Диплом

«Управління мобільністю для мереж 4-го покоління з малими стільниками»

Оглавление

Вступ 5

Розділ 1. Загальні характеристики мереж LTE 8

1.1 Структура мережі LTE 8

Зворотний канал (Downlink) 19

Прямий канал (Uplink) 21

1.2 Класифікація малих стільників 4-го покоління 28

1.3 Постановка задачі дослідження 30

Висновки 34

Розділ 2. Передача обслуговування у мережах LTE 35

2.1 Жорстка передача обслуговування 35

2.1.1 Основні характеристики жорсткої ПОб 35

2.1.2 Адаптація методик жорсткої передачі обслуговування 37

2.2 Швидкий вибір стільника 43

2.2.1 Основні характеристики FCS 43

2.2.2 Вимоги до FCS у мережах OFDMA 45

2.2.3 Принцип управління активним набором стільника 49

Висновки 55

Розділ 3. Оцінка системної моделі методів передачі обслуговування 56

3.1 Методологія 56

3.2 Оцінка системної моделі швидкого вибору стільника 58

3.3 Результати моделювання 62

Висновки 70

Загальні висновки 72

Література 73

Мета роботи: визначення алгоритму передачі обслуговування рухомих абонентів у мережах з малими стільниками для зменшення негативного впливу процедур підтримки мобільності на продуктивність мережі та якість зв'язку абонентів

Об'єкт: процес передачі обслуговування рухомого абонента у мережах з малими стільниками.

Предмет: адаптивний алгоритм передачі обслуговування для мереж з малими стільниками.

Інноваційна новизна

У даній роботі розглядаються адаптовані алгоритми передачі обслуговування для мереж з малими стільниками. Вони, на відміну від традиційних видів передачі обслуговування, які використовуються у мережах з макростільниками, дозволять зменшити об'єм сигнальної інформації та загальний час переривання зв'язку при передачі обслуговування. При цьому пропускна здатність абонента буде збільшуватись, як і якість обслуговування.

Актуальність роботи

Актуальність роботи полягає в тому, що у мережах 4-го покоління існує проблема перенавантаження мереж сигнальною інформацією при проходженні абонентом великої кількості стільників малого розміру. Це призводить до падіння пропускної здатності абонента та зниження якості обслуговування в цілому. Для уникнення цього явища використовують алгоритми, які дозволяють знизити кількість переривань при передачі

обслуговування абонента при переміщенні до іншого стільника. Дана робота є актуальною, бо в ній розглядаються два існуючі, адаптовані під малі стільники алгоритми, та аналізується ефективність кожного з них.

Метою роботи є створення моделі приміського поселення. Його параметри мають бути такими, щоб перевірити два алгоритми передачі обслуговування абонента при його переміщенні. Для обидвох алгоритмів будуть використовуватися однакові розташування споруд та поведінка мобільних користувачів, а також обидва різні типи транспортної мережі. Обидва алгоритми мають працювати в одному діапазоні частот, що відповідає LTE-Advanced. Задача полягає в тому, щоб визначити, за якого типу опорної мережі який алгоритм є ефективнішим, порівняно з іншим.

Для моделювання приміського поселення використовується спеціалізований програмний продукт Matlab2017a.

4G	4-тепокоління мобільного зв’язку
ADSL	Асинхронна цифроваабонентська лінія
AS	Активний набір
CDMA	Кодове розділення множинного доступу
CINR	Carrier to Interference plus Noise Ratio
CLC	Закритий список контролю груп коритувачів
CSG	Закрита група абонентів
DL	Низхідний канал
ETG	Оцінка посилення потужності
FAP	Точка фемтодоступу
FCS	Швидкий вибір стільника
HDT	Час затримки передачі обслуговуванняHandoverDelayTimer
HM	Межі гістерезису
IB	Внутрішньосмуговий
IINR	Interference to other Interferences plus Noise Ratio
IMSI	Міжнародний ідентифікатор мобільного абонента
LTE(-A)	Long Term Evolution (-Advanced)
MBS	Макростільникова базова станція
MCS	Схема модуляції та кодування
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
OFDMA	Ортогональне частотне розподілення множинного доступу
OOB	Зовнішньосмуговий
PRWMM	Probabilistic Random Walk/Waypoint Mobility Model
QoS	Якість обслуговування
RB	Блокування ресурсів
RE	Елемент ресурсу
RSSI	Отриманий індикатор сили сигналу
S-GW	Обслуговуючий шлюз
SNR	Відношення сигнал/шум
SINR	Відношення сигнал до інтерференції+шуму
TDD	Дуплекс з часовим розподіленням
TTI	Часовий інтервал передачі
TTT	Час тригеру
UE	Термінал користувача
UL	Висхідний канал
USIM	Універсальний модуль ідентифікатора користувача
V-UE	Візитний термінал користувача
WLAN	Wireless Local Area Network
WS	Розмір вікна

Вступ

Четверте покоління (4G) мереж мобільного зв'язку розгортається на частотах в ГГц-му діапазоні (2 або 2,6 ГГц). Передача на таких частотах призводить до великого загасання сигналу, що поширюється від передавача до приймача в порівнянні зі смугами на 0,9 ГГц, що використовуються для GSM. Для того, щоб покрити потенційні розриви в покритті через сильне загасання сигналу на більш високих частотах, розгортають малі стільники. Загалом, їх розрізняють декілька типів: фемтостільники та піко/мікростільники. В обох випадках радіус стільників є малим, порядку десятка метрів.

Передбачається, що фемтостільники, позначені як FAP (точка фемто-доступу), будуть розміщені в приміщенні споживача (будинку, квартирі) або підприємства. FAP належать користувачам і контролюються ними ж. З’єднання з базовою мережею доступне через опорну мережу обмеженої ємності та змінної якості. Як правило, в якості з'єднання опорної мережі використовується Асинхронна цифрова абонентська лінія (ADSL). Зазвичай, FAP надають три типи доступів: відкритий, закритий і гібридний [1]. У разі відкритого доступу, всі користувачі в зоні обслуговування FAP можуть підключатися. Перевага відкритого доступу полягає в можливості розвантажити макростільникову базову станцію (MBS), шляхом обслуговування деяких користувачів у місцях з високим навантаженням або тих, що знаходяться далеко від MBS [2]. І навпаки, до FAP із закритим доступом допускаються лише користувачі, що входять в список Закритої групи абонентів (CSG). Список CSG ідентифікує всі пристрої користувача (UE), які можуть отримати доступ до FAP. Користувачам, що не перераховані в CSG, забороняється долучатися до закритої FAP. У випадку закритого доступу необхідно ретельно управляти інтерференцією в районах з щільним розміщенням FAP для уникнення погіршення продуктивності системи.

Поєднання відкритого і закритого доступу являє собою гібридний доступ. При гібридному доступі вважається, що частина ємності призначена для користувачів CSG і решта смуги може використовуватися іншими абонентами. Як показано в [3], відкритий доступ забезпечує більш високу пропускну здатність в порівнянні із закритим. Це відчутно при малій щільності макростільників користувачів [4].

Піко/мікростільники можуть бути також розміщені в приміщеннях користувачів; однак, ці клітини більше для розгортання на підприємствах або громадських місцях [5]. На відміну від фемтостільників, піко/мікростільники знаходяться під повним контролем оператора. Крім того, вони повинні бути з'єднані з операторською опорною мережею високоякісним з’єднанням з достатньою ємністю для обслуговування всього трафіку, що передається повітрям.

Щільне розгортання малих стільників спричинює нові проблеми, пов'язані послабленням інтерференції для закритого доступу та управлінням мобільністю користувачів для відкритого [6]. Ця магістерська дисертація орієнтована на управління мобільністю. Мобільний користувач змушений виконувати передачі обслуговування від обслуговуючого до цільового стільника для збереження якості обслуговування (QoS). Якщо користувач переміщується впритул до області з щільним розміщенням малих стільників, протягом короткого інтервалу часу може бути виконана велика кількість передач обслуговувань.

Далі спостерігається падіння QoS через короткі переривання, спричинені жорсткого ПОб. Це особливо властиво для послуг реального часу. Кількість передач обслуговування можна регулювати за допомогою методів, що використовуються для усунення надлишкових ПОб, таких як Гістерезис або Тригер часу [7], [8]. На жаль, ці методи значно зменшують пропускну здатність користувача в мережі з невеликими малими стільниками [9]. Крім того, переривання все ще спостерігаються при виконанні звичайної жорсткої ПОб, коли користувач від'єднується від обслуговуючого стільника

перед новим підключенням до цільового [10]. Швидкий Вибір стільників (FCS) може бути використаний замість жорсткого ПОб для уникнення проблеми переривання передачі обслуговування і зниження QoS в мережах з щільним розміщенням малих стільників. Проте, реалізація FCS для реальних мереж є більш вимогливою і складним у порівнянні з жорсткою ПОб.

Ця робота надає адаптивні рішення для жорсткої ПОб, що націлені на зменшення кількості ПОб для мінімізації негативного впливу переривань. До того ж, FCS оцінюється як для фемто-, так і для піко/мікро стільників, щоб показати свою ефективність в гетерогенних мережах з малими стільниками. Також розглянуто алгоритм управління активним набором з урахуванням кількості споживаних радіоресурсів для подолання неефективності FCS в мережах з малими стільниками. У даній роботі ми орієнтуємося в основному на фемтостільники, що є більш складним, аніж піко/мікростільники через низьку QoS опорної мережі.

Розділ 1. Загальні характеристики мереж LTE

1.1 Структура мережі LTE

На початку LTE розробляли як систему з комутацією пакетів з можливістю встановлення IP з'єднань між абонентськими станціями (User Equipment, UE) і мережею передачі даних (Packet Data Network, PDN).

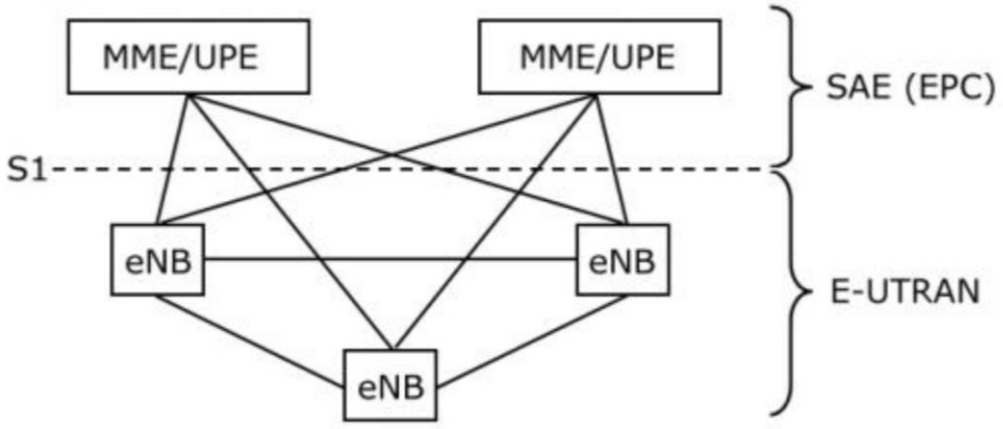


Рис.1.1 – Взаємодія E-UTRANiSAE

Два найбільш важливі компоненти лежать в основі мережіLTE: мережа радіодоступу E-UTRAN і базовоа мережаSAE (SystemArchitectureEvolution) (рис. 1).

Мережа радіодоступу E-UTRAN складається тільки з базових станцій eNB (evolvedNode B). Базові станції eNB є елементами з'єднані між собою за принципом «кожен з кожним» шляхом інтерфейсу X2.

Базова мережа SAE, інша назва - мережа EPC (Evolved Packet Core), містить вузли MME/UPE, які складаються з логічних елементів MME і UPE. Елемент MME (Mobility Management Entity) вирішує завдання управління мобільністю UE і взаємодіє з eNB мережі E-UTRAN за допомогою протоколів у площині управління C-plane (інтерфейс Sl-C) [3].

Функціональні відмінності мережі LTE від мережі UMTS:

1. Базові станції eNB виконують функції управління радіоресурсами (Radio Resource Management – RRM): управління радіоканалами (Radio Bearer Control), управління доступом (Radio Admission Control), управління мобільністю (Connection Mobility Control), динамічний розподіл ресурсів (Dynamic Resource Allocation). Отже, в мережі радіодоступу E-UTRAN базові станції eNB виконують функцію управління протоколами радіоінтерфейсу, комбінуючи виконання функцій NodeB і більшості функцій контролера RNC мережі UMTS.

2. MME відповідає за розподіл повідомлень виклику (paging) до eNB. Крім того, MME управляє протоколами в площині управління: призначення ідентифікаторів абонентських терміналів, забезпечення безпеки мережі, перевірка автентичності повідомлень абонентів і управління роумінгом.

Основні протоколи інтерфейсу S1 площин C-plane і U-plane мережі LTE представлені на рис. 3.4.

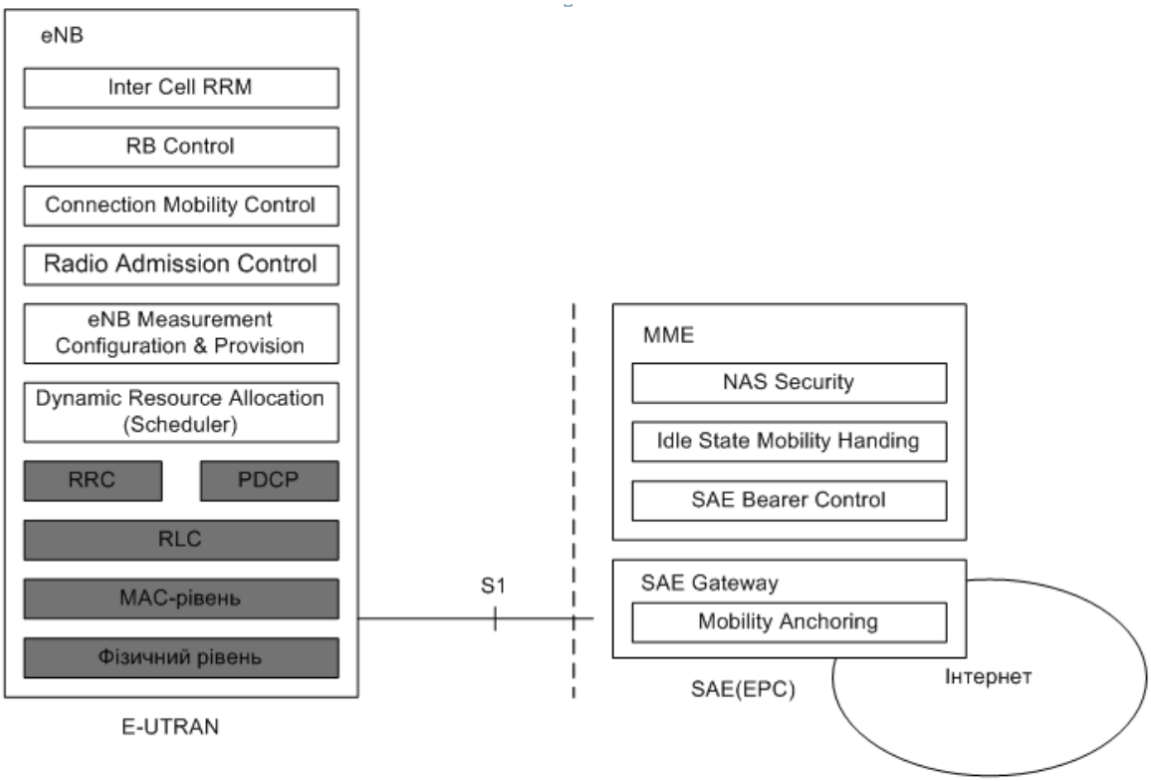


Рис. 1.2 – Протоколи інтерфейсу S1 мережі LTE

Однією з найважливіших завдань управління в мережі LTE є максимально ефективне використання радіоресурсів. Дане завдання вирішується за допомогою сукупності функцій управління радіоресурсами RRM (управління радіоресурсами мережі E-UTRAN, управління службою передачі даних в радіоканалі, управління мобільністю, управління доступом, динамічний розподіл ресурсів) та за допомогою протоколу управління радіоресурсами RRC. Вимоги до функцій управлінню радіоресурсами наведені в TR 25.913. Перші, попередні характеристики LTE були отримані в ході розробки специфікації 3GPP Release 7, потім Release 8 (таблиця 1.1).

LTE – це глибока зміна, що знаменує перехід від систем CDMA (WCDMA) до систем OFDMA, а також перехід від систем з комутацією каналів до системи e2e IP (комутації пакетів). Проблеми переходу на LTE включають необхідність у новому спектрі для отримання переваг від широкого каналу. Крім того, потрібні абонентські пристрої, здатні одночасно працювати в мережах LTE і 3G (рис. 3.5) для плавного переходу абонентів від старих до нових мереж.

Таблиця 1.1 –Основні параметри LTE, закріплені в специфікації 3GPP Release 8

Назва параметра	Параметр
Uplink (UL)	DFTS-OFDM
Downlink (DL)	OFDM
Ширина частотного діапазону. МГц	1.4; 3, 5; 10; 15; 20
Мінімальний інтервал між кадрами, мс	1
Крок (частотний інтервал) між піднесучими, кГц	15
Стандартна довжина префікса CP, мкс	4,7
Збільшена довжина префікса CP, мкс	16,7
Схеми модуляції (Uplink)	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM
Схеми модуляції (Downlink)	QPSK, 16QAM, 64QAM
Просторове мультиплексування	Один канал для UL-трафіку на кожний абонентський термінал; До 4 каналів для DL-трафіку на кожний абонентський термінал; MU-MIMO з підтримкою для

	висхідного (UL) і низхідного (DL) з'єднань

Для побудови такої мережі повинні бути доступні в конвергентному варіанті всі основні складові мережі:

– Конвергентні мультистандартні BTS;

– Конвергентна транспортна мережа;

– Конвергентні послуги.

Архітектура мережі LTE представлена на рис. 1.3.

В основі радіопідсистеми LTE будуть лежати мультистандартні BTS, що складаються з мультистандартного радіомодуля SDR (MC-TRX, MC-RRH) і керуючого модуля BBU.

Радіомодуль – це пристрій, який здатний працювати одночасно з декількома стандартами, декількома технологіями передачі по радіоінтерфейсу. Зокрема, для макро-BTS, це стандартний трансивер TRDU, в одномустільнику при необхідності можуть одночасно працювати GSM і LTE, використовуючи єдиний модуль MCPA (Multi-Carrier Power Amplifier).

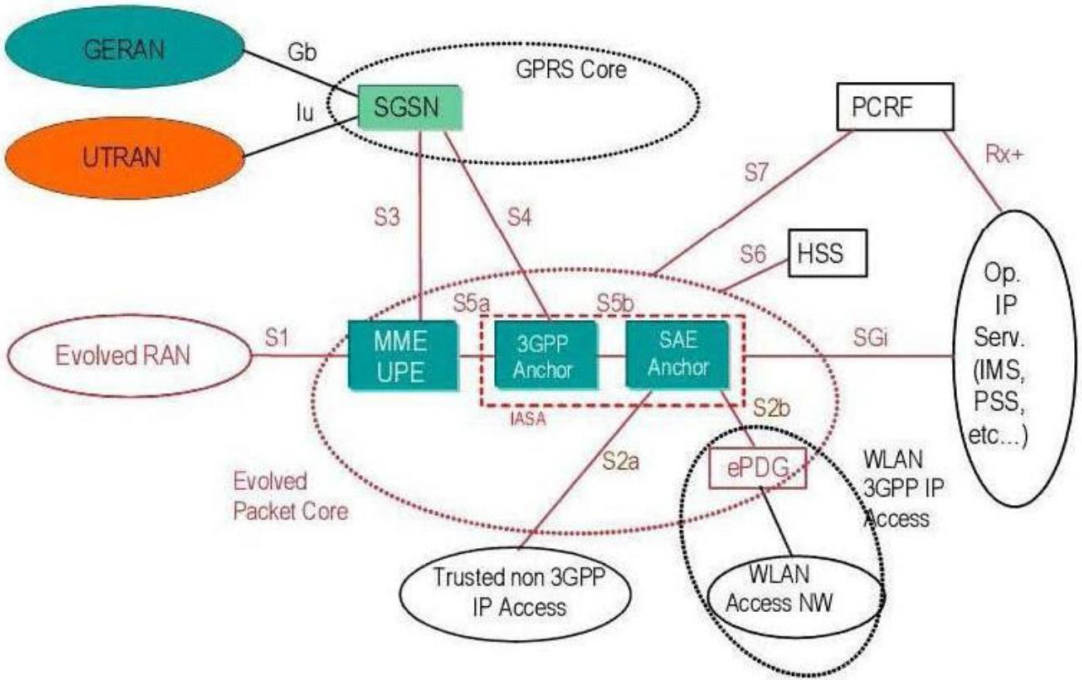


Рисунок 1.3 – Архітектура мережі LTE

Основні параметри стандарту LTE-Advanced (Rel.10)

Стандарт LTE-Advanced (LTE-A), що є подальшим розвитком стандарту LTE, розроблений на основі специфікацій 3GPP. LTE-A відповідає вимогам Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) до стандарту радіозв'язку четвертого покоління (4G), відомого як IMT-Advanced.

LTE-Advanced має розширені можливості, у порівнянні з LTE:

- розширені смуги пропускання, отримані за рахунок об'єднання декількох несучих;
- більш висока ефективність, отримана за рахунок розширеного множинного доступу до висхідного каналу і використання декількох антен (передові технології MIMO).
- координація багатоточкових передачі і прийому (CoMP);
- ретрансляція;
- підтримка гетерогенних мереж;
- удосконалення самооптимізуючої мережі (СОН);
- удосконалення мобільності базових станції HeNB (Home enhanced-node-B);
- ВЧ-вимоги до абонентського базового обладнання (CPE) фіксованого бездротового зв'язку.

Для досягнення цільової пікової швидкості передачі даних 1 Гбіт / с в висхідний каналі системи 4G буде потрібна ширша смуга пропускання. На даний момент LTE підтримує максимальну ширину смуги каналу 20 МГц і малоймовірно, що спектральна ефективність можна значно поліпшитись відносно поточних цільових показників LTE. Отже, є тільки один шлях істотно підвищити швидкість передачі даних - розширити смугу пропускання каналу. У IMT-Advanced встановлено верхню межу 100 МГц відносно передбачуваного значення 40 МГц для отримання мінімальних показників.

Оскільки більшість діапазонів зайнято і суміжні канали зі смугою 100 МГц недоступні для більшості операторів, МСЕ дозволив створити більш

широкосмугові канали через об'єднання суміжних і несуміжних компонентних несучих. Таким чином, спектр одного діапазону може бути доданий до спектру іншого діапазону в абонентському обладнанні, яке підтримує кілька трансиверів. На малюнку 1.4 наведено приклад об'єднання сусідніх каналів, в якому два канали зі смугою 20 МГц розташовані на суміжних частотах. В цьому випадку об'єднана смуга пропускання перекриває мінімально необхідні 40 МГц і може підтримуватися одним трансивером. Однак якби в цьому прикладі було використано не суміжні канали або вони розташовувалися б в сусідніх частотних діапазонах, то треба було б кілька трансиверів.

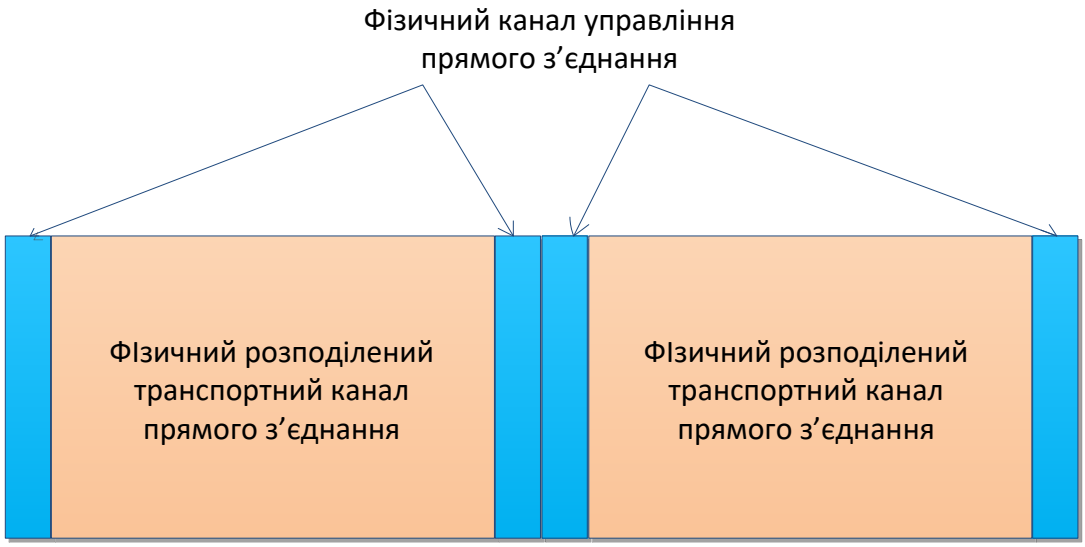


Рис. 1.4 – Суміжна агрегація двох компонентних несучих прямого каналу

Термін «компонентна несуча», який використовується в даному контексті, належить до будь-якої зі смуг. Для задоволення вимог МСЕ 4G в технології LTE-Advanced підтримуються три сценарії агрегації компонентних несучих: агрегація суміжних несучих всередині діапазону, несуміжних несучих всередині діапазону і несуміжних несучих в різних діапазонах. Розніс між центральними частотами суміжно-агрегованих компонентних несучих буде кратний 300 кГц для сумісності з частотою

растру 100 кГц і в той же час для того, щоб зберегти ортогональність піднесучих, рознос між якими становить 15 кГц. Залежно від сценарію агрегації розніс n × 300 кГц можна зменшити шляхом вставки невеликої кількості невикористаних піднесучих між суміжними компонентними несучими. У разі суміжній агрегації можна задати більш широкий проміжок між компонентними несучими, але це зажадає визначення нових, трохи більш широких компонентних несучих.

Абонентське обладнання (АТ) LTE-Advanced, що володіє можливостями прийому або передачі з агрегацією несучих, здатне одночасно приймати або передавати кілька компонентних несучих

Максимальний розмір однієї компонентної несучої обмежений 110 ресурсними блоками (РБ), хоча з міркувань простоти і зворотної сумісності малоймовірно, що буде вказано щось інше, крім запропонованого значення 100 РБ. Можлива агрегація до п'яти роздільних несучих. В абонентському обладнанні LTE-Advanced не може бути використано більше компонентних несучих для висхідного каналу, ніж для низхідного. У стандартній реалізації TDD (тимчасової метод дуплексного розділення каналів) кількість компонентних несучих для висхідного і низхідного каналу, як і смуга пропускання кожного з них, повинні бути однаковими.

Щоб встановити відповідність між фізичним рівнем (PHY) і інтерфейсом рівня управління доступом до середовища (MAC), буде потрібно один транспортний блок (за відсутності просторового мультиплексування) і один об'єкт HARQ для кожної запланованої компонентної несучої. (HARQ є протокол управління повторною). Кожен транспортний блок буде відповідати тільки однієї компонентної несучої. В абонентському обладнанні може бути передбачена одночасна робота на декількох компонентних несучих.

Методи агрегації не є новими для 4G - агрегація вже використовувалася в технологіях HSPA і 1xEV-DO, версія B. Однак запропоноване в 4G розширення агрегації до 100 МГц в декількох діапазонах є технічно

проблематичним через високу вартість і складності абонентського обладнання, що підтримує дану технологію . Крім того, оператори повинні будуть вирішити, які діапазони вибрати для агрегації, і пройде деякий час, перш ніж різні виробники обладнання порозуміються з цього питання. Організація 3GPP спочатку визначила 12 ймовірних сценаріїв реалізації для визначення вимог до побічних випромінювань, максимальної потужності і іншим чинникам, що з суміщенням різних радіочастот в одному пристрої. Однак через велику кількість сценаріїв і обмеженого часу дослідження LTE-Advanced спочатку обмежена двома сценаріями - одним прикладом для режиму TDD всередині діапазону і одним прикладом для режиму FDD в різних діапазонах.

Розширений множинний доступ в прямому з'єднанні

Сучасний висхідний канал LTE побудований на основі потужної технології SC-FDMA, що використовує багато переваг OFDM з низьким значенням відносини пікової потужності до середньої (peak to average power ratio, PAPR) для системи з однією несучою. Однак технологія SC-FDMA вимагає розподілу несучої по суміжних блокам спектра, і це заважає досягти запланованої гнучкості, властивої OFDM в чистому вигляді.

У LTE-Advanced поліпшена технологія множинного доступу в висхідному каналі за рахунок прийняття кластерного SC-FDMA, також відомого як поширення дискретного перетворення Фур'є на OFDM (DFT-SOFDM). Ця схема схожа на SC-FDMA, але має ту перевагу, що дозволяє виділити несуміжні (кластерні) групи піднесуть для здійснення передачі за допомогою одного АТ. В результаті стає можливим частотно-виборчі планування в висхідному з'єднанні, і забезпечуються кращі параметри каналу. Вибір кластерного SC-FDMA замість чистої технології OFDM дозволив уникнути значного збільшення PARP. Це допоможе задовольнити

вимоги до підвищеної спектральної ефективності в висхідному каналі при збереженні зворотної сумісності з LTE.

На рис. 1.5 представлена функціональна схема, що описує процес вдосконаленого множинного доступу в висхідному каналі (кластерного SC-FDMA). Існує тільки один транспортний блок і один гібридний об'єкт ARQ для кожної запланованої компонентної несучої. Кожен транспортний блок відображається однією компонентної несучої, а АТ може плануватися одночасно на багатьох компонентних несучих з використанням агрегації несучих, як було показано в попередньому розділі.

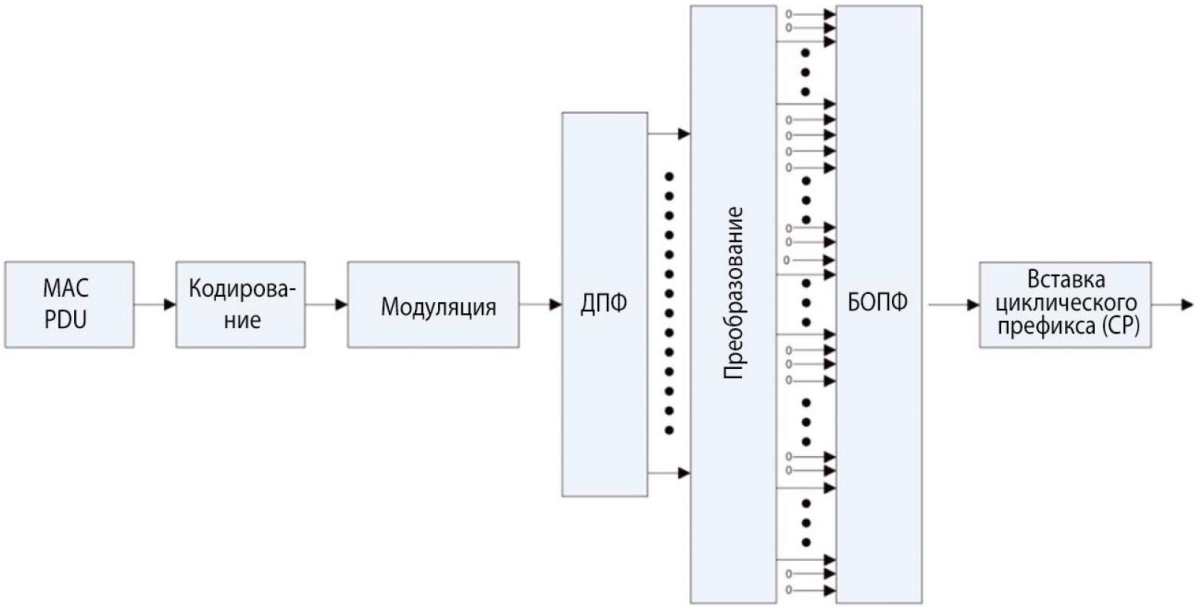


Рис. 1.5 - Функціональна схема вдосконаленого множинного доступу в висхідному каналі

На рис. 1.6 представлені приклади різних конфігурацій висхідних з'єднань, ключовим моментом є те, що всі зміни версії 8 мають одну несучу. Це означає, що величина PAPR не більш, ніж в основних форматах QPSK або 16QAM, в той час як у версії 10 можна передавати більше однієї несучої, що збільшує значення PAPR в порівнянні з версією 8.

Відзначимо, що кілька несучих розглядається в цьому випадку як частина кластерного SC-FDMA, а канали PUCCH / PUSCH одночасно знаходяться в одній компонентній несучій. Їх не слід плутати з декількома компонентними несучими агрегації несучих (АН). Підготовлені специфікації, ймовірно, обмежать число SC-FDMA кластерів до двох, що забезпечить деяке поліпшення спектральної ефективності на один кластер при передачі через частотно-виборчий канал з більш ніж одним явним піком.

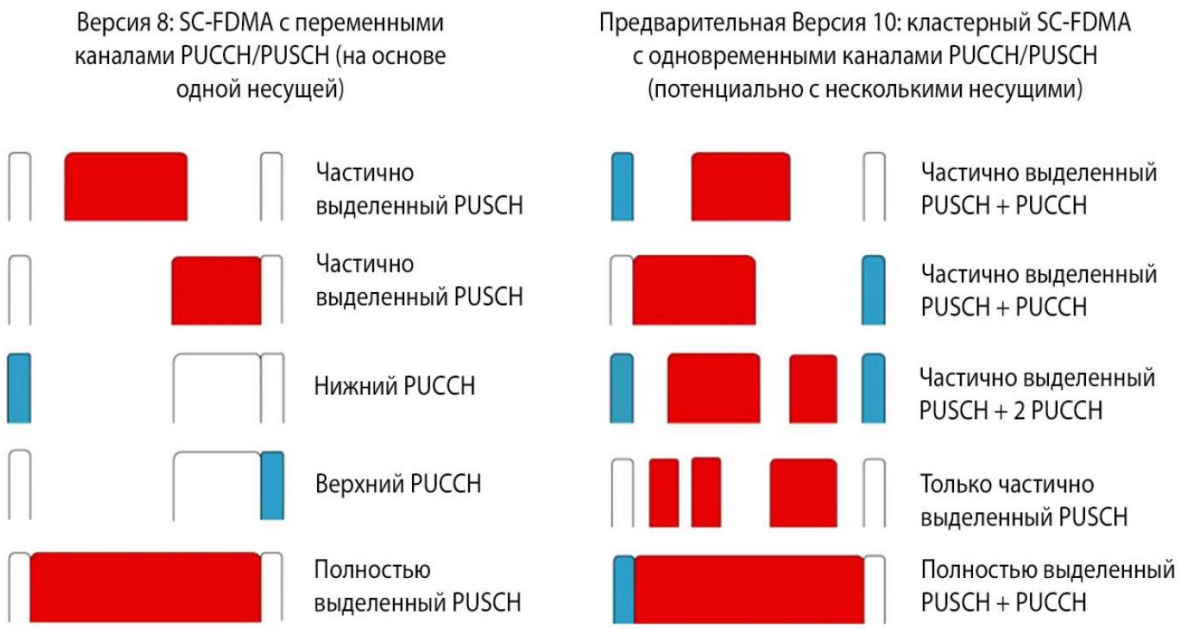


Рис. 1.6 - Порівняння конфігурацій висхідного з'єднання в версії 8 і попередньою версією 10

Підсумувавши всі попередні розробки, можна зробити висновки, що які параметри передбачає стандарт LTE-Advanced (Rel.10) [13]:

Технологія множинного доступу:

Низхідний канал (Downlink – DL) – OFDMA;

Висхідний канал (Uplink – UL) – SC-FDMA;

Робочий діапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4-2,5 ГГц; 2,6-2,7 ГГц.

До вже наявних частотних діапазонів так само додаються наступні:

− 450-470 МГц;

− 698-862 МГц;

− 790-862 МГц;

− 2.3-2.4 ГГц;

− 3.4-4.2 ГГц;

− 4.4-4.99 ГГц.

Бітова швидкість:

− низхідний канал (DL) MIMO 4TX×4RX: 1 Гбіт/с;

− висхідний ній канал (UL): 500 Мбіт/с.

Ширина смуги радіоканалу: до 100 МГц.

Радіус стільника: 5-30 км.

Ємність стільника (кількість обслуговуваних абонентів):

− більше 200 користувачів при смузі 5 МГц;

− більше 400 користувачів при смузі більше 5 МГц.

Мобільність: підтриманняз'єднань з мобільними користувачами, які рухаються зі швидкістю до 350 км/год (або навіть до 500 км/год, залежно від використовуваних частот). Продуктивність системи має бути поліпшена для користувачів зі швидкістю від 0 до 10 км/ч. Для більш мобільних користувачів (з більш високими швидкостями) продуктивність системи як мінімум не повинна бути гірше, ніж в Rel.8.

У LTE-Advanced додається підтримка MIMO:

− Низхідний канал (DL): 8TX×8RX;

− Висхідний канал (UL): 4TX×4RX.

Значення затримки (latency): 10мс.

Спектральна ефективність: для низхідного каналу 3.7біт/с/Гц/сектор (при конфігурації 4x4, тобто 4 передавальні й 4 прийомні антени), а для висхідного каналу – 2.0 біт/с/Гц/сектор (при конфігурації 1x4).

Підтримувані типи модуляції:
Низхідний канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.
Висхідний канал (UL): QPSK, 16 QAM.

Дуплексне розділення каналів: FDD (Frequency Division Duplex) і TDD (Time Division Duplex).

Низхідний канал (Downlink)

Технологія ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) заснована на формуванні багаточастотного сигналу, що складається з безлічі піднесучих частот, що відрізняються на величину, вибрану з умови ортогональності сигналів на сусідніх піднесучих коливаннях. При формуванні OFDM сигналу потік послідовних інформаційних символів тривалістю розбивається на блоки, що містять N символів. Далі блок послідовних інформаційних символів перетворюється в паралельний, в якому кожен із символів відповідає певній піднесучій багаточастотного сигналу. Причому при цьому тривалість символів збільшується в N разів. Таким чином, сумарна ширина спектру багаточастотного сигналу відповідає ширині спектру вихідного послідовного сигналу.

Метою такого перетворення є захист від вузькосмугових перешкод (або від часткових спотворень спектру в результаті перевідбиттів і багатопроменевого поширення). Це досягається тим, що паралельні символи багаточастотного сигналу є кодове слово перешкодостійкого коду (наприклад, коду Ріда-Соломона), який дозволяє їх відновити в разі помилкового прийому за рахунок спотворень спектру. Частотно-часове представлення OFDM сигналу представлено на малюнку 1.7. Перетворення сигналу з тимчасової в частотну область забезпечується дискретним перетворенням Фур'є (DFT - Discrete Fourier Transform).

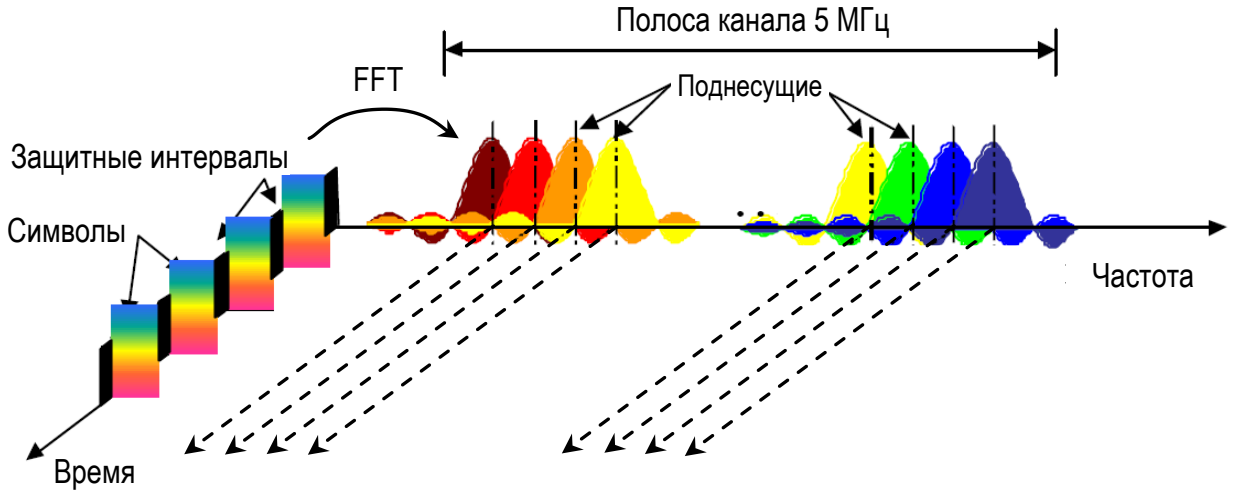


Рис. 1.7 - Частотно-часове представлення OFDM сигналу

Крім того, перевага OFDM полягає в зменшенні необхідної кількості тимчасових захисних інтервалів. При послідовному сигналі захисні інтервали додаються між кожними символами, а при багаточастотному - між групами символів (OFDM-символами).

Особливостями сигналів OFDM є:

- Мультиплексування несучих коливань (званих поднесущими), модульованих інформаційними символами за обраним законом (QPSK, 16QAM, 64QAM);

- поднесучі ортогональні (взаємна кореляційна функція дорівнює нулю), або квазіортогональних (на практиці);

- Кожен OFDM-символ має захисний часовий інтервал для виключення міжсимвольної інтерференції. Цей захисний інтервал вибирається з урахуванням імпульсної характеристики лінії зв'язку (фізичного середовища поширення радіосигналу).

Принцип формування OFDM-сигналу показаний на рис.1.8.

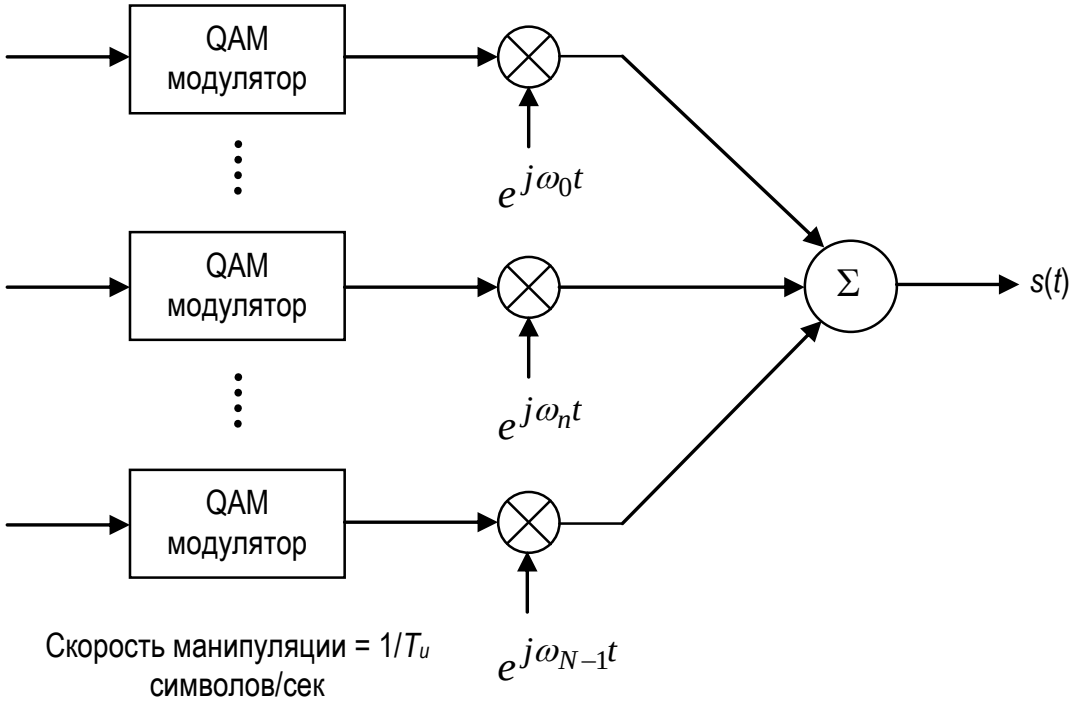


Рисунок 1.8 - Принцип формування OFDM-сигналу

Висхідний канал (Uplink)

Особливістю лінії «вниз» мережі LTE є використання технології множинного доступу SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) с однієї несучої частотою і середньою потужністю передачі PAPR. Виняток взаємовпливу користувачів досягається введенням циклічних префіксів і використанням ефективних еквалайзерів в прийомних пристроях. Основна конфігурація антен лінії «вгору» при використанні MIMO передбачає використання двох передавальних антен на мобільному терміналі і двох прийомних антен на базової станції.

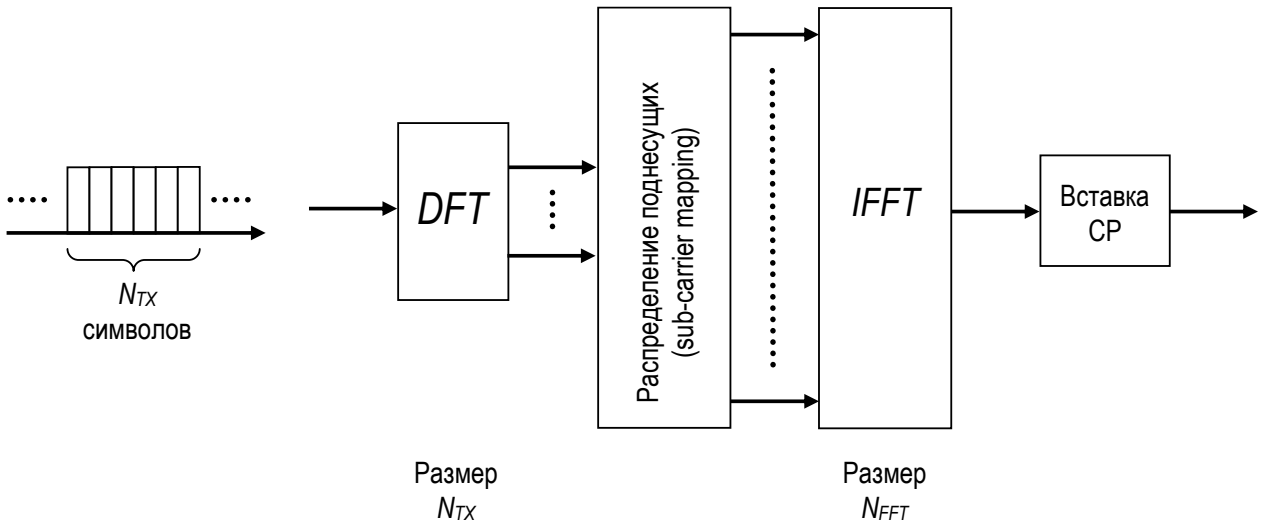
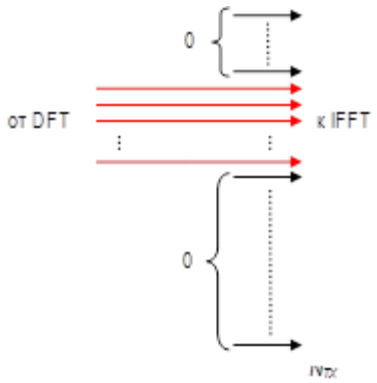


Рис. 1.9 - Структурна схема передавального пристрою SC-FDMA

В процесі модуляції OFDM в технології множинного доступу SC-FDMA використовується дискретне перетворення Фур'є DFT (рис. 1.10).



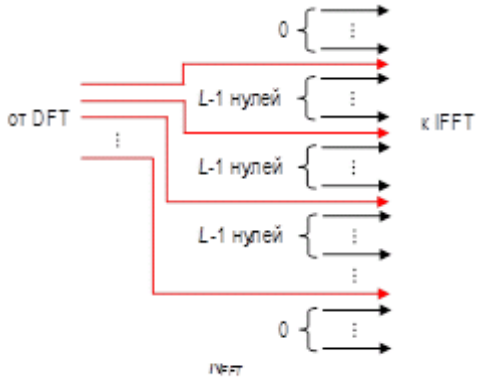


Рис. 1.10а - Послідовний метод формування OFDM піднесучих

Рис. 1.10б - Змішаний метод формування OFDM піднесучих

При формуванні групового сигналу в лінії «вгору» для кожного терміналу вирішується, яка частина піднесучих використовується (заповнюється даними), а яка ні (заповнюється «нулями»). Між кожними виходами дискретного Фур'є вставляється L-1 нульових символів.

При послідовному розподілі піднесучих L = 1 (рисунок 6а), тобто між сигналами з виходу перетворювача DFT не вставляти нульові поднесучі (L-1 = 0). При змішаному розподілі (малюнок 6б), L> 1.

Якість обслуговування в мережах LTE

Концепція системи QoS для мереж UMTS мобільного зв'язку 3-го покоління визначена в специфікації TS 23.107, і використовується також для мереж LTE 4-го покоління.

При розробці і впровадженні системи якості обслуговування до атрибутів такої системи пред'являються наступні загальні вимоги.

- Кількість і значення атрибутів повинні бути такими, щоб забезпечити можливість багаторівневої градації користувачів.

- Використання механізму QoS не повинно заважати політиці ефективного використання радіо-ресурсів, незалежного розвитку базової мережі та мережі радіодоступу.

- Все атрибути і їх комбінації повинні мати однозначно певні значення.

Виходячи з перерахованих загальних вимог до якості обслуговування, в специфікаціях сформульовані конкретні технічні вимоги, що стосуються набору параметрів QoS.

- Механізми QoS функціонують в рамках тимчасової (peertopeer) моделі організації зв'язку в межах "призначений для користувача термінал - мережевий шлюз", забезпечуючи взаємно-однозначне відображення між мережевими послугами та зовнішніми додатками.

- Управління якістю обслуговування здійснюється на основі кінцевого, по можливості, мінімального набору параметрів QoS, що підтримують ефективне використання радіоресурсів, а також асиметричне функціонування наскрізних каналів.

- Методи управління QoS реалізуються на основі послідовних сесій, стосовно пакетної передачі даних, в тому числі, до мультіпотоковой передачі, коли кілька різних потоків мають один і той же адресу.

- Мережеві погіршення і ускладнення, викликані впровадженням системи якості обслуговування, повинні бути по можливості мінімізовані, так

само, як і кількість додаткової інформації, що зберігається та передається в мережі.

- Призначені для користувача додатки повинні мати можливість індикації значень QoS при передачі даних в різних мережевих вузлах.

- Система якості обслуговування повинна бути динамічною, що дозволяє змінювати параметри QoS протягом активної сесії.

Розглянемо архітектуру системи якості обслуговування і передачу послуг в рамках такої системи, на прикладі випадку, коли зв'язок здійснюється між кінцевим обладнанням (ГО), підключеним до призначеного для користувача терміналу мобільного мережі, і термінальним обладнанням, розташованим у зовнішній пакетної мережі.

Аналогічно поняттю наскрізного каналу вводиться поняття наскрізної послуги (end-to-endservice) як послідовності дій між двома кінцевими користувачами і, відповідно, частин послуг - по їх відношенню до певних мережевим складовими: в локальному каналі "кінцеве обладнання - термінал" (Terminal Equipment / Mobile Terminallocal BearerService), в каналі мережі LTE (LTE Bearer Service), в зовнішньому каналі (External Bearer Service). Таким чином, виникає багаторівневу взаємодію при передачі послуги в різних мережевих вузлах і на різних рівнях.

Передача послуги з мережі LTE розглядається, відповідно до мережевої архітектурою, окремо в мережі радіодоступу (Radio Access Bearer Service), де забезпечується конфіденційна передача даних користувача або із заздалегідь обраним або встановленим за замовчуванням рівнем якості обслуговування, і в базовій пакетної мережі (Core Network Bearer Service), також здатної підтримувати різну якість обслуговування.

Перерахуємо і коротко опишемо основні функції мережі LTE, пов'язані з управління якістю обслуговування. У користувальницької площині такі функції спрямовані на підтримку призначеного для користувача трафіку і сигналізації з певними обмеженнями, встановленими параметрами QoS.

Функція відображення (MF, Mapping Function) забезпечує наділення кожного призначеного для передачі пакета даних відповідними параметрами QoS.

Функція класифікації (CF, Classification Function) призначена для виставлення пакетів даних параметрів QoS, призначених для певного ПТ, в тому випадку, якщо для цього ПТ в мережі встановлено кілька каналів передачі послуг.

Функція управління ресурсами (RMF, Resource Manager Function) розподіляє доступні ресурси між послугами відповідно до параметрів QoS.

Функція узгодження (очищення) трафіку (TCF, Traffic Conditioner Function) забезпечує узгодження між потоком призначених для користувача даних і встановленим рівнем якості обслуговування. Ті пакети даних, які не відповідають виставленим параметрам QoS, будуть відкинуті або позначені як невідповідні для подальшого відкидання після накопичення.

У площині управління, як зазвичай, зосереджені функції, необхідні для реалізації механізмів управління та контролю.

Функція управління послугами (SMF, Service Manager Function) є координуючою функцією при установці, модифицировании і управлінні послугами, а також керуючої для функцій управління якістю обслуговування в призначеній для користувача площині.

Трансляційна функція (TF, Translation Function) перетворює внутрішні примітиви послуг мережі LTE в модулі різних протоколів взаємодіючих зовнішніх мереж, включаючи перетворення атрибутів послуг мережі LTE в параметри QoS протоколів зовнішніх мереж.

Функція управління можливостями (A / CCF, Admission / Capability Control Function) забезпечує інформацією про всі можливі ресурси мережевих вузлів, визначаючи при кожному запиті (або модифікуванні) послуги, чи можуть мережеві вузли забезпечити необхідні ресурси. Ця функція також контролює можливість надання самої послуги, тобто реалізована чи в мережі запитувана послуга.

Функція управління підпискою (SCF, Subscription Control Function) забезпечує контроль доступності різних послуг для абонентів з необхідними параметрами QoS.

У мережах LTE доставку виробляють за допомогою наскрізних каналів (bearer) з відповідною якістю обслуговування (Quality of Service, QoS), найбільш важливими з яких є:

- класи трафіку,
- затримки,
- надійність,
- пріоритети,
- швидкості передачі.

В рамках вимог QoS всі типи послуг поділяються на 9 класів, кожному з яких відповідає ідентифікатор QCI (QoS Class Identifier). Крім цього, організовувані для передачі трафіку наскрізні канали підрозділяються на 2 групи відповідно до типу виділяється ресурсу:

- з гарантованою швидкістю передачі GBR (Guaranteed Bit Rate),
- з негарантованої швидкістю передачі Non-GBR.

Якісні показники передач для трафіку 9 різних класів наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Якісні показники передач для трафіку 9 різних класів

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

8		8	300	10^{-6}	Відео з буферизацією, TPC/IP послуги
9		9			

При реалізації передачі даних з гарантованою швидкістю eNB повинен управляти ресурсами в динамічному режимі. Послуги класів QCI 1,2, 3 і 7 - це послуги, що надаються абоненту в реальному часі за протоколом UDP / IP. Основним обмежуючим фактором для їх реалізації є допустима затримка в доставці пакетів.

Значення PERL (Packet Error Loss Rate) показує надійність передачі пакетів, яке оцінюється за відносною величиною неприйнятих пакетів. Величина PERL ≤ 10-6 досягається при доставці пакетів за допомогою протоколу TCP / IP. Найбільший пріоритет має сигнальний трафік. Клас 9 застосовується за умовчанням при доставці TCP / IP трафіку (читання файлів з Інтернету, E-mail, відео) непривілейованих користувачам.

Передачу сервісного потоку даних конкретної послуги здійснюють за допомогою наскрізного каналу (bearer) відповідного класу QCI. Основними параметрами, що характеризують наскрізний канал, є:

- для GBR класів передачі гарантована і максимальна швидкість передачі, яка не може бути перевищена,
- встановлений і зберігається пріоритет.

Для наскрізних каналів з негарантованої швидкістю передачі встановлюють сумарне швидкість передачі потоків по всіх каналах. Наскрізні канали GBR класів - це виділені канали.

1.2 Класифікація малих стільників 4-го покоління

З кожним наступним поколінням зв’язку швидкість передачі інформації збільшується, що зумовлене ущільненим розміщенням БС та вдосконаленням їх функцій. При цьому радіус стільників зменшується. У 4-му поколінні радіозв’язку використовують так звані малі стільники (з англ. – smallcells), до яких відносять мікро-, піко- та фемтостільники. Вони являють собою малопотіжні бездротові точки доступу, які працюють в дозволеному частотному спектрі та управляються оператором.

Мікростільник – це по суті звичайна БС, але менш габаритна та менш продуктивна. Теоретичний максимальний радіус її дії – 1 км, але на практиці це частіше 400-600 м. Потужність таких БС 3-10 Вт (для порівняння, потужність стандартної БС 20-30 Вт.

Пікостільник – також малопотужна та малогабарита станція стільникового зв'язку, призначена для обслуговування невеликої території (одного офісу або квартири). Вона з'єднується з мережею стільникового оператора через публічний інтернет, що підведений до користувача. Бувають декількох типів: домашні та офісні, тобто доцільніше їх використовувати всередині приміщення. Пікостільники здатні різко поліпшити покриття саме в тих точках, де це необхідно. Вони надають ті ж функції, що й «великі» стільники, але знаходяться в одному зручному для встановлення контейнері. Для звичайного мобільного оператора це дає можливість поліпшити покриття і ємність мережі, особливо всередині будівель. Також з'являється можливість надавати додаткові послуги за зниженими цінами і економити на обладнанні.

Фемтостільники дещо інакші–вони не є самостійними базовими станціями, - це лише виносний елемент для прийому і передачі сигналу, що вимагає підключення до стандартного контролера «великої» базової станції. Таке підключення може бути організовано через дешеві інтернет-мережі. При цьому виникає проблема меншої захищеності переданого сигналу,

надійності каналу і не розрахованість контролерів базових станцій на велику кількість ведених передавачів. Питання захищеності вирішується шляхом використанняVPN.

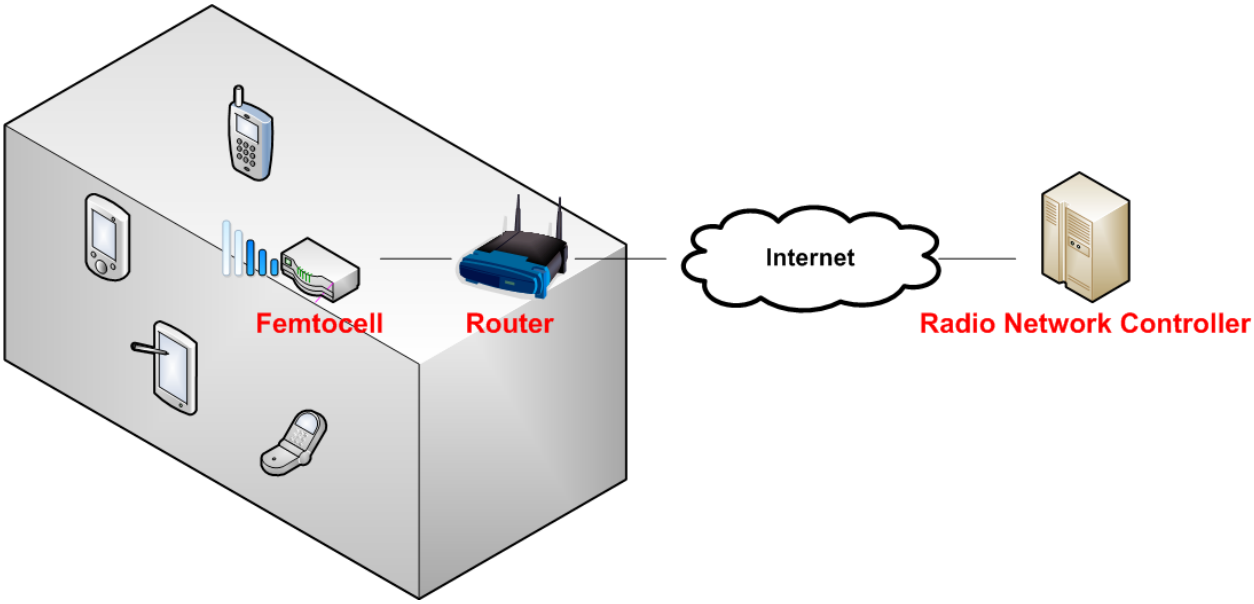


Рис. 1.4 – Приклад мережі із фемтостільниками

Фемтостільники працюють у двох режимах – відкритому та обмеженого доступу. У першому випадку, всі UE, що знаходяться у радіусі дії фемтостільника, можуть користуватися його зв’язком. За обмеженого доступу дозволено працювати лише окремим SIM-картам, що прописані на цьому фемтостільнику.

Основною перевагою є можливість організації покриття в тих місцях, де сигналу стільникового зв’язку немає (наприклад, підвальні приміщення, кафе, клуби, віддалені об’єкти. Проте, якщо зовнішній макростільник іншого покоління зв’язку, аніж фемтостільник, то з’єднання перерветься.

Площа покриття однієї міні-базової станції 100-200 м^2, за необхідності можна встановити декілька фемтоточок та збільшити радіус дії мережі.

1.3 Постановка задачі дослідження

Згідно зі стандартом мереж мобільного зв'язку 4G, малі стільники розгортатимуться в майбутніх мережах для поліпшення покриття у деяких областях з низьким рівнем сигналу. Через щільне розміщення малих стільників з невеликим радіусом, що передбачено у мережах 4G, процедури мобільності користувача ініціюються частіше (див малюнок 1.5). Тому, відбувається частіше сканування більшої кількості об’єктів навколо UE. Крім того, кожна передача обслуговування продукує надмірну інформацію управління і це спричиняє переривання зв'язку у користувача. Всі ці аспекти призводять до падіння пропускної здатності таQoS. І що щільніше розташування стільників, тим гіршою стає ситуація. Таким чином, велике і ефективне розгортання малих стільників вимагає оптимізації принципів підтримки мобільності користувача для забезпечення постійно високого рівня якості обслуговування.

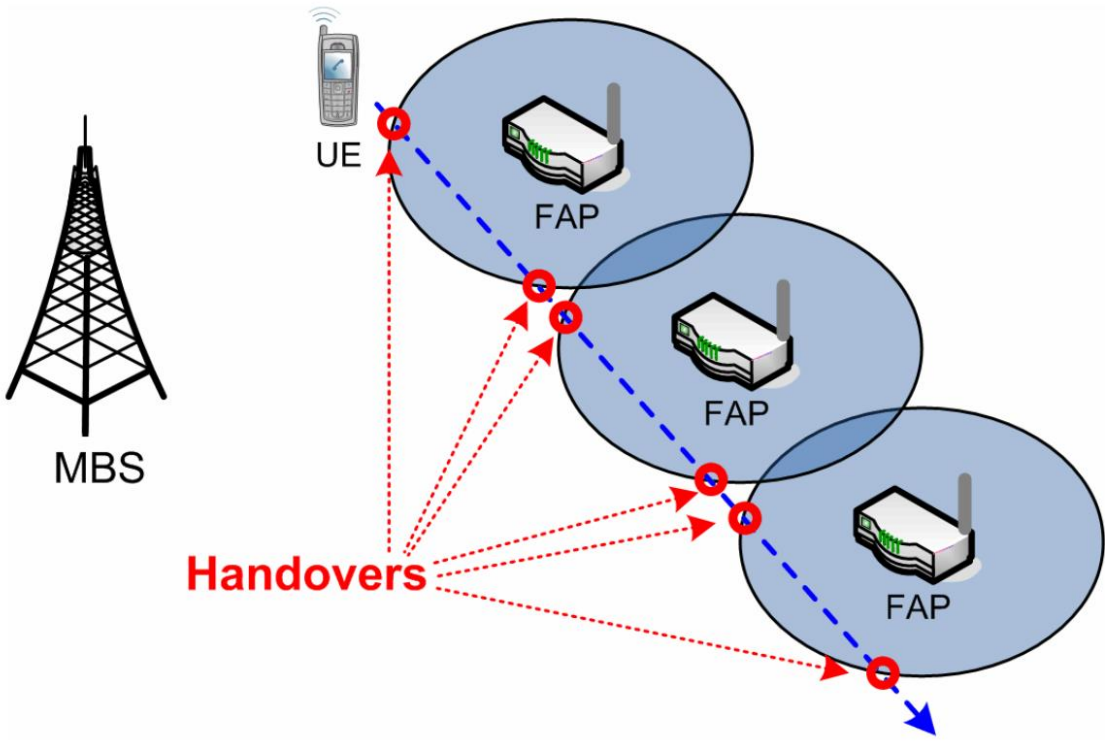


Рис. 1.5 – Приклад частої ініціації ПОб

Вище зазначені недоліки можуть бути зведені до мінімуму або навіть повністю усунені шляхом впровадження FCS. Однак розгортання FAPs спричиняє ряд інакших проблем в управлінні активним набором, які мають бути вирішені для ефективного відбору стільників, які повинні бути включені в активний набір для FCS в мережах 4G з FAP. По-перше, в звичайних FCS з приглушенням частоти, якщо UE споживає значну частину ресурсів на FAP (наприклад, через низький рівень сигналу), не можуть використовуватись одні й ті ж ресурси (на одних і тих же частотах і в одних і тих же часових інтервалах) по MBS, включених в той самий активний набір. Таким чином, це може обмежити радіо ємність MBS. Ця ситуація показана на малюнку 1.6. Активний набір з UE1 містить два FAP, а також один MBS. Якщо FAP1 передає дані на UE1 на частотах, відповідних RB # 0 до # 6 РБ, ці частоти не можуть бути зайняті ні FAP 1, ні MBS. З одного боку, усуваються інтерференції *IMBS-UE1* та *IFAP2-UE1* і менше RBs споживаються в FAP1 для обслуговування UE1. З іншого боку, RBs на частотах, відповідних тим, які використовуються в FAP1 для доставки даних до UE1, витрачаються даремно. У разі щільного розміщення FAPs, це може привести до ситуації, коли більша частина ресурсів MBS не може бути використана через зайнятість її FAPs, які залучені в активних наборах UE, поряд з MBS.

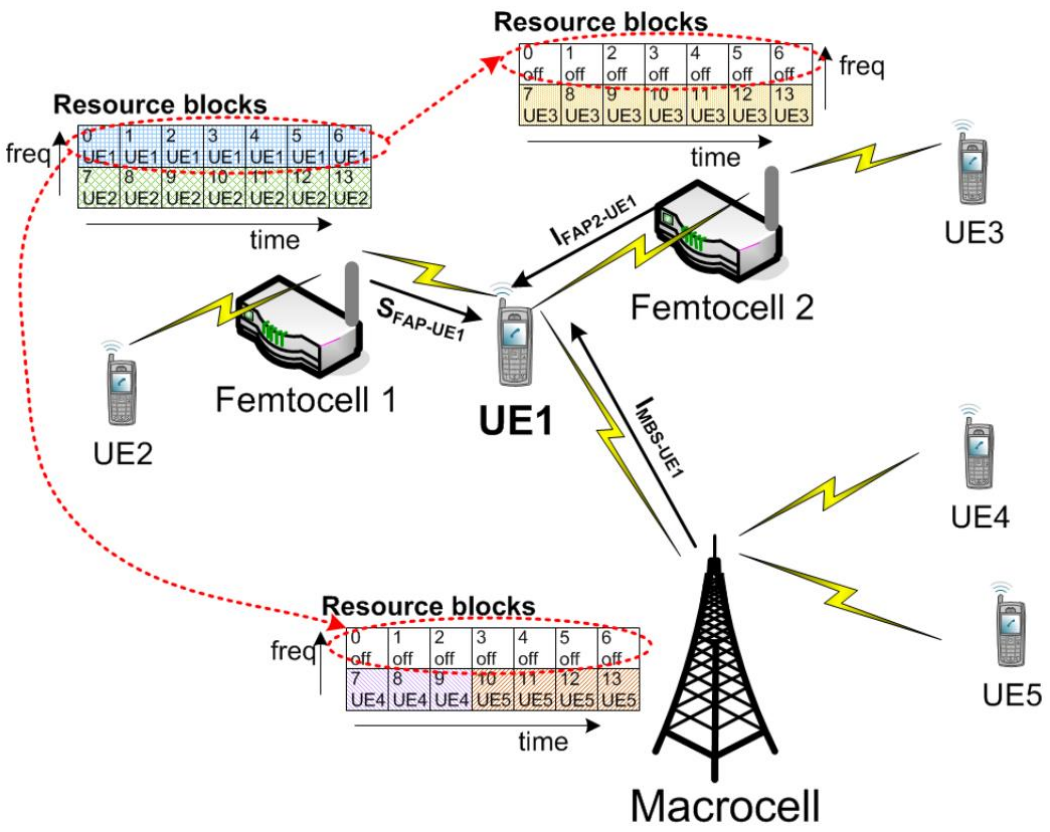


Рис. 1.6 – Стримання перевикористання частоти у FCS з FAP.

По-друге, якщо FCS дозволено, то дані користувача, що призначені для кожного UE, повинні бути направлені на всі стільники з цього активного набору. (див. рис. 1.7).

Через обмеження опорної мережі FAP, включення FAPs в активних наборах має враховувати також здатність транспортної мережі в окремому стільнику, особливо якщо FAP неактивний при передачі до UE. Така ситуація зображена на рис. 3. Дані, призначені для UE1, мають бути спрямовані до обох FAPs з активного набору UE1. Отже, опорні мережі обох FAPs завантажені всіма даними (в нашому випадку, сіма пакетами). Проте, тільки частина з цих пакетів передається. Так, наприклад, пакети, # 2 і # 6 не передаються по FAP1 на рис. 1.7. Ці пакети відкидаються. На стороні FAP2 тільки два пакети з семи передаються в UE1. Інші п'ять пакети відкидаються, а тільки вони збільшують навантаження на FAP2опорної мережі. Ця проблема не виникає у випадку з MBSs тільки якщо опорна мережа MBS має

дуже високу ємність. Проте, транспортна мережа з FAPsзазвичай має нижчу якість.

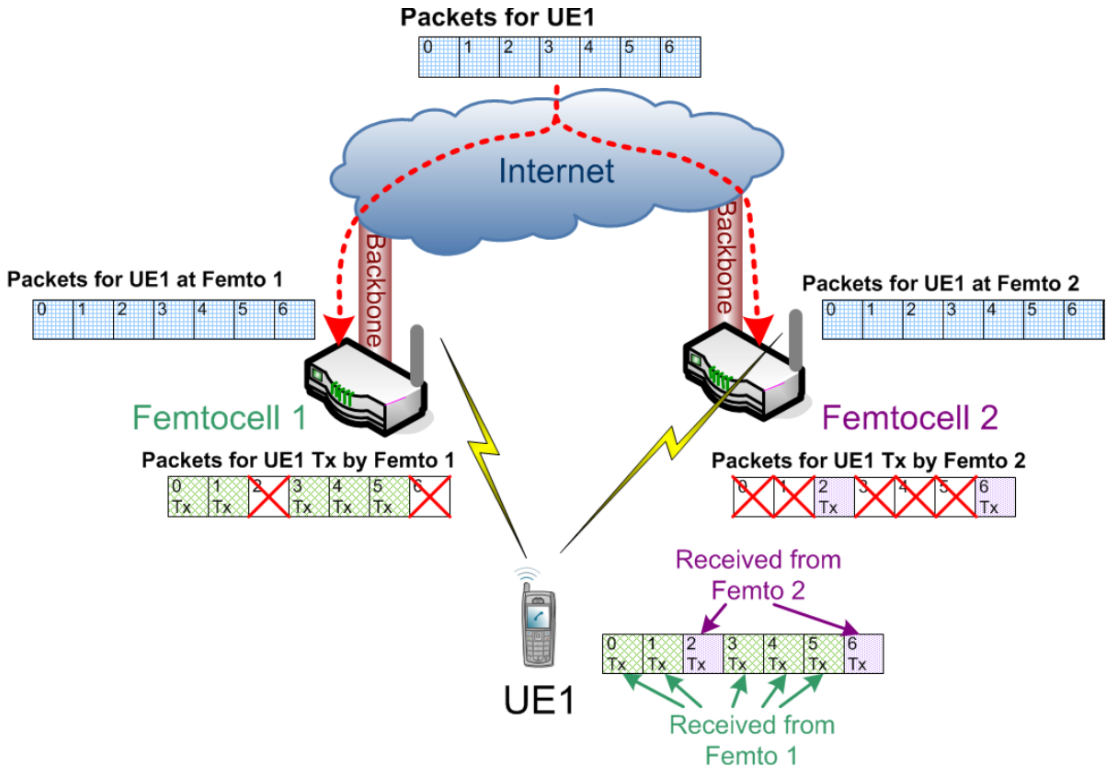


Рис. 1.7 – Шлях, що проходять дані до UE у випадку FCS з FAP

По-третє, FAP опорної мережі є також змінної якості. Якщо два FAP перебувають в активному наборі UE, ми можемо припустити, що вони належать до одного оператора (в іншому випадку, FCS буде неможливим, так як користувач зазвичай підписаний тільки на одного оператора). Якщо MBS і один або кілька FAPsвключені, ми повинні впевнитися, що дані будуть готові в той же час на всіх FAPs, а MBSsвключені в активний набір. У реальних мережах це означає збільшення затримки пакета на максимальну затримку доставки, що спостерігається серед всіх клітин в активному наборі, як виражено наступною формулою:

$$D = \max\{D_{1,A^i}, D_{2,A^i}, \dots, D_{j,A^i}\},$$

де D_{j,A^i} являє собою затримку *j-того* стільника, включеної в активному наборі *i-го* UE.

Висновки

Загальна мета цієї магістерської дисертації полягає у мінімізації негативного впливу процедур управління підтримки мобільності на продуктивність мережі та QoS, звичної користувачам.

Основна мета полягає в тому, щоб визначити алгоритми для виконання жорсткої ПОб, щоб мінімізувати кількість ініційованих ПОб. QoS користувачів і загальна продуктивність мережі поліпшуються.

Друга мета полягає у вивченні можливості реалізації FCS в мережах з малими стільниками і забезпечення посиленого алгоритму управління активним набором з урахуванням безліччю особливостей малих стільників.

Остання мета полягає в тому, щоб розробити механізм для зручного управління списком CSG, щоб забезпечити більш швидке розгортання CSG фемтостільників. Ця частина складається з пропозиції нових повідомлень управління і їх потоку для забезпечення можливості тимчасового доступу візитних користувачів.

Розділ 2. Передача обслуговування у мережах LTE

2.1 Жорстка передача обслуговування

2.1.1 Основні характеристики жорсткої ПОб

Звичайна жорстка ПОб базується на порівнянні рівнів сигналу обслуговуючого та цільового стільників. ПОб виконується, якщо рівень сигналу у цільовому стільнику вищий, ніж в обслуговуючому. Декілька методів, таких як Поріг Гістерезису (Hysteresis Margin - HM) [11], [12], Тригер часу (Time-To-TriggerTTT) або Метод Вікна (також відомий як усереднення сигналу) [11] визначаються таким чином, щоб усунути надлишкові передачі обслуговування в звичайних мережах без малих стільників. У випадку використання будь-якого звичайного способу для усунення надлишкових ПОб спостерігається падіння пропускної здатності. Це відбувається через короткий час, коли UE зв'язується з обслуговуючою станцією, навіть якщо потенційна цільова станція забезпечує канал більш високої якості. Зниження пропускної здатності є ще більш значним, якщо використовуються звичайні методи (наприклад, HM, TTT або Метод вікна) для усунення надлишкових ПОб в сценарії з малими стільниками [9].

ПОб може бути ініційована з кількох причин: наприклад, для забезпечення QoS користувачів, для поліпшення покриття або для балансування навантаження в мережах.

Для уникнення зайвих ПОб, які не здатні підвищити продуктивність ні користувачів, ні мереж, в стандартах/літературі визначають кілька методів, які змінюють умови для ініціації ПОб. В основному використовуються методи: HM, вікна (або метод усереднення сигналу), і TTT або поліпшений Handover Delay Timer (HDT) [30].

При реалізації HM, рішення ПОб та його ініціювання засновані на порівнянні одного або декількох параметрів сигналу (наприклад, CINR або

RSSI) обслуговуючого та цільового стільників. Ініціювання ПОб відбувається при перевищенні параметром сигналу цільового стільника параметру сигналу обслуговуючого стільника, щонайменше на значення гистерезису (Δ_{HM}):

$$s_t^{\text{ціл}} > s_t^{\text{обсл}} + \Delta_{HM}$$

де $s_t^{\text{ціл}}$ та $s_t^{\text{обсл}}$ є параметрами якості сигналу цільового та обслуговуючого стільників

У разі методу вікна, вирішення ПОб виконується, якщо середнє значення параметра спостережуваного сигналу (наприклад, CINRабоRSSI і т.д.) від обслуговуючого стільника падає нижче середнього рівня того ж параметра в цільогову (див формула (5)). Середнє значення обчислюється за кількістю вибірок, що позначаються як «розмір вікна» Window Size (WS).

$$\frac{\sum_{i=1}^{WS} s_i^{\text{ціл}}}{WS} > \frac{\sum_{i=1}^{WS} s_i^{\text{обсл}}}{WS}$$

де $s_i^{\text{ціл}}$ та $s_i^{\text{обсл}}$ представляють і-ту вибірку рівня спостережуваних параметрів сигналу цільового та обслуговуючого стільника відповідно.

Виконання HDT засноване на введенні короткої затримки між часом, коли умови ПОб буде виконано, і часом, коли виконується ініціювання ПОб. Ця затримка позначена як HDT. Умови ПОб повинні бути виконані протягом усієї тривалості HDT, щоб її ініціювати. Як правило, передача обслуговування виконується при:

$$s_t^{\text{обсл}} < s_t^{\text{ціл}} |\ t\epsilon(t_{HO}, t_{HO} + HDT)$$

де *HDT* представляє тривалість таймера затримки ПОб та t_{HO} - момент часу, коли умови ПОб виконано.

Ці методи добре працюють в звичайних мережах без FAP. Проте, при запровадженні FAP їх ефективність знижується [9]. Щоб подолати цю

проблему, запропонований наступний шлях поліпшення – адаптація всіх трьох методик (гістерезису, тригерного часу та методу вікна) .

2.1.2 Адаптація методик жорсткої передачі обслуговування

У звичайному методі гістерезису, рівень гістерезису є постійним. Адаптивна НМ заснований на модифікації значення Δ_{HM} відповідно до поточного розташування користувача у стільнику. Значення Δ_{HM} зменшується при русі UE до межі стільника. Це представлено в наступному рівнянні (визначено в [13]):

$$\Delta_{HM} = max\left\{\Delta_{HM,\max} \times (1 - \frac{d}{R})^4 ; 0\right\}$$

де НМ, не більше $\Delta_{HM,\max}$ є максимальним значенням НМ, яке може бути встановлено (в середині стільника); d - відстань між обслуговуючим MBS і UE; і R - радіус обслуговуючої MBS стільників.

Параметри d і R не можуть бути легко отримані або визначені ні через мережу, ні через UE (див малюнок 5). Особливо, коли FAP розгорнуті в мережах, їх точне положення залежить від користувача і не відоме оператору.

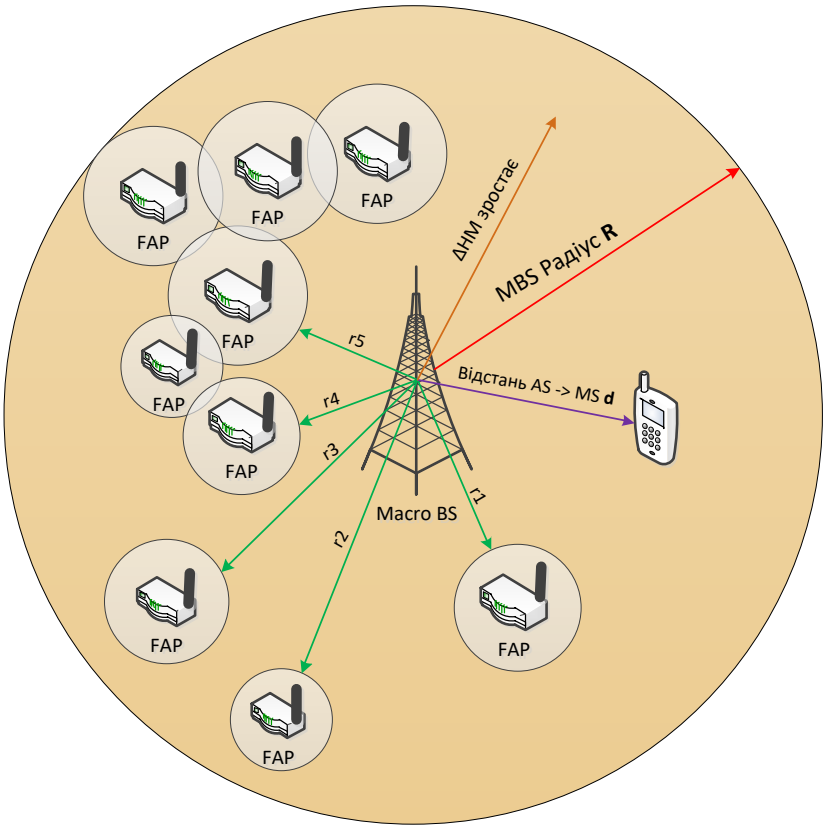


Рис. 2.1 - Принцип адаптації методу Межі гістерезису.

Тому ми пропонуємо замінити параметри *d* та *R*іншими метриками, які можуть бути використані більш легко і ефективно. Більшість моделей втрат на трасі описують співвідношення між відстанню *d* від UE в стільнику та від втрат на трасі (PL) наступним чином:

$$PL(\,d\,) \sim X(\,f\,) + N\,log_{10}\,(\,d\,)$$

де *X(f)* представляє залежність моделі втрат на трасі від частоти та інших умов, що використовуються в моделях; і *N*коефіцієнт пов'язаний з типом навколишнього середовища. Функції *X(f)* і *N*залежать від конкретної моделі втрат на трасі.

Рівень прийнятого сигналу на певній відстані *RSSI(d)* залежить від втрат у тракті передачі і потужності передачі MBS TP_{St}, як визначено у формулі:

$$RSSI(d) = TP_{St} - PL(d)$$

Крім того, відстань *d*може бути виражена як експоненціальна функція, що базується на (8) і (9) наступним чином:

$$RSSI = TP_{St} - (X(f) + N\,log_{10}(d))$$

$$log_{10}(d)) = \frac{1}{N}(TP_{St} - X(f) - RSSI)$$

$$d = 10^{\frac{1}{N}(TP_{St} - X(f) - RSSI)}$$

З огляду на (10), формула (7) може бути модифікована таким чином:

$$\Delta_{HM} = max\left\{\Delta_{HM,max} \times \left(1 - \frac{10^{\frac{1}{N}\times(TP_{st} - X(f) - RSSI)}}{10^{\frac{1}{N}\times(TP_{st} - X(f) - RSSI_{min})}}\right)^{EXP}; \Delta_{HM,min}\right\} =$$

$$= max\left\{\Delta_{HM,max} \times \left(1 - 10^{\frac{1}{N}\times(RSSI - RSSI_{min})}\right)^{EXP}; \Delta_{HM,min}\right\}$$

де EXP є експонентою (попередня адаптивна НМ визначається (7) дорівнює 4); і $\Delta_{HM,min}$є мінімальним значеннямНМ, яке може бути встановлено (в (7) дорівнює 0). Параметри EXP і $\Delta_{HM,min}$впливають на продуктивність адаптації НМ.

Радіус стільника, як правило, визначається як відстань, де досягається мінімальний допустимий рівень RSSI, позначений як *RSSImin*,. Типове значення RSSI на краю стільника дорівнює -90 дБм [31]. Проте, у випадку з FAP, радіус стільника впорядку десятків метрів, якщо розглядається модель втрати на шляху P.1238 MCE-R [32] (рисунок 6). Зверніть увагу, що втрати черезстіну в 10 дБ включені на межах будинку (рис. 6). Вплив радіусівFAP, які визначаються різним *RSSImin* на усунення надмірних ПОб, аналізується далі в цьому розділі.

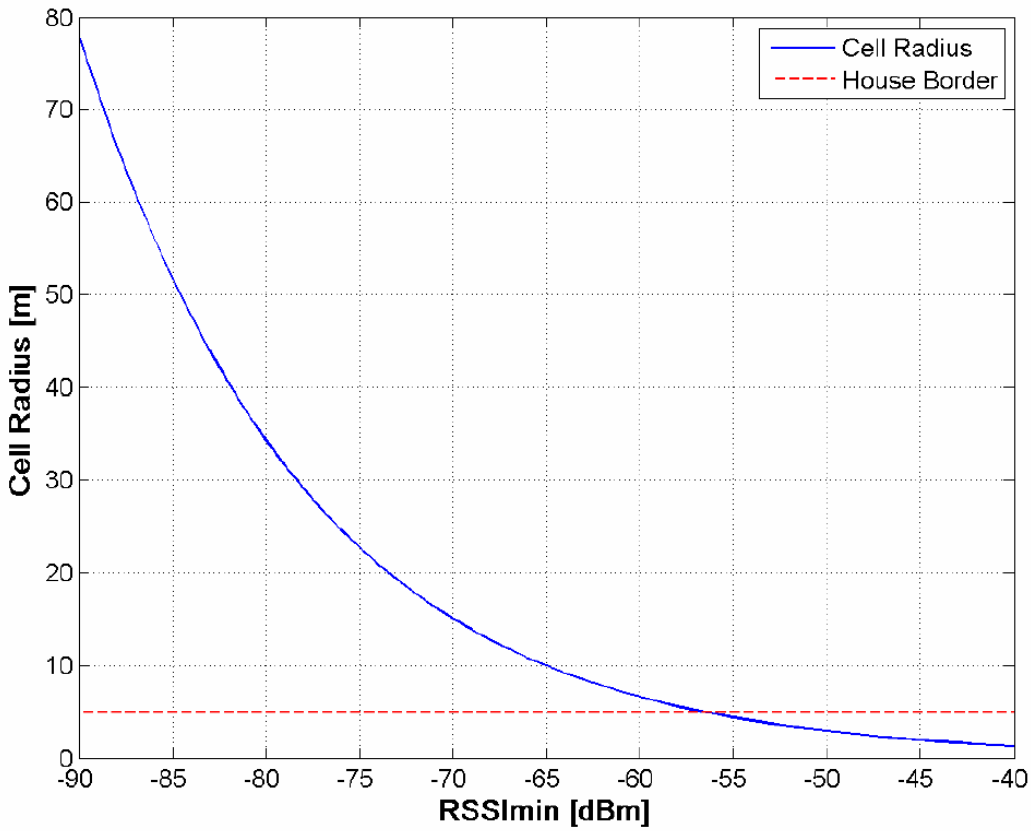


Рис. 2.2 - Радіус стільника з радіусом, більшим за *RSSImin* згідно з моделлю втрат на шляху ITU-R P.1238

Насправді, межа стільника не є ні регулярним колом, ні шестикутником, так як система не обмежена відстанню або рівнем сигналу, але ця інтерференція обмежена. Таким чином, форма стільників також сильно залежить від інтерференції. Отже, ми також досліджуємо вплив реалізації CINR замість RSSI для розрахунку фактичного рівня Δ_{HM}. Як правило, рівень сигналу залежить від перешкоди і шуму (IN) може бути описаний у відповідності з наступним рівнянням:

$$CINR = TP_{St} - PL - IN = RSSI - IN$$

Рівень CINR лежить в іншому діапазоні значень, ніж RSSI. У зв'язку з цим, він повинен бути пов'язаний із різницею між максимальним і мінімальним CINR в у досліджуваній області. Таким чином, фактичне Δ_{HM}згідно зCINR відбувається наступним чином:

$$\Delta_{HM} = max\left\{\Delta_{HM,max} \times \left(1 - 10^{\frac{CINR_{act} - CINR_{min}}{CINR_{min} - CINR_{max}}}\right)^{EXP}; \Delta_{HM,min}\right\}$$

де $CINR_{act}$ є фактичним CINR, вимірюється терміналом користувача; CINRmin і CINRmax - це мінімальне і максимальне значення відповідно.

Фактичний CINR з UE можна легко виміряти. Це, як правило, здійснюється з метою вирішення та ініціації ПОб. Проте, мають бути відомими також мінімальні і максимальні значення CINR для використання адаптивного HM. CINRmin відповідає радіусу стільників та рівню CINR, при якому здатен UE приймати дані. Таким чином, встановлюється фіксоване значення для кожногоFAP і MBS.

CINRmax може бути визначена двома способами: 1) вимір CINR за допомогою FAP в точці його розташування; або б) моніторинг і звітність про CINR усіма UE, підключеними до даного FAP, і далі при виборі найбільшого CINR з усіх відомих значень, на подобі CINRmax. Перший спосіб передбачає обладнати всі FAP з можливістю вимірювання CINR. Другий підхід використовує інформацію попередніх значень CINR. Оскільки канал є змінною часу, повинен бути визначений інтервал часу для вибору CINRmax. Параметр CINRmin показує число останніх зразків, використовуваних для отримання CINRmax. Оптимальне значення CINRmin аналізується далі в цьому розділі.

Аналогічна модифікація, як і для адаптивного HM, може бути зроблена для адаптації WS і HDT. Навіть якщо ні WS, ні HDT безпосередньо не пов'язані з рівнем сигналу, обидва впливають на час, витрачений користувачем під покриттям окремих стільників. Тому, обоє впливають на час вирішення ПОб. Через рух UE, час вирішення ПОб пов'язаний з рівнем сигналів, прийнятих від всіх сусідніх стільників. Фактичні значень для обох адаптивних методів визначаються наступними рівняннями:

$$WS = max\left\{WS_{max} \times \left(1 - 10^{\frac{CINR_{act} - CINR_{min}}{CINR_{min} - CINR_{max}}}\right)^4 ; WS_{min}\right\}$$

$$HDT = max\left\{HDT_{max} \times \left(1 - 10^{\frac{CINR_{act} - CINR_{min}}{CINR_{min} - CINR_{max}}}\right)^4 ; HDT_{min}\right\}$$

де *WSmax/min* та *HDTmax/min*є максимумом/мінімумом рівня WS та HDT відповідно.

2.2 Швидкий вибір стільника

2.2.1 Основні характеристики FCS

Навіть якщо всі запропоновані зміни, пов'язані з жорсткою ПОб можуть поліпшити продуктивність мережі, то переривань не уникнути. Крім того, погіршення якості каналу на краю стільника мають місце через сильну інтерференцію, якщо малі стільники та макроелементи знаходяться в одній смузі частот.

Щоб звести до мінімуму проблеми переривання ПОб, вводиться FCS. FCS була введена в 3GPP Release 99, як функція SSDT (Site Selection Diversity Transmission - Вибір сайту рознесеної передачі) (див [16], [17]). Необхідно визначити модифікації, потрібні для використання FCS в OFDMA мережах з малими стільниками. У разі FCS, AS визначається для кожного UE. AS складається з декількох сусідніх осередків UE. Сусідні клітини додаються/видаляються в/з AS в залежності від рівня сигналу, виміряного за допомогою UE [16].

Тому ми спочатку оцінюємо продуктивність FCS і порівнюємо її зі звичайною жорсткою ПОб в мережах з малими стільниками. Продуктивність оцінюється з точки зору надлишку управління та переривання передачі обслуговування.

К рім того, ми пропонуємо алгоритм більш ефективного управління активним набором, згідно зі специфікою дрібних стільників, для цього розглянемо розгортання FAPs.

Велика кількість ресурсів радіозв'язку MBS може бути витрачена даремно, якщо MBS буде включений в активному наборі разом з FAP зі слабким сигналом. На відміну від [19], [20], наша пропозиція ґрунтується на оцінці впливу поліпшення активного набору, на кількість споживаних радіо ресурсів MBS. Також розглянемо обмеження ємності опорної мережі FAP. Оскільки FAP повинні бути з'єднані головним чином за допомогою

бездротової технології ADSL, ємність опорної мережі значно нижча, ніж у MBS. Таким чином, при кожному включенні FAP в активний набір необхідно приймати до уваги обмеження опорної мережі. Крім того, затримка опорної мережі FAP є новим параметром, що враховується при оновленні активного набору в нашій пропозиції, так як ця затримка, як правило, вище, ніж у MBS.

Забезпечення безперебійної передачі обслуговування можна здійснити за допомогою м'якої ПОб або FCS. Основна відмінність між обома рішеннями полягає в способі передачі даних між UE і сусідніми стільниками, які включені до його активного набору. У разі м'якої ПОб всі стільники з активного набору одночасно передають дані і приймач їх комбінує. На противагу цьому, алгоритм FCS дає змогу UE та мережам вирішити, який стільник з активного набору UE є дійсно здатним посилати дані в наступному інтервалі часу передачі (TTI – Transmission Time Interval). З цією метою, FCS вибирає і оновлює найкращий стільник для передачі в кожному інтервалі передачі. В цьому випадку відсутне багаторазове посилання одних й тих самих даних, як у випадку з м’якою передачею обслуговування.

М'яка ПОб відома в якості спеціального прийому CDMA, що не може бути перенесена в системи, основані на OFDMA, якщо конкретні алгоритми не будуть використані на фізичному рівні для того, щоб домогтися співпраці між MBSS. FCS, насправді це метод, отриманий з м'якої ПОб CDMA.Як наслідок, його впровадження в системи на основі OFDMA з малими стільниками вимагає конкретної модифікації на фізичному рівні.

Ми будемо орієнтуватися на FCS через простіші вимоги до UE, ніж при м'якій передачі обслуговування. Проте, FCS в мережах з малими стільниками вводить нові ризики, пов'язані з малим радіусом стільника та обмеженості ємності (в разі фемтостільників).

Таким чином, ми оцінимо продуктивність мережі з невеликими стільниками, щоб показати, чи варто очікувати її підвищення в разі використання FCS.

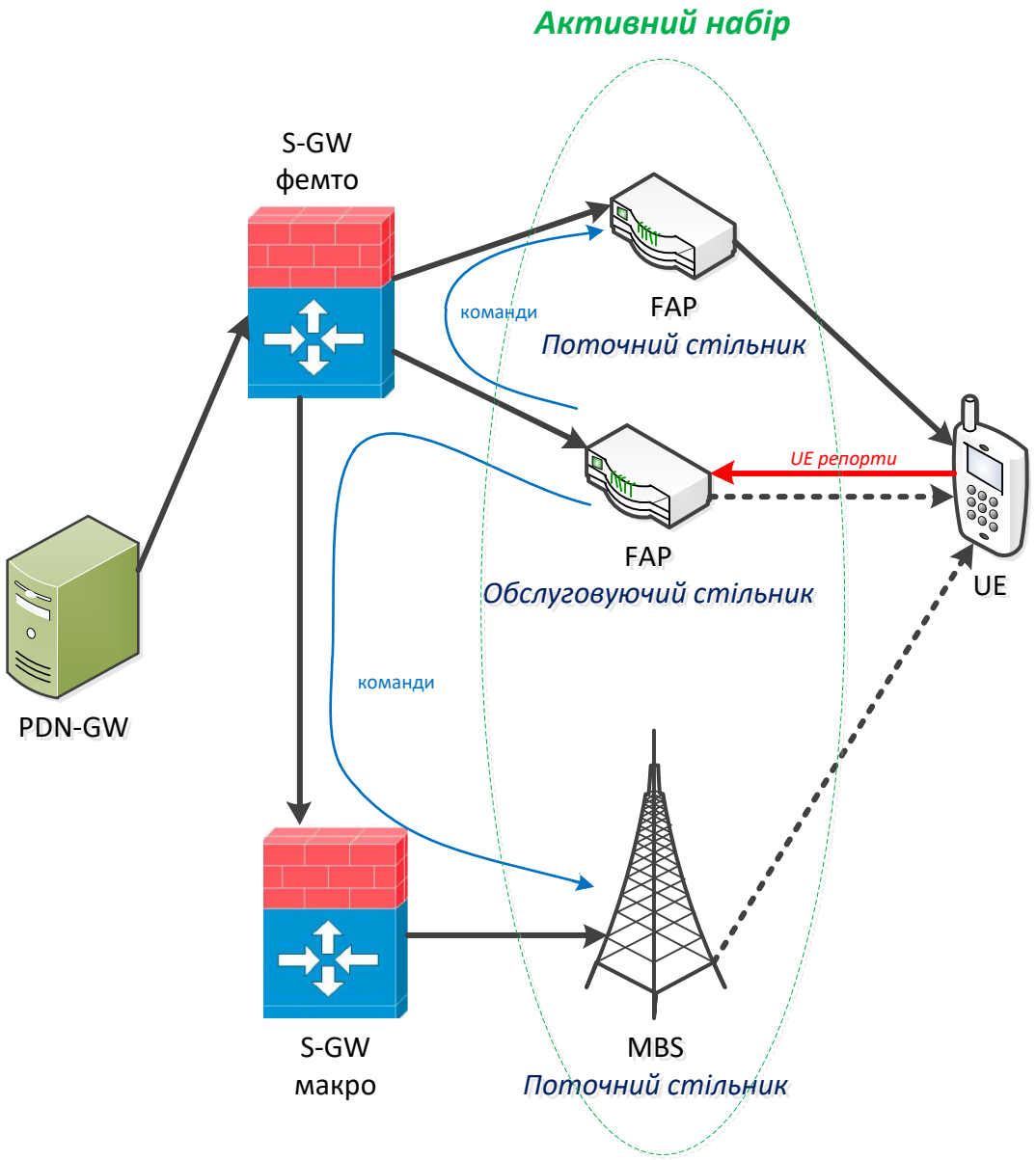
2.2.2 Вимоги до FCS у мережах OFDMA

Перша вимога, яку має виконати система OFDMA для FCS - це часова синхронізація між стільниками в мережі. Без належної синхронізації, можлива лише звичайна жорстка передача обслуговування, де UE потрібно повторно синхронізувати себе на цільовому стільнику після кожної ПОб. Синхронізація системи дозволяє бачити FCS в конкретному випадку спільного планування, де набір стільників співпрацює таким чином, що на кожному TTI тільки кращий стільник з набору може спланувати дані у напрямку до UE. У разі TDD, синхронізація за часом малих стільників, як правило, може бути отримана з MBS. Тоді кожному стільнику з активного набору необхідно отримати інтегральні дані, які будуть заплановані до UE. Цей принцип і показує надлишковість інформації.

Тим не менш, це дозволяє досягти високих показників перемикання стільника без перевантаження мережі подіями ПОб. Після того, як встановлюється радіоканал для UE з одним стільником, повинна бути можливість додавати і видаляти додаткові стільники. При цьому вводиться поняття «обслуговуючий» стільник з активного набору, що приймає на себе певну роль, на відміну від простих стільників. Стандартні процедури передачі обслуговування все ще застосовуються щоразу, коли при обслуговуючий стільник з активного набору зміщується від джерела до цілі. Малюнок 31 ілюструє необхідні зміни для запровадження FCS в LTE-A архітектуру з малими стільниками.

Нові процедури необхідні для того, щоб забезпечити включення та видалення стільників до/з активного набору. Коли поточний тільник додається до активного набору, то обслуговуючий шлюз (S-GW) повинен бути повідомленим про це, щоб в наступному дублювати пакети до нового стільника в низхідній лінії зв'язку. Подібні механізми мають бути запропоновані для висхідної лінії зв'язку, щоб поточні стільники могли б

взяти на себе роль і в висхідній і спадній лінії зв'язку. Але в даній роботі ми поки орієнтуємося на низхідну лінію зв'язку.



2.3 - Вступ до Швидкого вибору стільника (Fast Cell Selection) у архітектурі LTE-A

Обслуговуючий малий стільник або MBS повинен відповідати за додавання та видалення додаткових поточних стільників до/з активного набору. Зазвичай, це рішення засноване на звітах вимірювань, отриманих відUE, так як власне це має місце для жорсткої ПОб. В цьому розділі пропонується новий алгоритм для управління активним набором для підвищення ефективності FCS.

Якщо обслуговуючий стільник зсувається від джерела до цілі призначення, тоді набір поточних стільників має бути доставлений від обслуговуючого стільника до цільового. Після досягнення успішної передачі обслуговування цільовий стільник стає вільним, щоб зберегти або змінити набір поточних стільників, які використовувалися попереднім обслуговуючим стільником.

Рішення також повинне бути запропоновано для того, щоб дозволити знати поточним стільникам, що вони обрані для планування даних до UE для заданого TTI. Знайдені рішення визначені в контексті 3GPP Релізу 99 є на основі CDMA і не можуть бути застосовані поза ним. Найбільш прийнятне рішення полягає в тому, щоб дозволити обслуговуючому стільнику повідомити цю інформацію поточному стільнику на основі звітів про вимірювання UE. Обслуговуючий стільник повинен надавати (і оновлювати) список поточних стільників до UE для цього звіту. Так як в припускається, що UE рухається повільно, періодичність репортування може бути досить низькою, перевантаження каналів сигнальним трафіком не буде, а якщо і буде, то незначне. Характер звітів вимірювання рівня сигналу повинен також бути частиною конфігурації звіту. У найпростішому випадку, який також є найбільш економічним з точки зору споживання смуги пропускання висхідної лінії зв'язку, повинен бути відправлений індекс лише найкращого стільника.

Обслуговуючий стільник повинен використовувати звіти про вимірювання FCS від UE для вирішення того, який стільник з активного наборі насправді буде відповідати за планування даних в UE. Всякий раз, коли рішення буде прийматися, воно повинно бути доставлено до поточних стільників. Ця команда з обслуговуючого стільника до поточного повинна включати в себе логічне значення ON/OFF, разом з посиланням на наступний TTI, де слід застосовувати дане оновлення. Таблиця 9 складає короткий підсумок процедур, які будуть додані для підтримки FCS в поточних OFDMA на основі систем з малими стільниками.

Таблиця 2.1 – Процедури для підтримки FCS для мереж з малими стільниками на основі OFDMA

З	До	Ціль повідомлення	Зміст повідомлення
Обслуговуючий стільник	S-GW	Додати поточний стільник	Додати ідентифікатор стільника
Обслуговуючий стільник	S-GW	Видалити поточний стільник	Видалити ідентифікатор стільника
Обслуговуючий стільник	UE	Визначити/оновити звіт вимірювання FCS	Період вимірювання Зміст вимірювання в якості індексу у зумовленому списку
UE	Обслуговуючий стільник	Звіт вимірювання FCS	Значення вимірювання
Обслуговуючий стільник	Поточний стільник	Команда для FCS	Значення ON/OFF Ідентифікація наступного біту даних для відправлення (якщо поточний стільник включений)

У наступних підрозділах, продуктивність мереж з малими стільниками оцінюється для того, щоб показати, чи можливо реалізувати запровадження FCS до мереж з малими стільниками, і чи варто при цьому очікувати виграш.

2.2.3 Принцип управління активним набором стільника

Алгоритм по вибору потрібних складових активного набору порівнює поточну кількість споживаних радіоресурсів MBS з аналогічними радіоресурсами при умові додавання/видалення стільників в/з активного набору. Крім того, також вводиться обмеження на транспортну мережу, представлене в запропонованій процедурі управлінням активним набором.

Для більш детального пояснення алгоритму, визначимо параметри, які в ньому використовуються (таблиця 2.2).

Символ	Означення
N^i	Список сусідніх стільників і-го UE, $N^i = \{N_1^i, N_2^i, \dots, N_{nc^i}^i\}$.
A^i	Список стільників, включених в активний набір і-го UE,$A^i = \{A_1^i, A_2^i, \dots, A_{ac^i}^i\}$.
nc^i, ac^i	Кількість стільників, включених до сусіднього стільника та активного набору, відповідно.
$R_{j\in A^i}^i$, $R_{j\in A^i}^i$	Кількість радіо ресурсів, споживаних і-м UE, якщо стільник C_jвключений та не включений доA^i, відповідно.
α	Підсилення, необхідне для включення стільника в A^i.
D_j, D_s	Затримка даних, доставлених через стільник C_j та максимально допустима затримка для звичного обслуговування і-го UE.
$b_{j,av}$, $b^{i,reg}$	Доступна ємність опорної мережі C_j та ємність, необхідна і-му UE, відповідно.
$T_{j,j\in A^i}^i$, T_S^i	Пропускна здатність і-го UE, якщо C_j буде доданий до A^i, та звичайна пропускна здатність і-го UE від поточного обслуговуючого стільника.
K_j^i	Підсилення к-ті радіоресурсів MBS, що звільнені шляхом виключення C_j в A^i, відносно запрошуваної ємності.

Нехай UE = {UE_1,UE_2,…UE_U} позначає безліч *u* користувачів в мережах та$C=\{C_1,\dots,C_m,C_{m+1},\dots,C_{m+f}\}$ являє собою набір $k=m+f$ стільників в мережі, де m та f є сумою MBS і FAP відповідно. Крім того, $N^i=\{N^i_1,N^i_2,\dots,N^i_{nci}\}$ презентує набір сусідніх стільників *і-го* UE. Кожен N^iскладається з nc^i сусідніх стільників. Набір $A^i=\{A^i_1,A^i_2,\dots,A^i_{nci}\}$ складається із

стільників, включених в так званий активний набір і-тих UE. Зверніть увагу, що я A^i завжди є підмножиною N^i, тобто $A^i \subseteq N^i$. Кількість стільників, включених в активний набір UE_i позначається як ac^i. Параметр ac^i називають розміром активного набору.

Принцип даного алгоритму зображений на Рис. 38. Новий стільник додається до A^i, якщо виконані всі вищезгадані умови. Стільник видаляється з існуючого A^i, якщо хоча б одна умова не виконана.

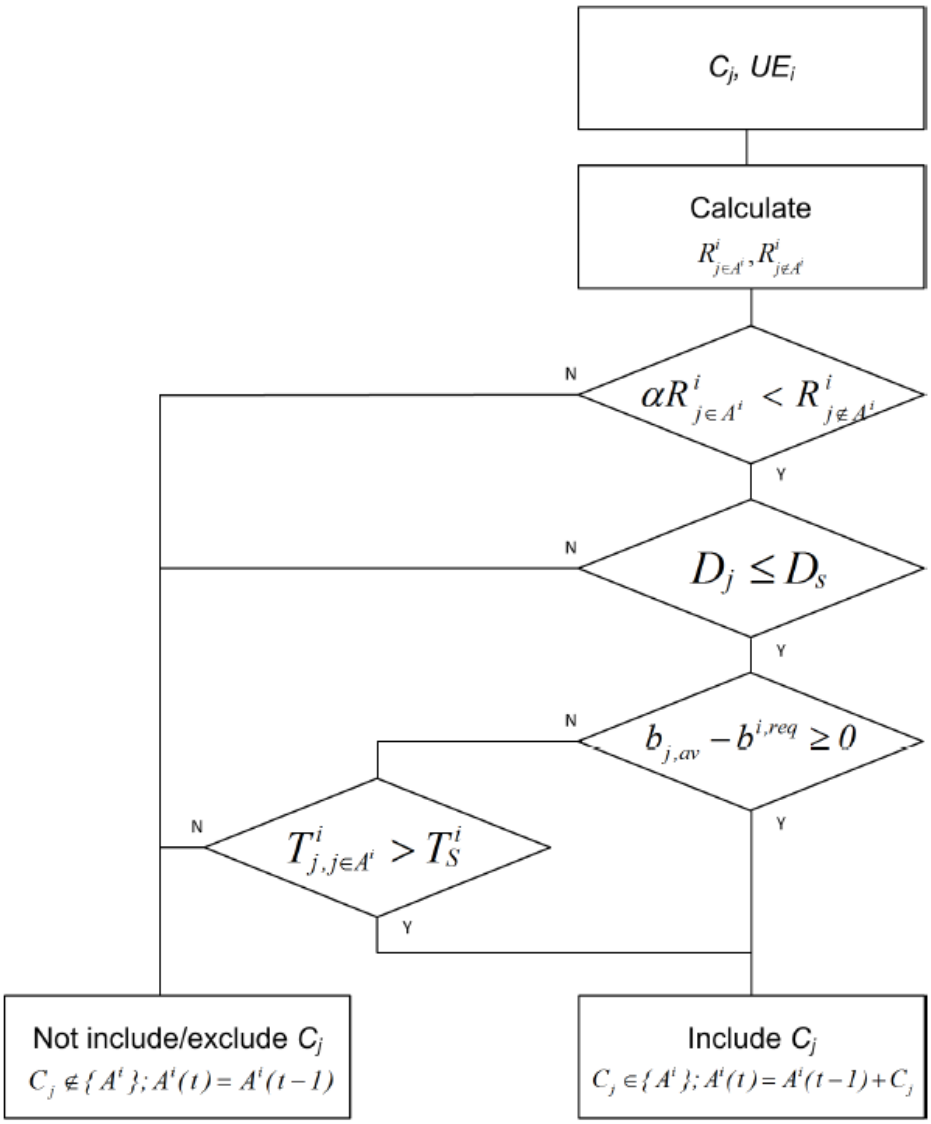


Рис. 2.4 – Алгоритм для управління активним набором

Якщо $C_j \in N^i$ та $C_j \notin A^i$, тоді стільник може бути доданий до A^i при:

$$\alpha R^{i}_{j\in A^{i}} < R^{i}_{j\notin A^{i}}$$

де $R^{i}_{j\in A^{i}}$ показує кількість радіоресурсів MBS, які споживає UE_i, якщо C_j буде включеним в A^iта αє коефіцієнтом підсилення, необхідним для додавання C_j в A^i. В цьому рівнянні розглядаються ресурси MBS, а не FAP, оскільки кожен FAP передбачається, бо FAP призначений для обслуговування лише невеликої кількість користувачів у порівнянні з MBS. Таким чином, будь-яка зміна в активному наборі впливає на велику кількість макростільникових користувачів, та тільки на декілька фемтостільникових.

Обидва $R^{i}_{j\in A^{i}}$ та $R^{i}_{j\notin A^{i}}$ отримані зі звітів про якість сигналу (наприклад, SNR), що вимірюється UE_iз усіх осередків, включених в N^i (наприклад, [20]). SNR може бути виміряним лише при вимірі SNR всіх стільників, включених в N^i. Потім SNR відображається на схемі модуляції і кодування (MCS) відповідно до, наприклад, [28]. Кожна MCS визначає схему модуляції і швидкість кодування. Таким чином, кількість біт в RE, позначаються як b_{RE}, може бути отримано як добуток швидкості кодування *cr* та кількості біт на символ модуляції *bps*, тобто, $b_{RE} = cr \times bps$. Знаючи кількість радіоресурсів, необхідних UE_i та b_{RE} відповідного каналу між UE_i та C_j, кількість споживаних ресурсів визначається як просте співвідношення даних, призначених для передачі UE_i (d_{UE}) таb_{RE}; $R^i = d_{UE}/b_{RE}$. Різниця між $R^{i}_{j\in A^{i}}$ та $R^{i}_{j\notin A^{i}}$полягає у врахуванні C_j при оцінці інтерференції. Для $R^{i}_{j\in A^{i}}$сигнал від C_j не враховується, так як жоден стільник, включений в A^i, не може передавати на тих же частотах, що і обслуговуючий стільники. На противагу, сигнал від C_j входить до складу інтерференції для $R^{i}_{j\notin A^{i}}$.

Якщо все ж таки включення C_j в A^i вигідно від кількості споживаних ресурсів радіозв'язку точки зору MBS, оцінюється якість опорної мережі C_j. Проблема затримки пакетів через передачу опорною мережею з різною якістю фіксується наступним чином. Для того, щоб впоратися з затримкою,

пропонується додаткова умова для включення клітини в A^i, як визначено за допомогою наступної формули:

$$D_j \leq D_s^i$$

де D_jявляє собою доставлених затримку даних, хоча C_j, та D_s^iце максимальна допустима затримка для обслуговування і-того UE. Слід зазначити, що ця проблема є спільною проблемою процедури передачі обслуговування. Таким чином, її слід враховувати, навіть у звичайній жорсткій передачі. Проте, транспортна мережа MBS, як правило, забезпечує високу якість зв'язку з низькою затримкою і ця умова виконується автоматично.

Транспортну мережу MBS планують таким чином, щоб вона була здатна обслужити всі дані, що передаються за допомогою телефону. Це означає, що звуження не з'явиться на опорній мережіMBS. У FAP ситуація прямо протилежна. Оскільки FAP повинні бути підключені до мережі через опорну мережу з обмеженою пропускною спроможністю, попередні умови (31) і (32) доповнені додатковими, які зосереджені на пропускній здатності опорної мережі. Наступна умова береться до уваги тільки тоді, коли C_j є FAP. ФемтостільникC_j може бути потенційно включений вA^i, тільки якщо:

$$b_{j,av} - b^{i,reg} \geq 0$$

де $b_{j,av}$та$b^{i,reg}$є доступною ємністю транспортної мережі j-го FAP та ємністю транспортної мережі, необхідної UE_i відповідно. Після виконання (33), C_j входить до тимчасового активного набору A_{temp}^i. Він складається з усіх стільників, які повинні бути включені в A_i, що відповідають вимогам (31), (32) і (33). Якщо лише один UE передбачається включити C_j до A_i, то тимчасовий активний набір може бути доданий до A_i, тобто $\{A^i\}=\{A^i\}+\{A_{temp}^i\}$. Якщо більша кількість абонентських терміналів забажали б включити C_j в A_i, то доцільно буде переглянути обмеження транспортної мережі. Стільник C_j має бути доданим до більшої кількості

активних наборів тільки за умови, коли FAP буде ще в змозі обслуговувати всі UE, як показано в наступному рівнянні:

$$b_{j,av} - \sum_{i,i|,j\in A^i_{temp}} b^{i,reg} \geq 0$$

Якщо (34) не виконується, тільки A^i з обраних UE будуть оновлені. Необхідно визначити процедуру вибору найбільш підходящих UE, чий активний набір буде доповнений C_j. Для цього ми визначаємо новий параметр K^i_j. Цей параметр є відношенням коефіцієнта посилення, що викликане включенням C_j до запрошуваної ємності транспортної мережі. Вона визначається наступною формулою:

$$K^i_j = \frac{R^i_{j\in A^i} - R^i_{j\in A^i}}{b^{i,reg}}$$

C_j включений лише до A^i лише тих користувацьких терміналів, що ведуть до найвищого K^i_j. Для цього K^i_j стає у зворотньому порядку:

$$sort(K^i_j|\quad_{j=const)} = \{\max\{K^i_j\}, \max\{K^i_j - \max\{K^i_j\}\}, \dots\}$$

Тоді C_jпослідовно додаються до A^i для $i=1,\dots,b_{max}$. b_{max}визначений як max(b); b=(1,…,u) для кожного, що показане в наступній формулі.

$$b_{j,av} - \sum_{i=1}^{b} b^{i,reg} \geq 0$$

Розглянемо особливу ситуацію, коли умови (31) і (32) задовольняються, а (33) ні. В цьому випадку FAP може забезпечити більш високу пропускну здатність, навіть якщо інші UEз цим FAP в активному наборі можуть постраждати від включення FAP в A_i. Проте, зниження пропускної здатності абонентських апаратів, обслуговуваних FAP, може бути незначним, а пропускна здатність всіх цих UE, може бути ще вище, за аналогічно від MBS. Таким чином, стільник C_j входить в A_i, навіть при бракуванні місця транспортної мережі. Включення обумовлено виконанням наступного рівняння:

$$T^i_{j,j\in A^i} > T^i_S$$

де $T^i_{j,j\in A^i}$ є пропускною здатністю UE_i, якщо C_j буде додано до A^i та T^i_Sявляє собою звичну пропускну здатність UE_i від поточного обслуговуючого стільника. Для додавання C_j до A^i всі абоненти, які в даний час обслуговуються C_j повинні мати більш високу пропускну здатність, ніжвід MBS.

Описане вище фокусує увагу на умовах і алгоритмі для включення стільника до активного набіру. З іншої сторони, Може бути видалення стільника з активного набору. В цій пропозиції, то C_j видаляється з A^i, якщо це призводить до меншого споживання радіо ресурсів MBS. Іншими словами, C_jне буде видаленим, якщо умова (31) не виконується. Звичайно, стільник видаляється, якщо ємність опорної мережі або затримка змінюються та кожен з (32) або (33) не виконуються.

Вибір обслуговуючого стільника оснований на порівнянні рівнів сигналу, які вимірюються терміналом користувача. Якщо стільник із найсильнішим сигналом може цілком забезпечити цього користувача, зокрема, тоді стільник обирається для обслуговування. Однак, якщо навіть цей стільник не може забезпечити достатню пропускну здатність, обирають стільник, що зможе забезпечити максимальне її значення.

Висновки

В розділі 2 було розглянуто два основні типи, використовувані у мережах LTE, для передачі обслуговування.

Спершу було досліджено жорстку передачу обслуговування. Основні методи, які використовують для прийняття рішення ініціації передачі обслуговування – це Поріг Гістерезису, Тригер часу та Метод Вікна. Зазвичай їх використовували у макростільникових мережах, але для піко/мікростільникових необхідно було адаптувати ці методи до мереж з малими стільниками.

Наступним типом передачі обслуговування є м’яка ПОб. В основному вона використовується у CDMA мережах і не може бути перенесена на OFDMA. Адаптивним до OFDMA видом є FCS, яка дає змогу UE та мережам вирішити, який стільник з активного набору UE є дійсно здатним посилати дані в наступному інтервалі часу передачі. В цьому випадку відсутнє багаторазове посилання одних й тих самих даних, як у випадку з м’якою передачею обслуговування.

Для того, щоб визначити, який з типів передачі обслуговування абонента ефективніша, в наступному розділі 3 проведене моделювання системи.

Розділ 3. Оцінка системної моделі методів передачі обслуговування

3.1 Методологія

Для визначення ефективності досліджуваного алгоритму, необхідно провести дослідження зміни ключових параметрів мережі, таких як пропускна здатність, рівень сигналу, необхідного користувачам, та кількість ініційованих подій мобільності.

Ці оцінки виконуються за допомогою моделювання в програмному середовищі MATLAB, оскільки він є загальним і універсальним інструментом моделювання, який нині використовується для мобільних мереж. Крім того, MATLAB пропонує просту реалізацію широкого спектру алгоритмів. Всі моделі для моделювання і для аналітичного аналізу відповідають до моделям, які зазвичай використовуваними для оцінки мереж мобільного зв'язку 4G. Ці моделі узагальнюються IMT-Advanced [22].

Для моделювання руху користувача назовні будівлі, ми розглядаємо широковживані моделі, такі як Модель напрямленого руху [23]; Імовірнісна модель мобільності випадкового пересування (PRWMM) [24] та Мангеттенська Модель Мобільності [25]. Для споживача всередині приміщення - це модель мобільності заснована на [15].

Вуличне планування і розміщення всіх мережевих об'єктів відповідає загальним вимогам до симуляції, які визначені в [22], і з останніми рекомендаціями, що пов'язані зі специфікою малих стільників, визначених на Форумі щодо Малих Стільників [26]. Ми розглядаємо сценарій сільської місцевості з малою щільністю користувачів.

У всіх досліджених районах мобільності UE в мережах з малими стільниками, тільки повільні користувачі підлягають до передачі обслуговування до малого стільника. ПОб швидких користувачів, як правило,

безкорисна, тому що високошвидкісні користувачі проводять мізерний проміжок часу в малому стільнику через його малий радіус [14].

В результаті, ми припускаємо, що той самий широкий канал у 20 МГц розділяє MBS та малі стільники. Цей канал є на 2.0 ГГц для LTE-A. Потужність передачі MBS і малих стільників встановлюється до 46дБм і 15дБм відповідно.

В усіх моделюваннях використовується уніфікована система кадрів TDD LTE-A 10-го релізу. Кадр ділиться на 10 підкадрів і 20 слотів (дивись рис. 3.1). Тривалість кадру складає 10 мс, для висхідної-низхідної лінії вибирається конфігурація «1». Ця конфігурація ділить кадр на чотири низхідні підкадри, чотири підкадри висхідної лінії зв'язку, а також два спеціальні підкадри (SS). Конфігурація SS «0» використовуються для всіх моделювань в даній роботі. Розглядається сім символів (нормальний циклічний префікс) на піднесучій і 12 піднесучих на один RB. Інтервал піднесучих Δf= 15 кГц. Кількість бітів, переданих в одному RE залежить від наявної Схеми модуляції і кодування (MCS), яку отримано у [28]. Кожен слот складається з RB, які далі складаються з RE. Кількість RE на RB (N_{RE}^{RB}), визначається таким рівнянням:

$$N_{RE}^{RB} = N_{sc}^{RB} \times N_{symb}$$

де N_{sc}^{RB} – кількість піднесучих на RB; N_{symb}- кількість символів на піднесучу.

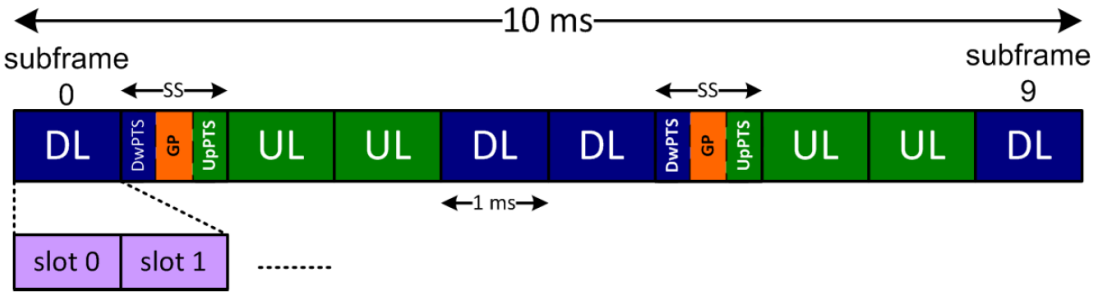


Рис. 3.1 – Структура кадру TDDLTE-A, використаного в моделюванні.

Сім символів на піднесучу і, як правило, 12 піднесучих в одному RB використовуються для нормального циклічного префіксу. Частотний інтервал між піднесучими Δf = 15 кГц. Кількість бітів, переданих в одному RE,залежить від наявної схеми модуляції і кодування (MCS). Присвоєння MCS засноване на якості сигналу відповідно до таблиці 3.1 (значення взяті з [28]).

Пропускна здатність користувача у низхідному напрямку, крім того розраховується відповідно до наступної формули:

$$Thr_{DL} = \Gamma \times n_{RB} \times N_{sc}^{RB} \times N_{symb} = \Gamma \times n_{RB} \times N_{RE}^{RB},$$

де n_{RB} – число зайнятих RB (залежно від ширини смуги каналу, як зазначено в [29]),та Γ – ефективність передачі, що виражається як кількість бітів на символ.

Табл. 3.1 – Вибір MCS відповідно до CINR [28]

CINR [dB]	**MCS**	**Коефіцієнт передачі *Г* [біт/символ]**
CINRmin<CINR<=1.5	1\3 QPSK	0.66
1.5<CINR<<=3.8	1\2 QPSK	1
3.8<CINR<<=5.2	2\3 QPSK	1.33
5.2<CINR<=5.9	3\4 QPSK	1.5
5.9<CINR<=7.0	4\5 QPSK	1.6
7.0<CINR<=10.0	1\2 16QAM	2
10.0<CINR<=11.4	2\3 16QAM	2.66
11.4<CINR<=12.3	3\4 16QAM	3
12.3<CINR<=15.6	4\5 16QAM	3.2
15.6<CINR<=17.0	2\3 64QAM	4
17.0<CINR<=18.0	3\4 64QAM	4.5
18.0<CINR	4\5 64QAM	4.8

3.2 Оцінка системної моделі швидкого вибору стільника

З точки зору оцінки ефективності, різниця між фемто- і піко/мікроелементами полягає в ємності опорної мережі з малими стільниками. Для того, щоб уникнути змішання всіх назв, використаємо

термін «малий стільник» у сенсі «фемтостільника» і «піко/мікростільника» при обмеженій або необмеженій опорній мережі відповідно. Під необмеженою опорною мережею мають на увазі здатність опорної мережі обслужити весь радіотрафік; іншими словами, якщо ємність опорної мережі розширяє ємність радіомережі. В практичній частині «необмежена» опорна мережа представлена ємністю опорної мережі в 100 Мбіт.

Ми припускаємо розгортання суміщеного каналу малих стільників та MBSS, тобто всі малі стільники ділять ту ж смугу частот, що і MBSS. Це розгортання є більш складним в сенсі зменшення інтерференції, так як всі стільники заважають одне одному.

Крім того, розгортання суміщеного каналу є більш ефективним у використанні спектру (більш ефективне повторне використання частот).

Для оцінки, візьмемо сценарій приміської місцевості з п'ятдесятьма випадково розміщеними будинками в межах MBS відповідно до рекомендацій, визначених на Форумі малих стільників (Small Cell Forum) [26]. Всі будинки мають квадратну форму та розмір 10x10 метрів, як показано на малюнку 32.

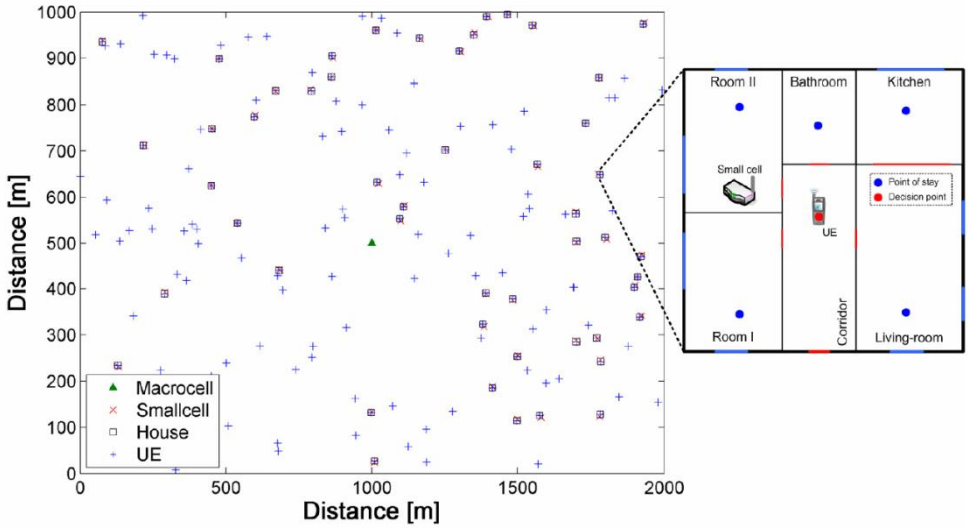


Рис. 3.2 – Модель будинку та місце моделювання

Кожен будинок обладнаний одним випадково розгорнутим малим стільником і одним внутрішнім UE (всередині приміщення). UE

переміщається відповідно до моделі мобільності ймовірного шляху на основі [33]. Для цієї моделі визначено кілька точок перебування і точки прийняття рішення. У момент прийняття рішення, внутрішній UE випадковим чином вибирає точку перебування з однаковою ймовірністю для всіх точок. Час, проведений в місці перебування генерується відповідно до нормального розподілу, взятого з [33]. Крім внутрішніхUE, також сто зовнішніх UE випадково потрапили в область моделювання. Всі зовнішні UEслідують PRWMM [24] зі швидкістю 1 м / с.

Моделі каналів також засновані на рекомендаціях Форуму Малих стільників, представленого в [26]. Втрати на трасі моделюються відповідно до ITU-R P.1238 і моделі Okumura-Hata для зв'язку з малими стільниками і макроелементами відповідно. Канал при моделюванні потерпає також від затінення зі стандартним відхиленням 8 дБ і 4 дБ для MBSS і малих стільників відповідно. Потужність передачі з MBS встановлена на 46 дБ в той час як малі стільники передають з 15 дБ. Розглянуто також втрати у стінах: 10 дБ і 5 дБ на зовнішні та внутрішні стінки.

Для того, щоб мінімізувати вплив випадковості всіх моделей, десять моделювань тривалістю 7200с в режимі реального часу оцінюються і усереднюється. Кожен користувач (внутрішній, як і зовнішній) пропонує постійну бітову швидкість протягом усього моделювання. Дані користувача подаються таким чином, що ширина смуги виділяється для забезпечення однакової пропускної спроможності для всіх користувачів. Для відкритого доступу, внутрішнього (всередині будівлі) та зовнішнього (ззовні будівлі) користувачі ділять радіоресурси і опорну мережу з малих стільників з однаковим пріоритетом. Всі зовнішні UE потім ділять решту наявної потужності. Головні параметри передачі, канал і параметри моделювання наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри для моделювання

Параметр	**Значення**
Смуга частот	2 ГГц
Смуга пропускання каналу для макро/малих стільників	20/20 МГц
Потужність передачі для макро/малих стільників	46/15 дБм
Висота макро/малих стільників/UE	32/1/1.5 м
Стандартна девіація затінення MBS/FAP	8/4 дБ
Втрати на зовнішніх/внутрішніх стінах	10/5 дБ
Щільність шуму	-174 дБм/Гц
Перелив фізичного рівня LTE-A	25%
Швидкість зовнішніх UE	1 м/с
К-ть макро/малих стільників	1/50
К-ть внутрішніх/зовнішніх UE	50/100
Кількість симуляцій	10
Тривалість симуляцій	7200 с

Наступні показники визначені для оцінки ефективності: частота подій мобільності, відношення переривання передачі обслуговування, а також надана пропускна здатність для внутрішніх, зовнішніх і користувачів на краю стільника.

Частота подій мобільності виражається у вигляді середнього інтервалу між двома жорсткими ПОб. Для жорсткого ПОбподія мобільності виявляється при виконанні передачі обслуговування, тобто якщо виконується така формула:

$$s_t(t) > s_s(t) + \Delta_{HM}$$

де s_tта s_sпредставляють рівень сигналу виміряний терміналом з цільового та обслуговуваного стільників відповідно. Схожим чином, подія для FCS буде виконуватись за наступних нерівностей:

$$s_s(t) - s_t(t) \leq T_{add} \wedge s_s(t-1) - s_t(t-1) \leq T_{add}$$

$$s_s(t) - s_t(t) \geq T_{del} \wedge s_s(t-1) - s_t(t-1) \geq T_{del}$$

де T_{dd} та T_{det} є порогами для додавання або видалення стільників з активного набору. В моделюванні ми застосовуємо T_{dd}= T_{det} як найбільш прийнятне налаштування у практиці.

Під відношенням переривання передачі обслуговування розуміють відношення часу, витраченого терміналом в стані переривання через передачу обслуговування до повного часу моделювання. Це описується наступною формулою:

$$I_{HO,r} = \frac{1}{t_{sim}} \sum_{h=0}^{n_{HO}} i_h$$

де i_hє тривалістю переривання, t_{sim} - час моделювання. За рекомендаціями ITU-R часом переривання для мереж 4-го покоління вважаємо 25 ms.

Надана пропускна здатність представляє обсяг реально переданих даних користувачів. Це спостерігається для використання всередині приміщень, назовні і на краю стільника. Внутрішніми користувачами є всі користувачі, що знаходяться в будинках (50 внутрішніх терміналів в моделюванні), в той час, як назовні всі інші користувачі (100 терміналів в моделі). Терміналами на краю сот є користувачі, розташовані близько до кордонів двох сусідніх сот. Визначимо крайній термінал як користувача з рівнем сигналу другої найсильнішої клітини (*s2*)) в межах порогового *Tcell_edge*(при моделюванні дорівнює 1 дБ) від рівня сигналу найсильнішої соти (тобто, яку обслуговує сота, *ss*), як показано в наступному рівнянні:

$$s_s - s_2 < T_{cell_edge}$$

Кількість користувачів на краю соти змінюється в часі, залежно від розташування користувача. Тим не менш, траєкторії терміналів однакові для оцінки жорсткої передачі обслуговування та FCS.

3.3 Результати моделювання

В цьому розділі представлено результати жорсткої ПОб та FCS, отримані шляхом симуляції у програмному пакеті MATLAB.

Вплив Δ_{HM}(для жорсткої ПОб) та T_{add}, T_{del}(для FCS) на частоту подій мобільності представлені на рис. 3.3. Частота подій є пропорційною до

перенавантаження через мобільність користувачів (перенавантаження відноситься до одного ПОб або одного оновлення активного набору у Кб[10].

Як видно на малюнку, FCS вводить більше подій (коротший середній інтервал між двома подіями), ніж жорстка ПОб. Для жорсткої передачі обслуговування, кількість подій помітно зменшується на більшій Δ_{HM}. І навпаки, при порогах T_{add} та T_{del} для FCS кількість подій зменшується незначно. Проте, перенавантаження через мобільність UE як і раніше незначна, так як оновлення в AS (а це кілька Кбіт) необхідно менше, ніж раз за 340 сек, навіть при дуже низьких порогах. Важливо, що ні режим доступу (відкритий/гібрид), ні ємність опорної мережі малих стільниківне впливають на кількість ПОб, так як це залежить тільки від співвідношення між рівнями сигналів сусідніх станцій для звичайної ПОб і FCS.

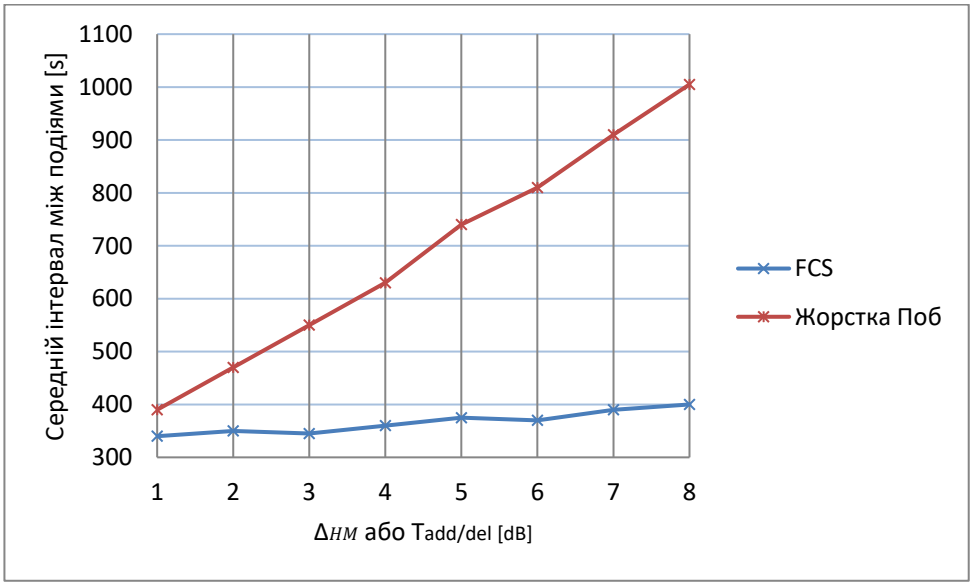
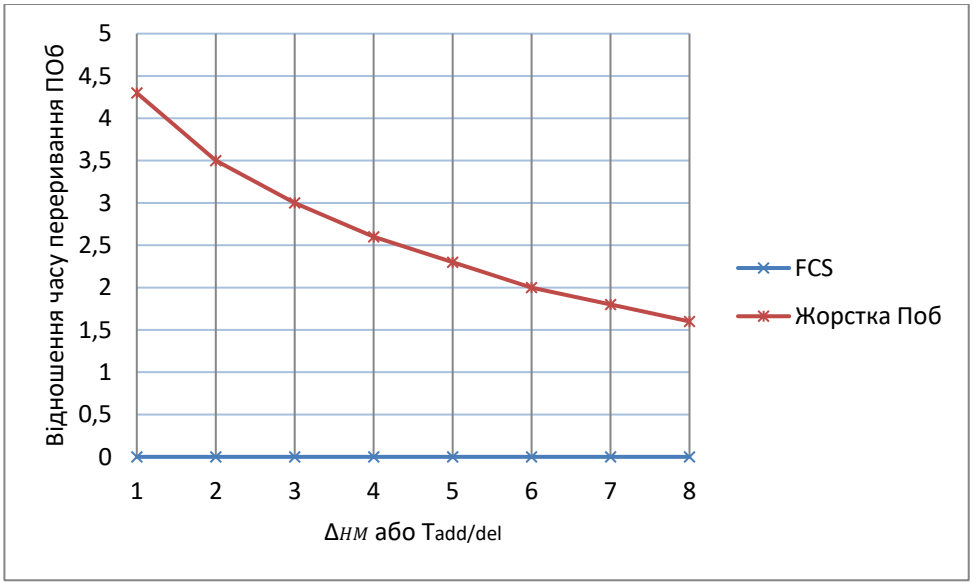


Рис. 3.3 – Інтервали між подіями мобільності для жорсткого ПОб та FCS

Якість обслуговування користувача впливає також на переривання через ПОб. Відношення часу, проведеного UE протягом переривання, до загального часу моделювання показано на малюнку 34. Загальний час переривання у випадку жорсткого ПОб зменшується з Δ_{HM}, так як

виконуються менше ПОб. Однак, переривання при жорсткій ПОб значно вищі, ніж за FCS. FCS здатний повністю усунути переривання навіть для дуже низьких порогів. Переривання має вирішальне значення для послуг в режимі реального часу (мова або відео дзвінки), так як QoS сильно деградує. Для послуг нереального часу, користувачу практично неможливо виявити вплив на переривання, бо воно представлено тільки шляхом незначного зниження бітової швидкості протягом дуже короткого проміжку часу (до 25 мс для мереж 4G [34]).



3.4 – Середнє переривання, яке відчуває користувач через пересування

Кількість обслуженої пропускної здатності, що перевищує рівень трафіку, пропонованого окремими типами UE, зображений на рис. 3.5-3.7. Графік показує середню пропускну здатність для відкритого доступу. Всі цифри містять результати для опорної мережі з обмеженою ємністю 8 Мбіт (суцільні лінії) і необмеженого транзитного з'єднання з пропускною здатністю 100 Мбіт (пунктирні лінії).

Рисунки підтверджують той факт, що збільшення Δ_{HM} для жорсткої ПОб знижує пропускну здатність. Це спричинено шляхом збереження UE, підключеного до обслуговуючого стільника протягом більш тривалого часу,

навіть якщо цільовий стільник здатен забезпечити канал з більш високою якістю. Для FCS вплив порогових значень залежить від типу доступу і пропускної здатності транспортної мережі. Для необмеженої опорної мережі пропускна здатність зростає з T_{add} та T_{del} для зовнішніх UE, так як більше стільників включені в активний набір і інтерференція знижується. Для внутрішніх UE, що стільниками відкритого доступу з необмеженою опорною мережею, пропускна здатність обмежена і позитивним незначний зі збільшенням T_{add} та T_{del}. Якщо транспортна мережа обмежена, більш високі T_{add} та T_{del} зменшують пропускну здатність Це є платою за розділення опорної мережі з більшою кількістю зовнішніх UE, які можуть відчути незначне збільшення пропускної здатності. Проте, це підвищення пропускної здатності зовнішніх UE обмежена потужністю мережі.

Відповідно до рис. 3.5, FCS є вигідним для внутрішніх UE, якщо забезпечується достатня ємність транспортної мережі (100 Мбіт). Якщо транспортна мережа має обмежену ємність (8 Мбіт), FCS вводить важкі втрати в пропускної здатності внутрішніх UE для відкритого доступу. Ця втрата є результатом невеликого розподілу ємності мережі малих стільників з відкритим UE. Якщо малий стільник забезпечує більшу якість, ніж макростільник, кожен UE намагається передати дані через малий стільник, але транспортна мережа не може обслужити ці дані. Продуктивність зовнішніх UE має більш позитивний вплив за FCS (див рис. 3.6). Знову ж, FCS вигідно для всіх рівнів пропонованого трафіку і обидвох доступів при необмеженій мережі з малими стільниками. Для обмеженої - FCS збільшує пропускну здатність для пропонованого трафіку до 2 Мбіт для відкритого доступу. Знову ж таки, посилення жорсткої ПОб для трафіку вищого рівня і обмеженої мережі викликається шляхом розподіленням ресурсів з більшою кількістю UE при FCS.

Пропускна здатність самого критичного набору користувачів, на краю стільника, показана на рис. 3.7. Набір користувачів у стільниках на краю в основному складається з зовнішніх UE. Таким чином, поведінка пропускної

здатності UE на краю стільника, відповідає результатам для зовнішнього UE. Тому FCS вигідний, якщо малий стільник підключений через необмежені мережі. Якщо ємність транспортної мережі обмежена, FCS перевершує жорстку ПОб тільки для пропонованого нижчого трафіку, як у випадку з зовнішнім UE.

Середні пропускні здатності, що спостерігаються за результатами моделювання, представлені на рис. 3.5 – 3.7 та наведені в таблиці 3.3 та 3.4, для обмеженої і необмеженої мереж відповідно. Числа в дужках являють собою підвищення/зниження пропускної здатності при FCS відносно жорсткої ПОб. Можна помітити, що середня пропускна здатність поліпшується при FCS в разі необмеженої мережі. Якщо ємність транспортної мережі обмежена, жорста ПОб передача є більш ефективною в плані пропускної здатності.

Табл. 3.3 – Середня пропускна здатність на користувача для Δ_{HM}=3 дБ, T_{add} = 3 дБ, та T_{del} = 3 дБ; ємність транспортної мережі 8 Мбіт/с

	Обслужена пропускна здатність [Кбіт/с]			
	Внутрішні UE	**Зовнішні UE**	**Всі UE**	**UE на краю стільника**
Жорстка ПОб	3097.6	192.44	3290.0	1110.7
FCS	1615.4 (-47.8%)	172.98 (-10.1%)	1788.4 (-45.6%)	836.83 (-24.7%)

Табл. 3.4 - – Середня пропускна здатність на користувача для Δ_{HM}=3 дБ, T_{add} = 3 дБ, та T_{del} = 3 дБ; ємність транспортної мережі 100 Мбіт/с

	Обслужена пропускна здатність [Кбіт/с]			
	Внутрішні UE	**Зовнішні UE**	**Всі UE**	**UE на краю стільника**
Жорстка ПОб	3144.7	207.28	3351.9	1111.6
FCS	3171.6 (+0.9%)	2642.16 (+27.4%)	3435.8 (+2.5%)	1677.4 (+50.9%)

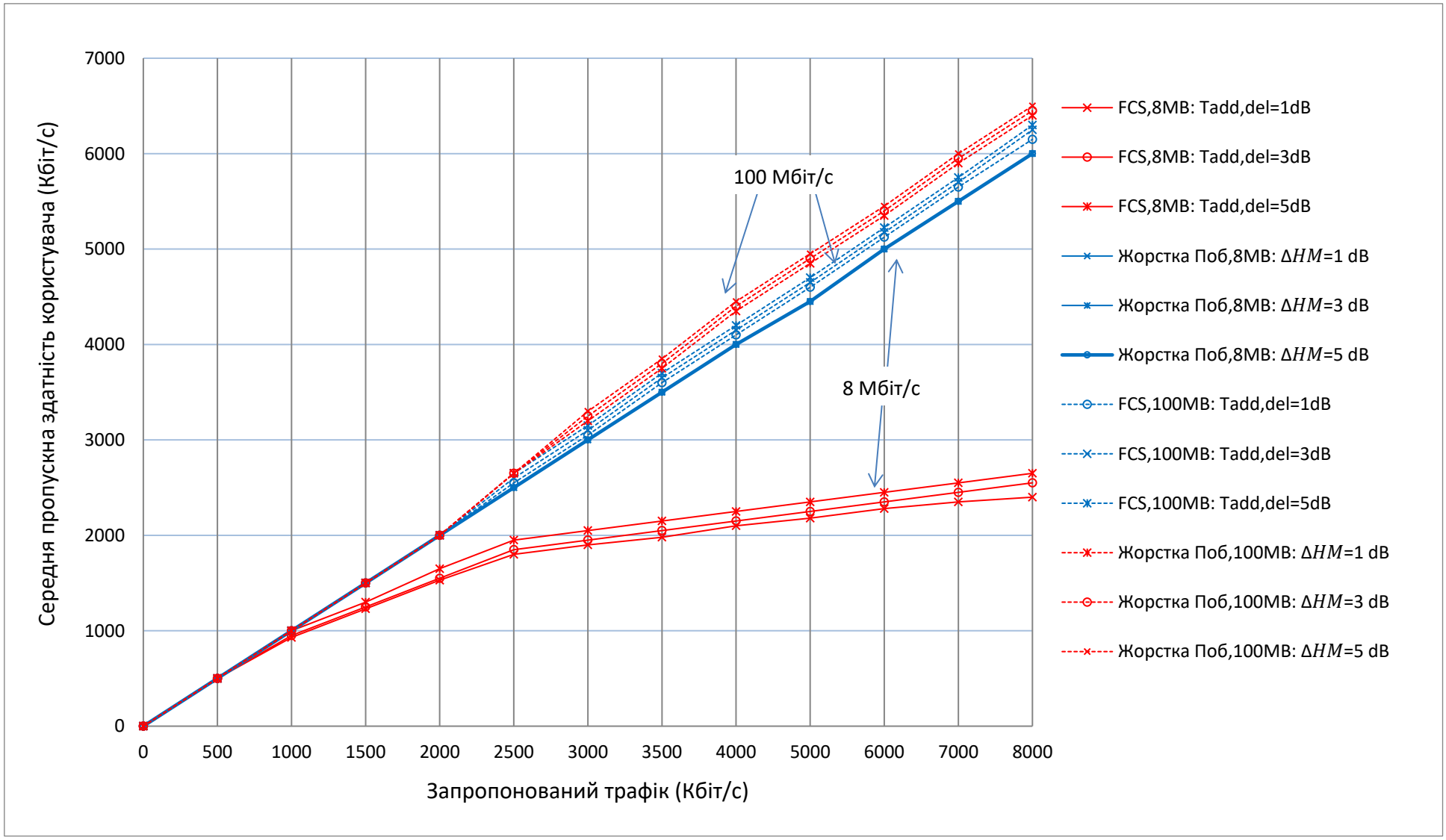


Рис. 3.5 – Обслуговуюча пропускна здатність внутрішніх UE для відкритого доступу

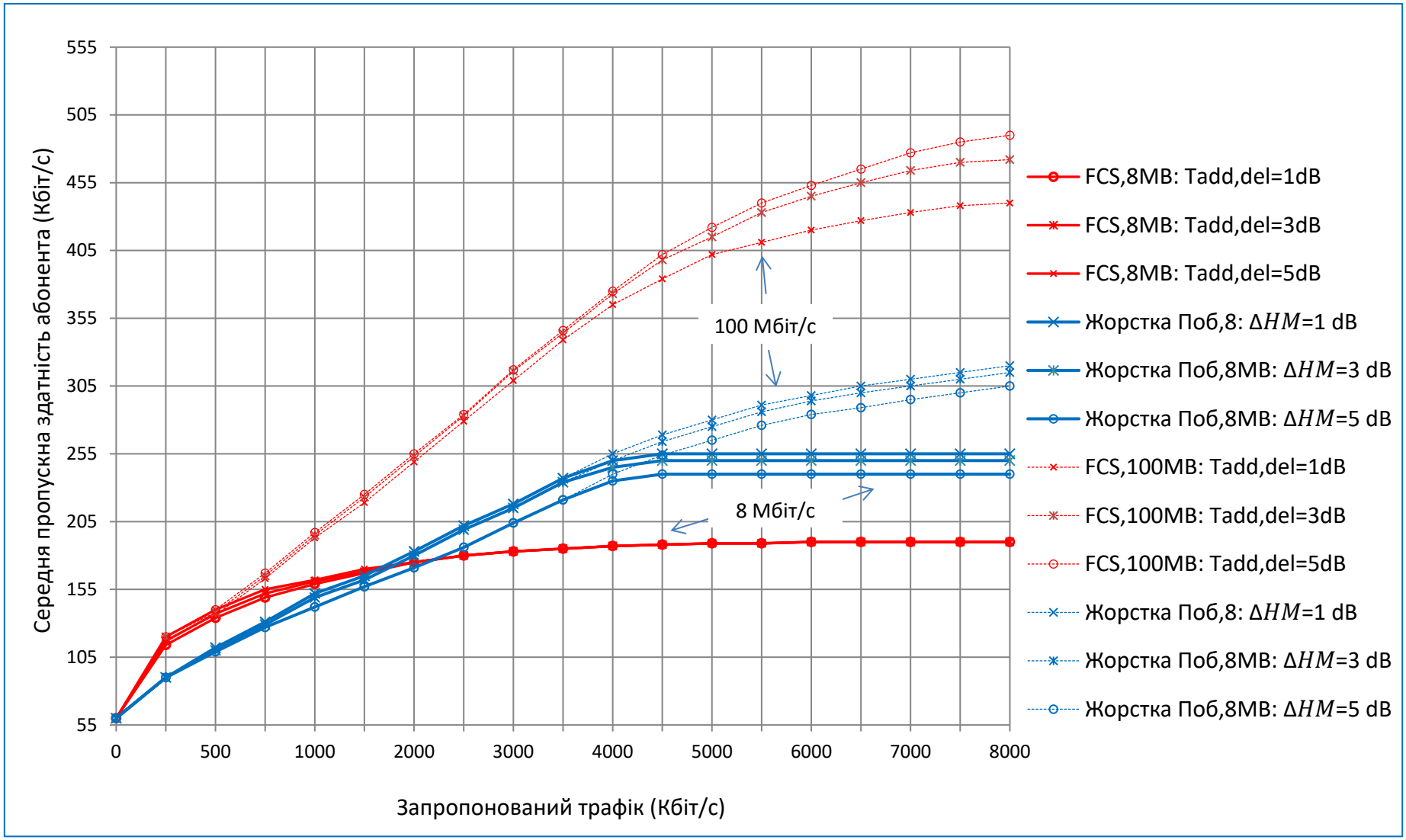


Рис. 3.6 - Обслуговуюча пропускна здатність зовнішніх UE для відкритого доступу

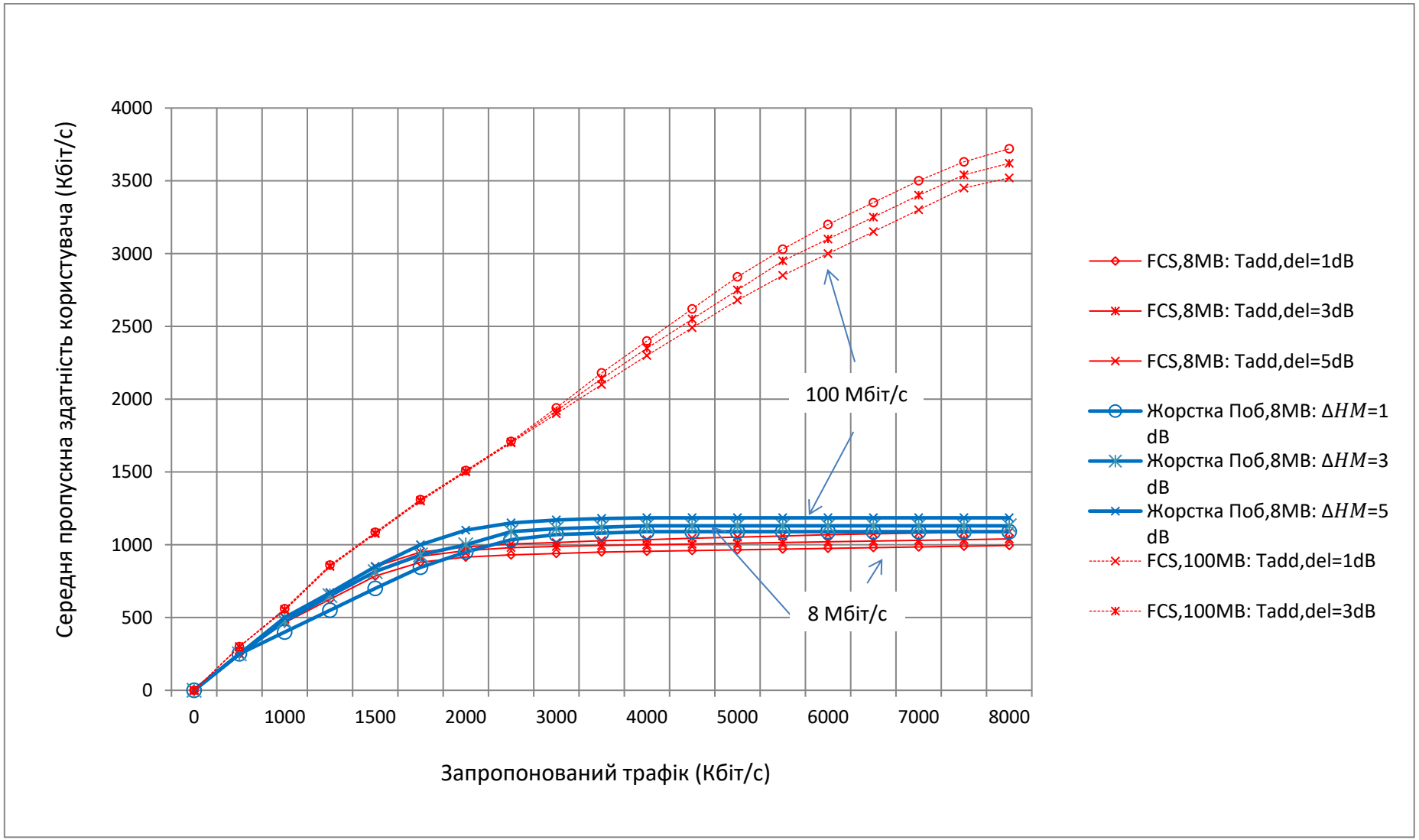


Рис. 3.7 - Обслуговуюча пропускна здатність UE на краю стільника для відкритого доступу

Висновки

Під час моделювання було отримано наступні висновки:

• Жорстка ПОб: Пропускна здатність зменшується з ростом Δ_{HM} нехтуючи опорною мережею з малими стільниками.

• FCS: пропускна здатність зростає зі збільшенням порогових значень для необмеженої мережі, в той же час вона трохи зменшується при обмеженій мережі.

А тепер деякі спостереження щодо транспортної мережі:

• Ємність необмеженої мережі: FCS завжди краще, на противагу жорсткій ПОб.

• Ємність обмеженої мережі: FCS є вигідним тільки для зовнішніх UE, які пропонують більш низький рівень трафіку (2 Мбіт для відкритого доступу).

Останнє, FCS вигідний для чутливих до затримки послуг режиму реального часу (наприклад, голосові дзвінки), бо це усуває проблему переривання передачі обслуговування.

Згідно з усім вище зазначеним, транспортна мережа впливає на продуктивність FCS та жорсткої ПОб. В досліджених роботах, що фокусуються лише на макростільниках ([21], [20], [18]) FCS має більше переваг. Це рішення було підтверджене нашими розрахунками для піко/мікро стільників необмеженої ємності. Однак, ефективність FCS знижується при обмеженнях на транспортній мережі. Тут жорстка ПОб більш доцільна. Таким чином, ми пропонуємо запроваджувати FCS лише у випадку низького трафіку, що відправляє термінал користувача. Для щільного трафіку вигіднішим буде виконувати жорстку ПОб до цільового стільника, якщо цей стільник з обмеженою мережею. Якщо цільовий стільник відноситься до стільників з необмеженою мережею, він буде включений до активного набору разом з поточним стільником для зниження інтерференції.

Включення цього стільника має бути виконано якомога швидше, і він повинен бути в активному наборі протягом тривалого часу. Це може бути легко досягнуто шляхом встановлення більш високої T_{add} і T_{del} (наприклад, 5 дБ).

Загальні висновки

Для поліпшення управління мобільністю було застосовано алгоритми адаптованої жорсткої ПОб та алгоритм швидкого вибору стільника та проведена оцінка їх ефективності у мережі LTE-A. Визначено, що найкраща ефективність процесу може бути досягнута за використання різних алгоритмів в залежності від властивостей транспортної мережі.

Результати показали збільшення кількості подій мобільності (оновлень актиного набору) за використання FCS. З іншого боку, FCS повністю знижує переривання протягом мобільності користувача. Таким чином, FCS є більш вигідним для сервісів реального часу. З точки зору пропускної здатності, FCS демонструє значне збільшення для всіх UE для необмеженої транспортної мережі, тобто для піко/мікро стільників. З іншого боку пропускна здатність поліпшується лише для внутрішніх користувачів, які пропонують низьку швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с при обмеженій мережі (для фемтостільників). Таким чином, у мережі з малими стільниками, FCS може навіть зменшити продуктивність мережі через те, що при управлінні активним набором не берется до уваги ємність транспортної мережі. Таким чином, алгоритми для підтримки мобільності мають «знати» доступну ємність мережі малих стільників для максимізації пропускної здатності абонентів.

Щодо пропускної здатності абонента за жорсткої ПОб – вона є вищою при обмеженій ємності. За необмеженої ємності цей алгоритм є менш ефективним.

Література

[1] Z. Becvar, “Mobility Management for Small Cells in LTE-A Networks”, Habilitation Thesis, Czech Technical University in Prague, September, 2016.

[2] Small Cells Forum, "Femtocells – Natural Solution of Offload," June 2016.

[3] D. Lopez-Perez, A. Valcarce, A. Ladanyi, G. de la Roche, and J. Zhang, "Intracell Handover for Interference and Handover Mitigation in OFDMA Two-Tier Macrocell-Femtocell Networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2010, 15 pages, 2010.

[4] P. Xia, V. Chandrasekhar, and J. G. Andrews, "Open vs. Closed Access Femtocells in the Uplink," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 9, No. 12, 3798 - 3809, .2017.

[5] Small Cell Forum whitepaper, " Small cells – what’s the big idea? Femtocells are expanding beyond the home," February 2012.

[6] V. Chandrasekhar, J. Andrews, A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communication Magazine, vol.46, no. 9, June 2017.

[7] S. Moghaddam, V. Tabataba, and A. Falahati, "New handoff initiation algorithm (optimum combination of hysteresis and threshold based methods)," IEEE VTC 2000-Fall, September 2013.

[8] D. Rose, T. Jansen, T. Kurner, "Modeling of Femto Cells - Simulation of Interference and Handovers in LTE Networks," IEEE VTC 2011-Spring, 2014.

[9] T. Jansen, I. Balan, J. Turk, I. Moerman, and T. Kurner, "Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks," IEEE VTC 2010-Fall, September 2015.

[10] 3GPP Technical Specification TS 36.133 v 10.6.0, "Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); Requirements for support of radio resource management (Release 10)," March 2017

[11] M. Zonoozi, P. Dassanayake, and M. Faulkner, "Optimum hysteresis level, signal averaging time and handover delay," In IEEE VTC 1997, pp. 310 – 313, 1997.

[12] K.I. Itoh, S. Watanabe, J.S. Shih, and T. Sato, "Performance of handoff algorithm based on distance and RSSI measurements," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 51, No. 6, 1460 – 1468, 2012.

[13] S. Lal and D. K. Panwar, "Coverage Analysis of Handoff Algorithm with Adaptive Hysteresis Margin," In ICIT 2007, pp. 133 – 138, 2016.

[14] H. Zhang, X. Wen, B. Wang, W. Zheng, and Y. Sun, "A Novel Handover Mechanism between Femtocell and Macrocell for LTE based Networks," In ICCSN2010, 2014.

[15] H. Claussen, F. Pivit, and L.T.W.Ho, "Self-Optimization of Femtocell Coverage to Minimize the Increase in Core Network Mobility Signalling," Bell Labs Technical Journal, Vol. 14, No. 2, pp. 155–184, 2017.
[16] 3GPP TR 25.433 v10.4.0, "Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN Iub interface Node B Application Part (NBAP) signalling, Release 10," September 2011.
[17] 3GPP TR 25.848 v4.0.0, "Technical Specification Group Radio Access Network; Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access, Technical report," Release 4, March 2001.
[18] H.-H. Choi, J.B. Lim, H. Hwang, K. Jang, "Optimal Handover Decision Algorithm for Throughput Enhancement in Cooperative Cellular Networks," In IEEE VTC 2010-Fall, Ottawa, 6-9 September 2010.
[19] NTT DOCOMO, "Investigation on Coordinated Multipoint Transmission Schemes in LTE-Advanced Downlink," In 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #55bis , R1-060298, Ljubljana, 12-16 January 2009.
[20] M. Feng, X. She, L. Chen, Y. Kishiyama, "Enhanced Dynamic Cell Selection with Muting Scheme for DL CoMP in LTE-A," In IEEE VTC 2010-Spring, Taipei, 16-19 May 2010.
[21] K.-W. Lee, J.-Y. Ko, Y.-H. Lee, "Fast Cell Site Selection with Interference Avoidance in Packet Based OFDM Cellular Systems," In IEEE Globecom 2006, San Francisco, 27 November - 1 December 2006.
[22] ITU-R Document 5D/TEMP/89r1, "Draft new Report ITU-R M.[IMT.TECH], Requirements related to technical system performance for IMT-Advanced radio interface(s), " 2008.
[23] R. Srinivasan, et. al, "IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD)," Description of Evaluation of IEEE 802.16m System Performance, Rev. IEEE 802.16m-08/004r2, July 2015.
[24] T. Camp, J. Boleng, V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research," Wireless Communications & Mobile Computing, Vol. 2, No. 5, 2012.
[25] ETSI UMTS 30.03, "Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS," ETSI Technical Report, 1998.
[26] Small Cell Forum, "Interference management in OFDMA femtocells," March 2010.
[27] G. Vivier, A. Agustin, J. Vidal, O. Muñoz, S.Barbarossa, L. Pescosolido, et al., "Scenario, requirements and first business model analysis," Deliverable D2.1 of ICT-248891 STP FREEDOM project, June 2014.

[28] C. Yu, W. Xiangming, L. Xinqi, and Z. Wei1, "Research on the modulation and coding scheme in LTE TDD wireless network," In ICIMA 2009, pp. 468 - 471, 2012.
[29] 3GPP TS 36.211 v 9.0.0, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation,” Dec. 2015.
[30] Z. Becvar, J. Zelenka, “Implementation of Handover Delay Timer into WiMAX,” Proc. of 6th Conference on Telecommunications (ConfTele 2007), Peniche, Portugal, May 2014.
[31] N. P. Singh and B. Singh, “Performance of Soft Handover Algorithm in Varied Propagation Environments,” World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 45, 2008.
[32] ITU-R P.1238-6 Recommendation, “Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz,” 2009.
[33] H. Claussen, L.T.W. Ho, and L.G. Samuel, "Self-optimization of Coverage for Femtocell Deployment," IEEE Wireless Telecommunication Symposium WTS 2008, pp. 278-285, April 2010.
[34] ITU-R M.2135 Recommendation, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," 2010.