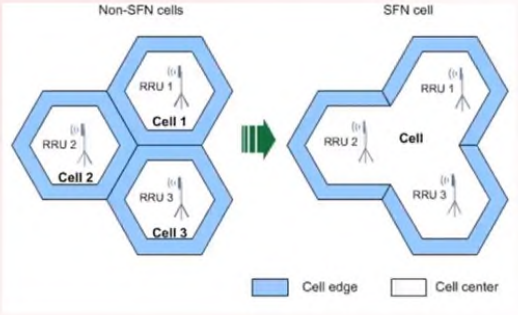
Технологія SFN (Single Frequency Network)

До плюсів технології SFN можна віднести:

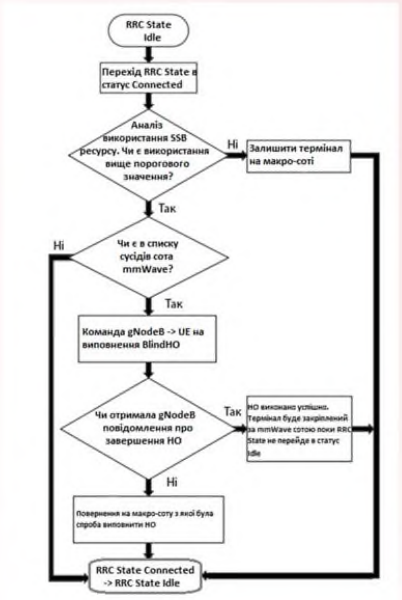
- розширення фізичних кордонів стільника;
- простота планування сусідніх комірок;
- поліпшення таких характеристик як CSI SINR, SSB RSRP;
- знижене навантаження на сигнальні канали;
- зменшення кількості хендовер запитів;
- підвищення середньої швидкості завантаження в межах одного стільника.

До мінусів технології SFN можна віднести:

- складність оптимізації;
- складне планування, що вимагає більш детального розрахунку перед будівництвом;
- низька стійкість до зовнішніх перешкод, в порівнянні з non-SFN сотою.



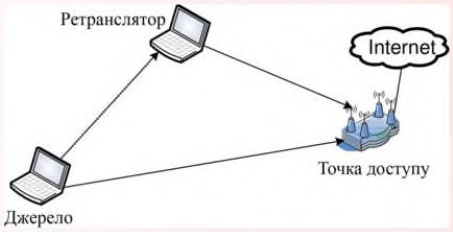
Об'єднання сот в SFN соту



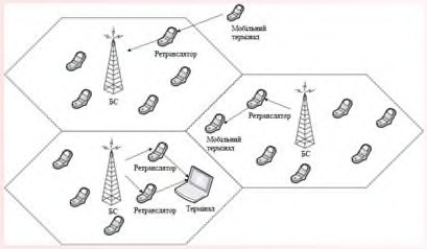
MML приклад додавання сусідньої соти Macro Cell – mmWave Cell

MML команда	Опис команди
MOD NRCELLALGOSWITCH: NRSmartHOSwitch=YES, InterRatServiceMobilitySw=MOBILITY_TO_GUTRAN_SW-1;	Активація функціоналу Smart Ho Algorithm і підтримки мобільності для мережі GUTRAN.
MOD NRINTERRATHOPARAM: NrCellId=xx, HoModeSwitch=GUTRAN_HO_SWITCH1&GUTRAN_REDIRECT_SWITCH1,InterRatHoTriggerEventType=EVENT_B2;	Вибір алгоритму хендовера і реселект параметрів для Idle пристроїв.
MOD NRCELLQCIBEARER: NrCellId=xx, Qci=9, MeasCommonParamGroupId=1;	Параметр задає поріг рівня сигналу для повторного вибору комірки.

MML команда	Опис команди
ADD GNBMEASCOMMPARAMGRP: MeasCommonParamGroupId=1, MeasurementEventType=INTER_RAT_HO_EVENT_A2, RsrpThreshold=123, Hysteresis=2, TimeToTrigger=320MS;	Встановлюємо значення InterRAT трешхолду, при якому буде спрацьовувати алгоритм HO.
MOD NRCELLGUTRANNFREQ: NrCellId=xx, DlEarfcn=xx, FreqSpecificOffset=DB0, ConnFreqPriority=1;	Зміна пріоритету для сусідньої комірки.
MOD NRCELLRELATION: NrCellID=xx; MCC=xx; MNC=xx; gNbID=xx; CellID=xx; SmartHOSwitchTimer=xx	Задаємо таймер SmartHOSwitch для конкретної Small-cell.



Застосування кооперативної ретрансляції у мережах WLAN



Застосування кооперативної ретрансляції в стільниковому зв'язку

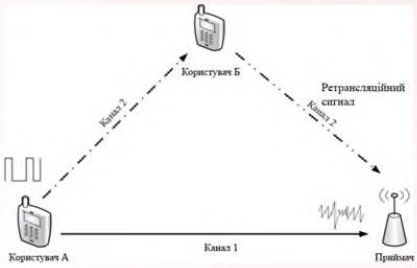


Схема ретрансляції Amplify and Forward

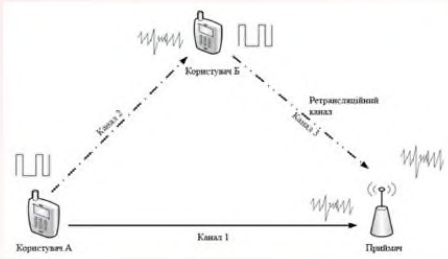
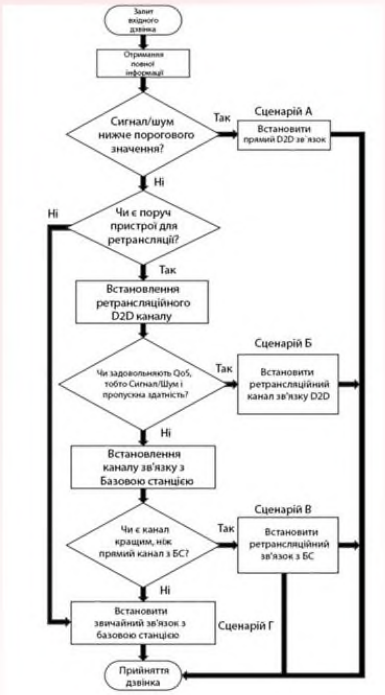


Схема ретрансляції Decode and Forward

Блок-схема запитів вхідного дзвінки при використанні прямого зв’язку та кооперативної ретрансляції D2D



ВИСНОВКИ

- В роботі було розглянуто сценарії міграції мережі LTE до мережі 5G NR, зроблено огляд використання технології SFN та удосконалений алгоритм хендоверу, а також розглянуті варіанти використання кооперативних видів зв'язку.
- В даній роботі, мета, що зазначена вище, була повністю досягнена. Було проведено детальний розгляд та аналіз стратегій ретрансляції та порівняння з традиційними методами побудови бездротових телекомунікаційних мереж.
- Розроблено алгоритм хендоверу на основі використанного SSB ресурсу. Та наведено приклад як впровадити данний алгоритм хендоверу за допомогою MML команд на рівні стільника: Macro Cell – mmWave Cell SmartHO Switch.

Доповідь закінчено

Дякую за увагу!

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

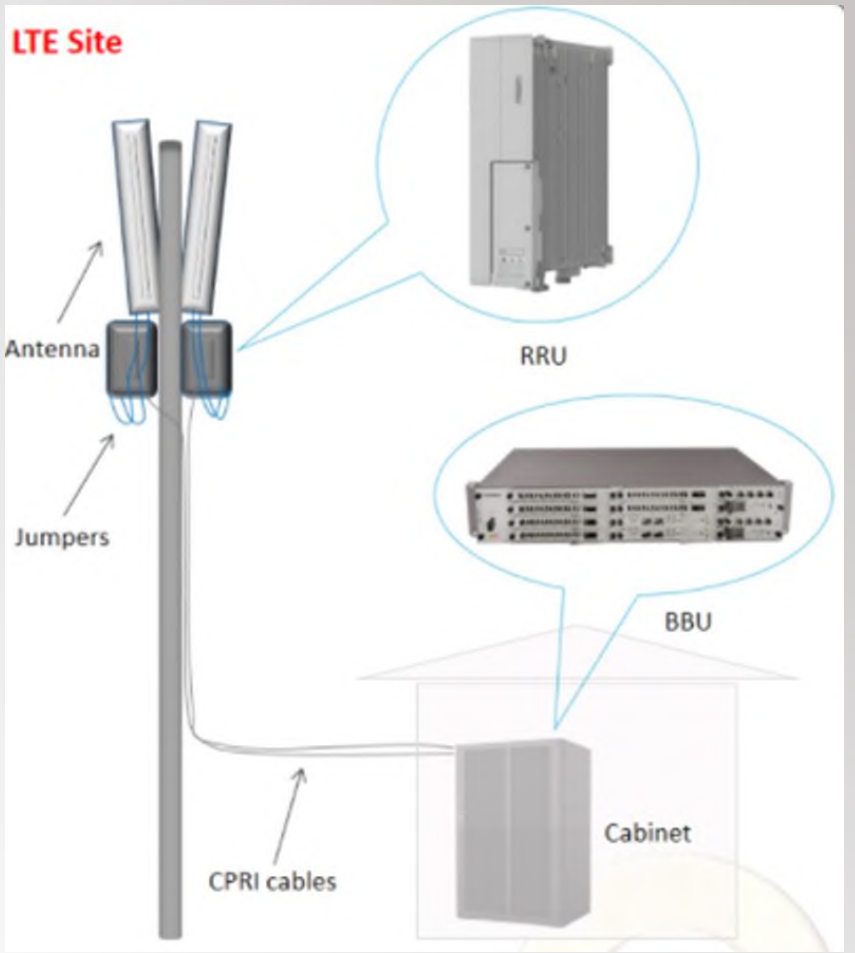
НА ТЕМУ: ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ

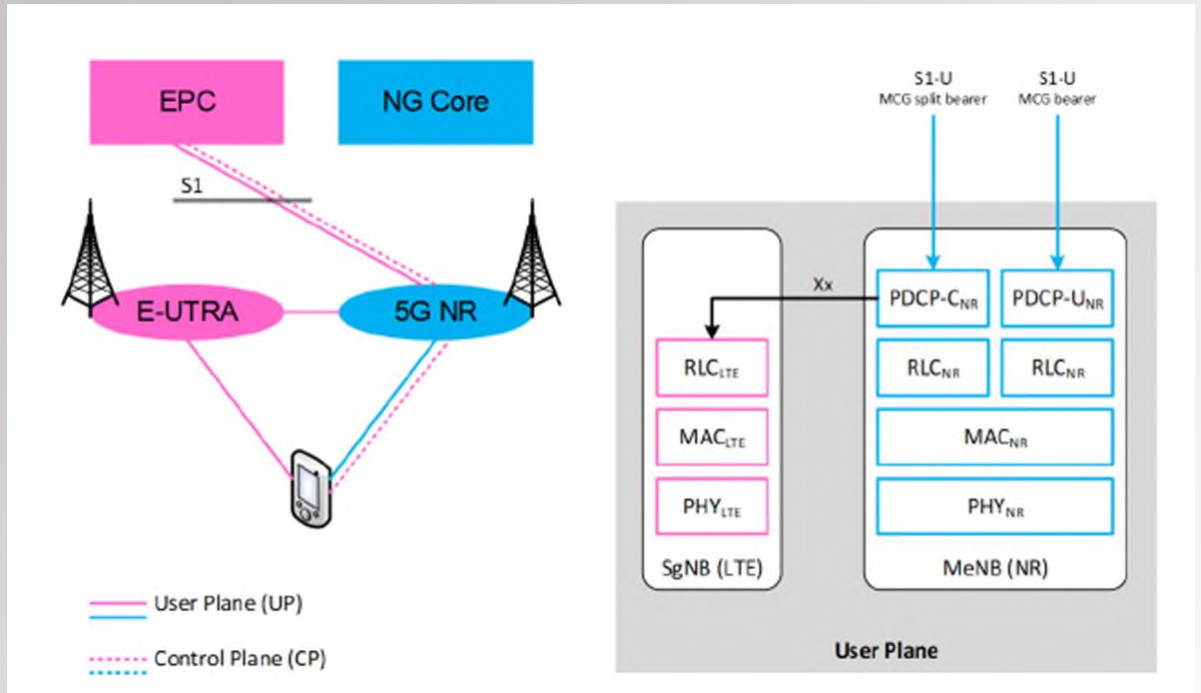
Виконав: студент 6 курсу, групи ТСДМ-62,
Копєйка В.Г.
Керівник: ДТН, професор ЗАЇКА В.Ф.

Об’єкт дослідження – розгляд прикладу використання SFN стільників, а також методів забезпечення ретрансляції.

Предмет дослідження - теоретичні відомості про мережі п’ятого покоління, використання кооперативної ретрансляції. Огляд технології SFN та методи підвищення швидкості мережі за рахунок спільного використання Macro-Cell та Small-Cell

Мета роботи - детальний розгляд технології SFN, алгоритму хендовера для підвищення швидкості передачі даних, огляд технології кооперативної ретрансляції.


LTE Site
Antenna
Jumpers
RRU
BBU
Cabinet
CPRI cables


EPC
NG Core
S1
E-UTRA
5G NR
User Plane (UP)
Control Plane (CP)
S1-U
MCG split bearer
S1-U
MCG bearer
Xx
RLC_LTE
MAC_LTE
PHY_LTE
SgNB (LTE)
PDCP-C_NR
PDCP-U_NR
RLC_NR
RLC_NR
MAC_NR
PHY_NR
MeNB (NR)
User Plane

Короткий огляд відмінностей між eNodeB та gNodeB

Функція	eNodeB (4G LTE)	gNodeB (5G NR)
Покоління	4-те покоління (4G)	5-те покоління (5G)
Мережевий стандарт	Частина E-UTRAN (розвинена наземна радіомережа доступу UMTS)	Частина NG-RAN (мережі радіодоступу наступного покоління)
Роль	В першу чергу відповідає за функції радіоінтерфейсу та передачу даних користувача	Обробляє як функції радіоінтерфейсу, так і деякі функції базової мережі, діючи як шлюз між RAN та базовою мережею.
Технологія радіодоступу	Підтримує технологію радіодоступу LTE, включаючи OFDMA та MIMO	Підтримує інтерфейс 5G New Radio (NR), що впроваджує вдосконалення, адаптовані для розгортання 5G
Діапазони частот	Зазвичай працює на частотах нижче 6 ГГц, а LTE Advanced запроваджує агрегацію несучих	Розроблено для роботи в широкому діапазоні частот, включаючи діапазони нижче 6 ГГц та міліметрові хвилі (mmWave).

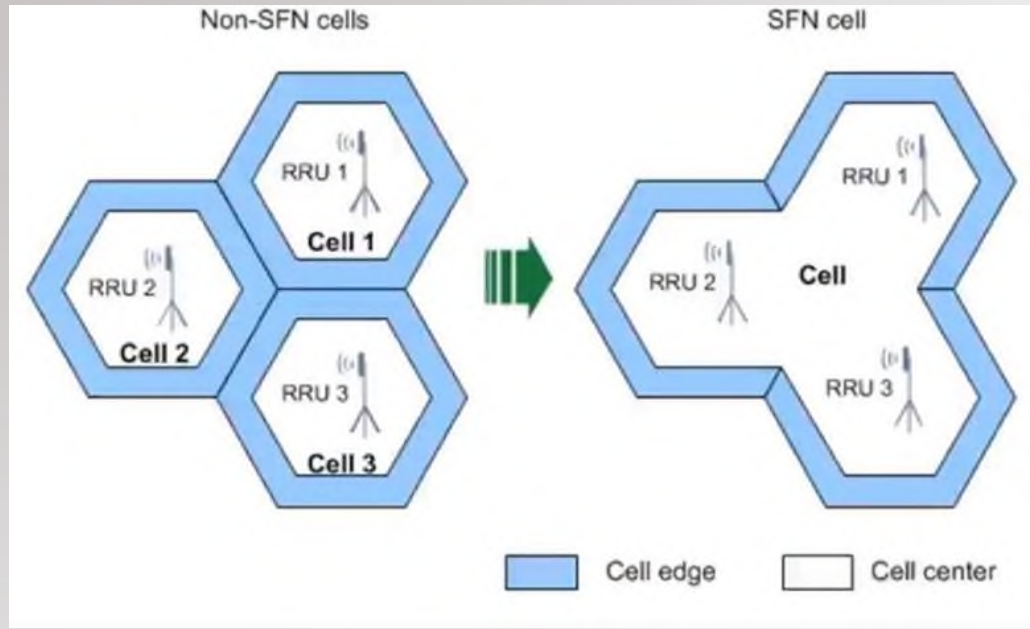
Технологія SFN (Single Frequency Network)

До плюсів технології SFN можна віднести:

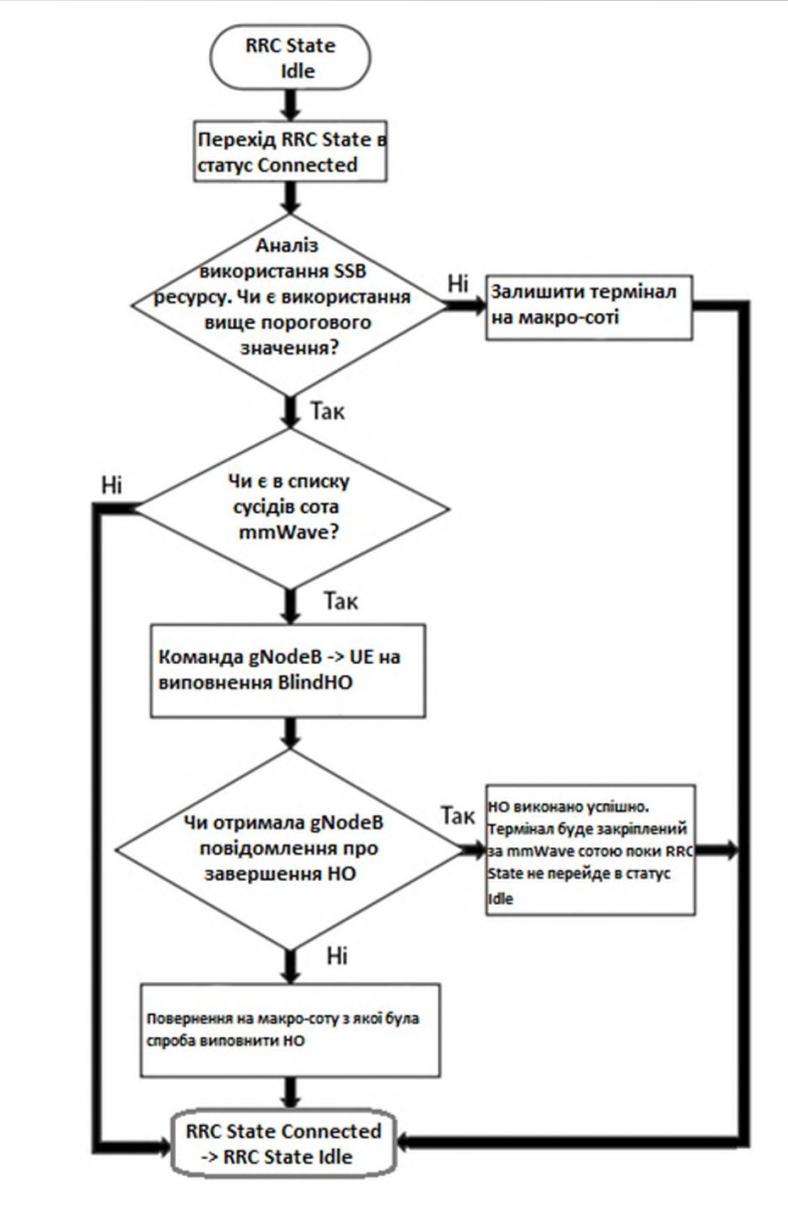
- розширення фізичних кордонів стільника;
- простота планування сусідніх комірок;
- поліпшення таких характеристик як CSI SINR, SSB RSRP;
- знижене навантаження на сигнальні канали;
- зменшення кількості хендовер запитів;
- підвищення середньої швидкості завантаження в межах одного стільника.

До мінусів технології SFN можна віднести:

- складність оптимізації;
- складне планування, що вимагає більш детального розрахунку перед будівництвом;
- низька стійкість до зовнішніх перешкод, в порівнянні з non-SFN сотою.

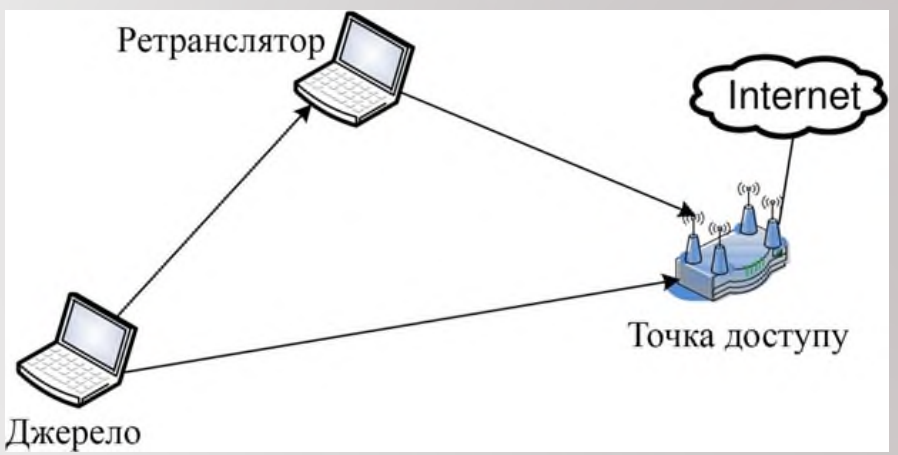


Об'єднання сот в SFN соту

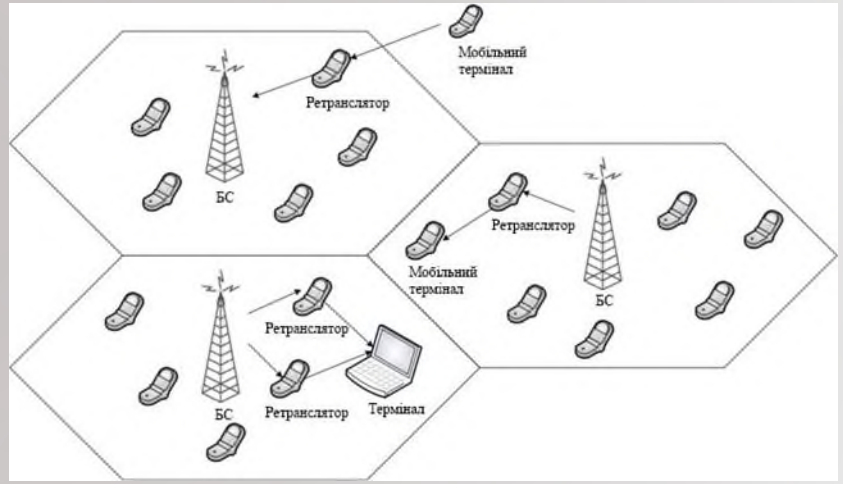


MML приклад додавання сусідньої соти Macro Cell – mmWave Cell	
MML команда	Опис команди
MOD NRCELLALGOSWITCH: NRSmartHOSwitch=YES, InterRatServiceMobilitySw=MOBILITY_TO_GUTRAN_SW-1;	Активація функціоналу Smart Ho Algorithm і підтримки мобільності для мережі GUTRAN.
MOD NRINTERRATHOPARAM: NrCellId=xx, HoModeSwitch=GUTRAN_HO_SWITCH1&GUTRAN_REDIRECT_SWITCH1,InterRatHoTriggerEventType=EVENT_B2;	Вибір алгоритму хендовера і реселект параметрів для Idle пристроїв.
MOD NRCELLQCIBEARER: NrCellId=xx, Qci=9, MeasCommonParamGroupId=1;	Параметр задає поріг рівня сигналу для повторного вибору комірки.

MML команда	Опис команди
ADD GNBMEASCOMMPARAMGRP: MeasCommonParamGroupId=1, MeasurementEventType=INTER_RAT_HO_EVENT_A2, RsrpThreshold=123, Hysteresis=2, TimeToTrigger=320MS;	Встановлюємо значення InterRAT трешхолду, при якому буде спрацьовувати алгоритм HO.
MOD NRCELLGUTRANNFREQ: NrCellId=xx, DlEarfcn=xx, FreqSpecificOffset=DB0, ConnFreqPriority=1;	Зміна пріоритету для сусідньої комірки.
MOD NRCELLRELATION: NrCellID=xx; MCC=xx; MNC=xx; gNbID=xx; CellID=xx; SmartHOSwitchTimer=xx	Задаємо таймер SmartHOSwitch для конкретної Small-cell.



Застосування кооперативної ретрансляції у мережах WLAN



Застосування кооперативної ретрансляції в стільниковому зв'язку

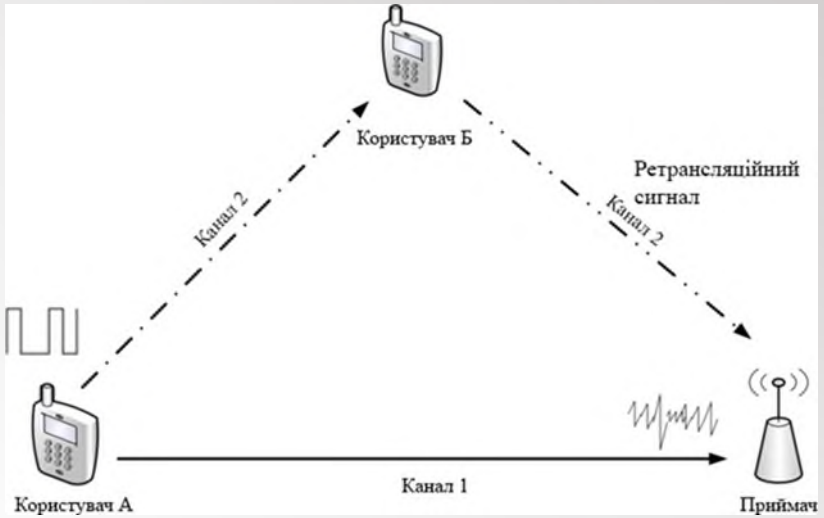


Схема ретрансляції Amplify and Forward

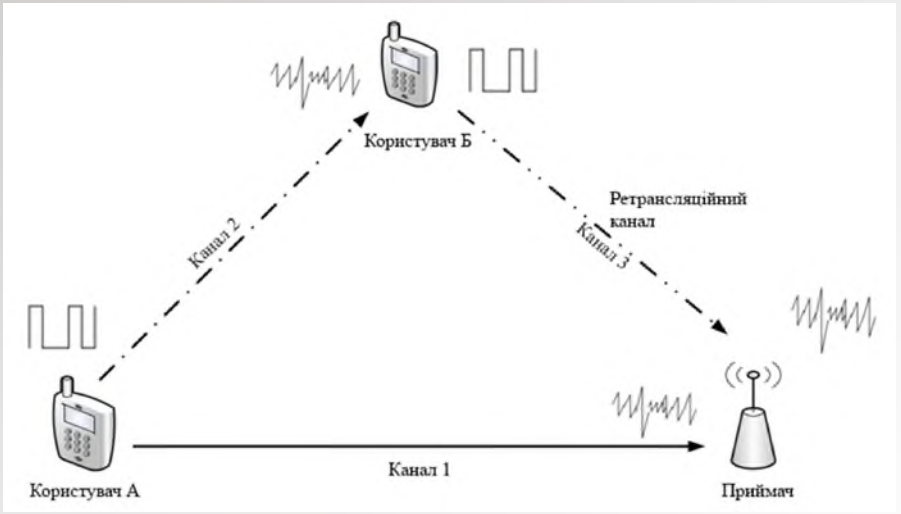
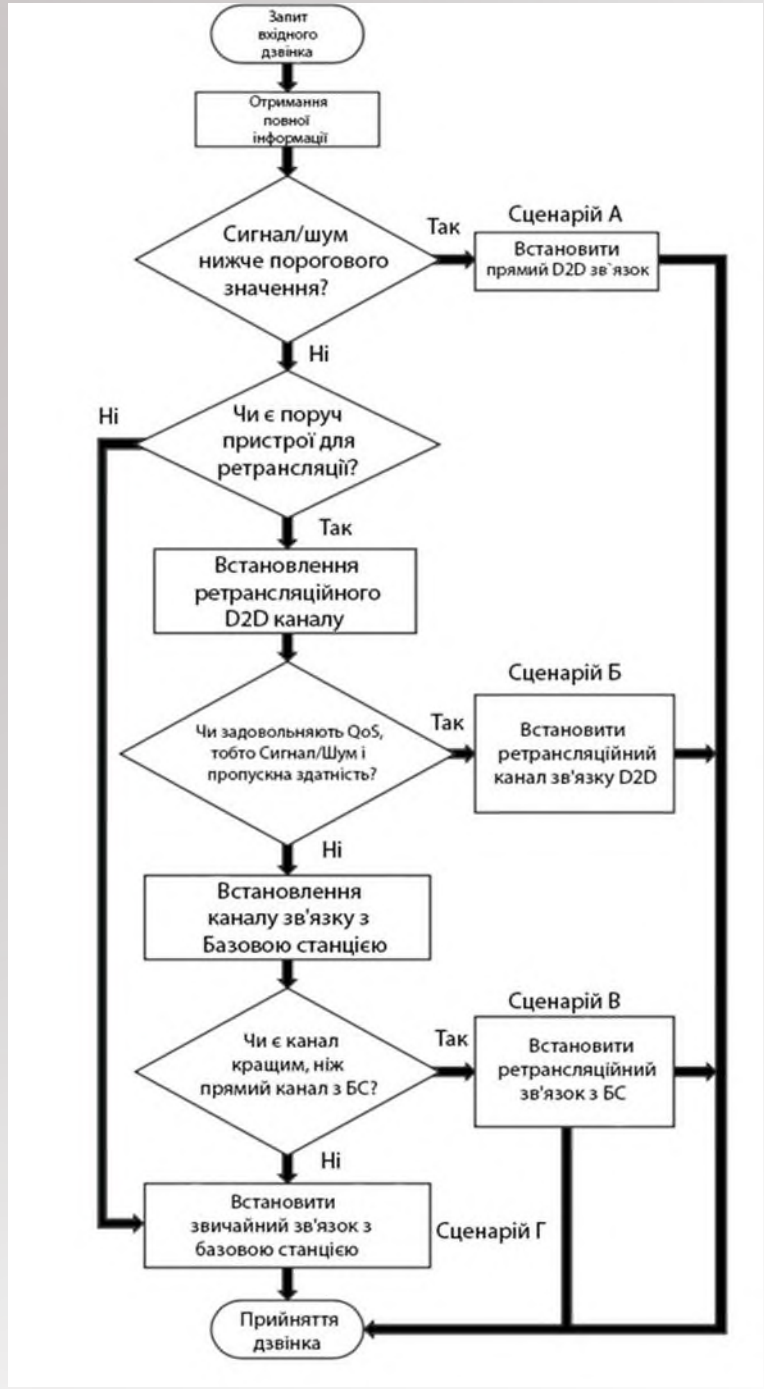


Схема ретрансляції Decode and Forward

Блок-схема запитів вхідного дзвінки при використанні прямого зв’язку та кооперативної ретрансляції D2D



ВИСНОВКИ

- В роботі було розглянуто сценарії міграції мережі LTE до мережі 5G NR, зроблено огляд використання технології SFN та удосконалений алгоритм хендоверу, а також розглянуті варіанти використання кооперативних видів зв’язку.

- В даній роботі, мета, що зазначена вище, була повністю досягнена. Було проведено детальний розгляд та аналіз стратегій ретрансляції та порівняння з традиційними методами побудови бездротових телекомунікаційних мереж.

- Розроблено алгоритм хендоверу на основі використанного SSB ресурсу. Та наведено приклад як впровадити данний алгоритм хендоверу за допомогою MML команд на рівні стільника: Macro Cell – mmWave Cell SmartHO Switch.

Доповідь закінчено

Дякую за увагу!