

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено
В.о. завідувача кафедри

_____ Явіся В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка,
(код і назва)

спеціалізація Апаратно-програмні засоби електронних комунікацій

на тему: Дослідження алгоритмів неперервної передачі обслуговування в перспективних системах мобільного зв'язку 5G

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ТЗ-71мп
(шифр групи)

Гетьман Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.д.н. Міночкін Дмитро Анатолійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4-5
ВСТУП.....	6-7
1.АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G ТА ЇЇ СТАНДАРТИЗАЦІЯ.....	8-23
1.1.Загальні відомості.....	8-9
1.2.Стандартизація технології 5G.....	9-13
1.3.Технології та архітектура наземної мережі 5G.....	13-18
1.4.Технології та архітектура супутникової мережі 5G.....	18-22
1.5.Практичні досягнення розробників 5G.....	22
Висновок.....	23
2.HANDOFF/HANDOVER ТЕХНОЛОГІЯ, ЯК МЕХАНІЗМ ВДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	24-43
2.1.Загальні відомості про хендовер.....	24-26
2.2.Типи Handoff/Handover.....	26
2.3.Жорсткий хендовер.....	26-29
2.4.М'який хендовер.....	29-30
2.5.Порівняння між жорстким та м'яким хендовером.....	31
2.6.Керування хендовером.....	32-33
2.7.Ініціалізація хендоверу.....	33-37
2.8.Показники ефективності для хендоверу.....	38
2.9.Виявлення хендоверу.....	38-42
Висновок.....	43

3.АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НОВОГО АЛГОРИТМУ ХЕНДОВЕРУ ДЛЯ ПОЛПШЕННЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У ВИСОКО МОБІЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	44-66
3.1.Вступ до аналітичного моделювання.....	44
3.2.Представлення моделі.....	45-48
3.3.Традиційний підхід.....	48
3.3.1.Традиційна модель хендоверу з режимом черги.....	48-51
3.4.Запропонований підхід.....	51-58
3.4.1.Запропонована модель хендоверу з чергою.....	54-58
3.5.Оцінка ефективності.....	58-59
3.5.1.Ключові параметри.....	59
3.5.2.Результати.....	69-65
Висновок.....	66
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	67-69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Англійські скорочення

5G – 5-е покоління мобільних мереж або 5-го покоління бездротових систем

IoT (Internet of Things, IoT) – Інтернет речей

Wi-Fi (Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi) — Бездротова точність

LTE (Long Term Evolution) — назва мобільного протоколу передачі даних; проект 3GPP, стандарт з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - Стандарт IEEE 802.16 стандарт бездротового зв'язку

URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Cellular network) - Надзвичайно надійна мобільна мережа

eMBB (Enhanced Mobile Broadband) - Розширений мобільний широкопasmовий зв'язок

VM (Virtual machine) - модель обчислювальної машини, створеної шляхом віртуалізації

BS (Base station) – Базова станція

OMC (Operations and Maintenance Centre) - Центр експлуатації та технічного обслуговування

GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing)-Узагальнене мультиплексування частотного розділу

FBMC (Filter Bank Multicarrier)

UFMC (Universal Filtered Multicarrier)

GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing)

AMF (Access & Mobility Management Function)

UPF (User Plane Function)

E2E (END to END)

FDD (Frequency-division duplex)

TDD (Time-division duplex)

RB – Radio Block

GEO – Geostationary orbit

MEO - Medium earth orbit

LEO - Low earth orbit

LHCP (Left Hand Circular Polarized antennas)

RHCP (Right Hand Circular Polarized) (

Handoff - Переадресація

MTSO (Mobile Telephone Switching Office)

CDMA (Code-division multiple access)

RSS - Received Signal Strength

Українські скорочення

MCE – Міжнародний союз електрозв'язку

ВСТУП

Актуальність. В умовах сучасного світу дослідження технологій та мереж бездротового зв'язку являється надзвичайно важливим завданням, оскільки використання якісного та високошвидкісного зв'язку є важливим пріоритетом більшості розвинених держав. Провідні технологічні держави світу поставили за мету впровадити 5G до 2020 року. Цій технології визначена роль локомотива розвитку телекомунікацій, а також лідера технологічного розвитку і технологій цифрової трансформації. Технологія 5G стане вирішальною інновацією, яка забезпечить високошвидкісним та більш надійним мобільним зв'язком, здатну справлятися з постійно зростаючими вимогами до передачі даних як з боку бізнесу, так і рядових користувачів. 5G надасть величезні можливості для підвищення продуктивності і зростання цифрової економіки. Наявність необхідних частот є одним з основних чинників для розвитку таких мереж, поряд з готовністю мережевої архітектури та інфраструктури, бізнес-моделей і абонентських пристроїв.

Однією з найважливіших передумов для розвитку мереж 5G є дефіцит частотного ресурсу, необхідного для забезпечення прийнятної якості послуг, пов'язаним з мобільною передачею даних в умовах тривалого експоненціального зростання трафіку і прийдешньої ери інтернету речей (IoT). Особливо гостро стоїть проблема нестачі частот в нижніх ділянках спектру, включаючи діапазон 5ГГц для Wi-Fi. У зв'язку з цим виникають пропозиції використовувати для мереж 5G не тільки низькі частоти (до 6 ГГц), але і високі (десятки гігагерц) характеристики яких сильно відрізняються від традиційних діапазонів для мобільного зв'язку. Тому для мереж 5G будуть використані нові мережеві та архітектурні рішення. Передбачається, що в порівнянні з уже існуючими мережами LTE, швидкість передачі даних в мережі 5G повинна бути в 10-100 разів вище, час відгуку – в 5 раз менше, мережа повинна підтримувати в 100 разів більше абонентів і т.п.

Метою роботи є дослідження алгоритмів неперервної передачі в системах мобільного зв'язку 5G, принцип роботи хендовера для вирішення проблеми мобільності.

Для досягнення поставленої мети треба виконати наступні завдання:

- визначити основні параметри та характеристики бездротової технології 5G;
- визначити принцип технології хендоверу для вирішення проблеми мобільності користувачів технологією 5-го покоління;
- зробити загальний висновок щодо використання даних технологій у мережі 5G.

Об'єктом дослідження є дослідження алгоритмів неперервної передачі даних в межах бездротової мережі 5G.

Результатом дипломної роботи є теоритичне дослідження технології неперервної передачі, що як найкраще задовольняють умови використання бездротової технології та висновки щодо доцільності використання вище зазначених технологій.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G ТА ЇЇ СТАНДАРТИЗАЦІЯ.

1.1. Загальні відомості.

В 2012 році на конференції в Женеві були представлені технології четвертого покоління – LTE-A і WiMAX2 (WiMAN-Advanced, IEEE 802.16m). Дані технології дозволять здійснювати передачу даних зі швидкістю до 100 Мбіт/с – рухомим абонентам і 1 Гбіт/с – стаціонарним. В 2015 році з'являються повідомлення про розробку мереж наступного покоління – 5G.

5G (5-е покоління мобільних бездротових мереж) – це назва, що використовують в сучасних проектах для визначення наступного покоління телекомунікаційних стандартів для мобільних мереж після стандарту 4G/IMT-Advanced. За специфікаціями МСС даний стандарт має назву “IMT-2020”.

Провідні телекомунікацій компанії, такі як Ericsson, Huawei, Nokia пропонують на сьогоднішній день концепцію майбутніх 5G мереж. Передбачається, що 5G буде фінальним узагальненим стандартом у світі бездротових технологій.

Згідно ІТУ-R М(IMT-2020) стандарт мережевої технології 5G повинен відповідати вимогам представленим на *Таблиці 1*. Очікується, що в 5G не буде витрачатись час на переривання при перемиканні між приймачами і передавачами, тобто як мінімум 100МГц доступної смуги в будь-який час, підтримка смуги 1ГГц в високих діапазонах, а також до одного мільйона одночасно підключених до мережі пристроїв. В планах 5G технологія буде конвергентною, тобто окремі компоненти мережі будуть згруповані в єдиний оптимізований обчислювальний комплекс за допомоги віртуалізації обладнання. Оператори зв'язку за допомоги серверів та DATA-центрів організовуватимуть віртуальні машини (VM) для обробки і зберігання даних, в той час як фізичне устаткування прийматиме участь в передачі трафіку. Це вирішить проблему з нагромадженням обладнання на базових станціях (БС), а також дасть змогу оператору мати доступ в будь-яку точку мережі фізично находячись в центрі експлуатації та технічного обслуговування.

Параметри	Характеристики
Пікова швидкість передачі даних	20Гбіт/с в лінії вниз 10Гбіт/с в лінії вверх
Пікова спектральна ефективність	30Біт/с/Гц в лінії вниз 15Біт/с/Гц в лінії вверх
Ширина полоси частотного каналу	До 1ГГц (в лінії вниз/вверх)
Затримка в площині керування	10 мс
Затримка в площині користувача	Режим URLLC: не більше 0,5мс для лінії вверх/вниз
	Режим eMBB: не більше 4мс для лінії вверх/вниз
Час переривання мобільності	0 мс, тобто відсутній
Надійність	99,999% для режиму URLLC
Покриття	Бюджет лінії вверх повинен співпадати з бюджетом LTE при тих же втратах
Спектральна ефективність в соті та на границі соти	В 3 рази вище LTE - Advanced
Максимальна щільність з'єднаних абонентських пристроїв (User equipment)	До 1 млн на 1 кв.км
Максимальна швидкість переміщення абонентів	500км/год

Таблиця 1. Характеристики 5G

1.2. Стандартизація технології 5G.

В процес стандартизації технології 5G залучені найбільші організації зв'язку : Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ), партнерський проект 3GPP, партнерський проект oneM2M, СЕРТ, а також ETSI. В секторі радіозв'язку МСЕ-Р і секторі стандартизації МСЕ-Е, створені: робоча група WP5D "ІМТ-системи" в Дослідницької комісії ДК5 "Наземні служби" та оперативна група (ОГ) "ІМТ-2020 Майбутня мережа, включаючи хмарні обчислення, мережі рухомого зв'язку та мережі наступних поколінь" в ДК13.

Оперативна група з мережних аспектів ІМТ-2020 в ДК13 Сектора стандартизації МСЕ-Т була створена в травні 2015 року для аналізу принципів взаємодії

технологій 5G в майбутніх мережах в якості попереднього дослідження інновацій в області організації мереж, необхідних для забезпечення розвитку систем 5G. Провівши дослідження розвитку 5G, IMT-2020 прийняла концепцію екосистеми 5G та опублікувала результати аналізу розвитку мереж 5G в звіті ДК13 МСЕ-T[6].

В кінці 2016 року ОГ IMT-2020 МСЕ-T представила дев'ять проєктів рекомендацій та технічних звітів по мережам IMT-2020 [2-10], які пред'являли розгорнуті вимоги до мережевої архітектури 5G. Гнучкість наскрізної мережі E2E стане однією з визначальних особливостей при побудові мереж 5G. Це значною мірою пов'язано з програмно-центричним майбутнім інфраструктури мереж 5G і можливістю створювати високорівневі мережеві шари 5G, що використовують розширення програмно-визначеної мережі (SDN), віртуалізації мережевих функцій(NFV) і хмарних обчислень. Тому ДК13, як провідна дослідницька комісія МСЕ по 5G, продовжує роботу по переходу до програмного управління мережею і оркестрації мережевих функцій [11-13](див рисунок 1).

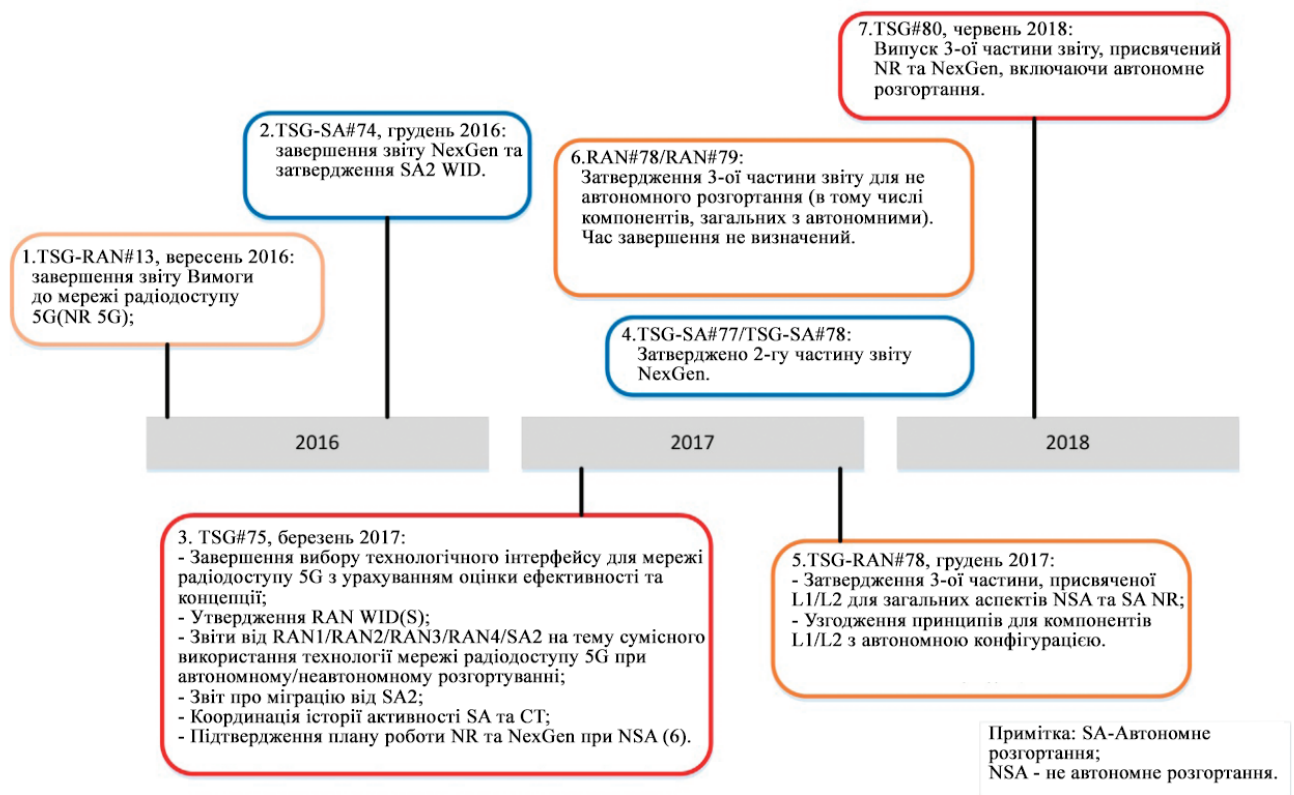


Рисунок 1. План роботи по Релізу 15

Також ДК13 розробляє проекти стандартів 5G по мережевій архітектурі, мережевим можливостям, мережевим шарам (“слайсинг”), мережевому оркеструванню, управлінню мережею та інфраструктурою для збереження якості обслуговування. Сектор стандартизації МСЕ-Т прагне прискорити роботу по стандартизації провідних елементів мереж 5G. ДК15 розробляє технічний звіт за вимогами до оптичних транспортних мереж в складі 5G. ДК11 вивчає питання побудови площини управління мережі 5Gб, протоколи та методологію їх тестування. ДК5 досліджує екологічні вимоги до 5G систем. У листопаді 2017 р ДК13 створила фокус-групу з дослідження використання алгоритмів штучного інтелекту і машинного обчислення в мережах 5G. Робоча група 5D сектора радіозв’язку МСЕ-Р завершила розробку документа, підсумувавши плани МСЕ з розвитку ІМТ-2020. У співпраці з промисловими структурами, а також з широким колом зацікавлених сторін (Науковими центрами, національними регуляторами, виробниками контенту) МСЕ-Р веде детальні дослідження ключових елементів мереж 5G, які допомагають стандартизувати всі аспекти створення 5G. Сектор радіозв’язку МСЕ-Р завершив розробку двох звітів (М.2320 і М.2376), а також Рекомендації М.2083, в яких відобразив своє бачення розвитку мобільного широкосмугового зв’язку покоління 5G [14-16].

В кінці 2017 р РГ 5D провела міжнародний семінар, на якому обговорювалися вимоги до технічних характеристик 5G (ІМТ-2020), критерії оцінки та методології відбору кандидатів для затвердження технології ІМТ-2020. Процес відбору технологій-кандидатів планується завершити до 2020 р розробкою рекомендації МСЕ-Р з докладними специфікаціями для нових радіоінтерфейсів. Вона буде представлена на затвердження в Сектор радіозв’язку МСЕ-Р. Згідно з планами 3GPP роботу по стандартизації першої фази мереж 5G планується завершити у вересні 2018 року (Реліз 15) [11]. Ці специфікації будуть адресовані насамперед виробникам обладнання для забезпечення введення в комерційну експлуатацію перших мереж 5G, наміченого на 2020 р. В ході пленарного засідання TSG#72 – групи по технічним специфікаціям 3GPP (Пусан, Південна Корея) був затверджений план робіт по Релізу 15, що повністю охоплює питання

стандартизації 5G (рисунок 2). Він включає в себе безліч проміжних завдань і календарних точок контролю статусу проведених робіт для забезпечення ефективного керівництва поточними дослідженнями по 5G в робочих групах 3GPP.

Основні дати виконання робіт:

- вересень 2016: завершення підготовки Технічного звіту за новими вимогами до радіодоступу (NR);
- грудень 2016: початок нормативної роботи групи SA2 з архітектури мережі нового покоління (NexGen);
- березень 2017: початок розробки специфікації нових вимог до радіодоступу (5G NR) робочими групами RAN;
- грудень 2017: публікація попередніх технічних вимог Релізу 15 до мережі радіодоступу і базової мережі 5G;
- червень 2018: завершення розробки фази 1 мережі 5G і публікація остаточної версії Релізу 15.

Члени 3GPP поки досягли згоди тільки за двома сценаріями використання мереж 5G (use case) з трьох сценаріїв MCE:

- покращений мобільний широкосмуговий доступ (Enhanced Mobile Broadband, eMBB);
- ультранадійний зв'язок з низькими затримками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC).

Однак третій сценарій MCE - «Масові підключення для міжмашинного обміну даними» (massive Machine Type Communications, mMTC) – на етапі робіт по Релізу 15 теж увійшов до переліку дослідницьких питань Технічного звіту 3GPP. Крім того, було досягнуто згоди про використання діапазону 6 ГГц як точки відліку на шкалі спектра для дослідження спектра як нижче, так і вище.

Проект 5GNOW, що входить до сімейства проектів «ІТМ-2020», визначив для 5G кілька сигнально-кодових конструкцій, заснованих на використанні фільтрованих сигналів з безліччю несучих:

- GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing);
- FBMC (Filter Bank Multicarrier);
- UFMC (Universal Filtered Multicarrier);
- BFDM (Bi-Orthogonal OFDM).

Ці сигнально-кодові конструкції можуть стати основою нового сімейства технологій радіоінтерфейсу 5G, яке MCE визначить в лютому 2020 р.

1.3. Технології та архітектура наземної мережі 5G.

Мережу мобільного зв'язку 5-го покоління, відповідно до технічних специфікацій 3GPP, утворюють дві мережі: мережа радіодоступу NG-RAN і базову мережу 5G Core. Мережа радіодоступу NG-RAN може включати сукупність базових станцій (БС) (рисунк 2), що складаються з [17]:

- БС gNB, радіоінтерфейс яких використовує технологію доступу 5-го покоління NR (NR Radio Access);
- БС ng-gNB, радіоінтерфейс яких використовує технологію доступу LTE (E-UTRA).

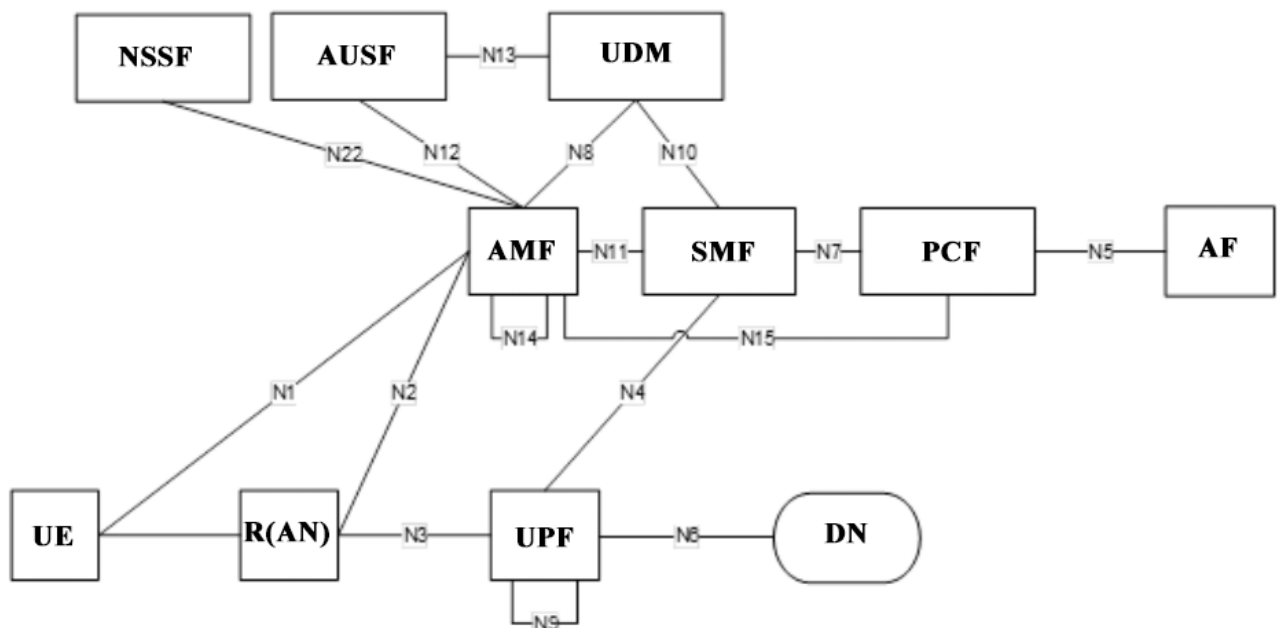


Рисунок 2. Архітектура мережі мобільного зв'язку 5G.

Базові станції будуть взаємодіяти між собою по інтерфейсу Xn, а також з базовою мережею 5G Core по інтерфейсів NG: по інтерфейсу N2 – з модулем управління доступом і мобільністю AMF, по інтерфейсу N3 – з функціональними модулями площі користувача UPF.

Архітектура базової мережі 5G Core включає сукупність функціональних модулів базової мережі та мережевих інтерфейсів N1-N15, що з'єднують ці модулі.

Побудова сервісно-орієнтованої архітектури (SBA) базової мережі 5G Core визначено в Технічній специфікації TS 23.501 «Системна архітектура для системи 5G »Релізу 15.

Функціональні модулі базової мережі 5G Core призначені для вирішення наступних завдань:

- управління сервером аутентифікації AUSF;
- управління доступом і мобільністю AMF;
- управління сесіями SMF;
- передача даних абонентів UPF;
- вибір мережевого шару NSSF;
- управління уніфікованими даними UDM;
- управління політиками PCF;
- зберігання структурованих мережевих даних SDSF;
- зберігання неструктурованих мережевих даних UDSF;
- управління мережею на основі додатків AF;
- забезпечення взаємодії мережі з зовнішніми функціями NEF;
- управління репозиторієм (базою даних) мережевих функцій NRF.

Головною особливістю базової мережі 5G стане можливість формування і використання мережевих шарів для різних послуг і підтримки паралельно до восьми шарів на один абонентський пристрій. Мережевий шар, що утворюється на основі технології віртуалізації NFV, дозволяє динамічно створювати логічну

мережу E2E з використанням мереж радіодоступу 5G, базової мережі 5G Core і модулів міжмережевої взаємодії для послуги.

Для роботи мережі радіодоступу 5G будуть використовуватися два піддіапазони: FR1 (450-6000 МГц) і FR2 (24250-52600 МГц).

Класифікуємо базові станції gNB покоління 5G за кількома показниками: по використуваних частотних діапазонах, компонуванні модулів БС і антенним системам, зоні обслуговуван, типу БС (табл. 2-4).

Тип БС	Ділянка спектру (МГц)	Виконання
1-С	FR1 (450-6000)	Роздільне виконання антени, фільтрів передавача і приймача, підсилювача потужності та лінійного підсилювача приймача.
1-Н		Роздільне виконання тільки композитної антенної решітки, поєднаної з радіорозподільною мережею антени та модулем прийомопередатчиків антенної решітки
1-О		Спільна компоновка композитної антенної решітки, радіорозподільчої мережі антени та 2-О FR2 модуля приймачів антенної решітки
2-О	FR2 (24250-52600)	

Таблиця 2. Класифікація БС gNB 5G покоління з новим радіоінтерфейсом NR по частотних діапазонах, компонуванні модулів БС і антенним системам.

Зона обслуговування	Сценарій 5G	Територіальне рознесення між БС та UE, м
Широка	Макросотові (Macro Cell)	35
Середня	Мікросотові (Micro Cell)	5
Локальна	Пікосотові (Pico Cell)	2

Таблиця 3. Класифікація БС gNB 5G покоління типу 1-О та 2-О.

Зона обслуговування	Сценарій 5G	Мінімальні втрати при з'єднанні БС з UE, дБ
Широка	Макросотові (Macro Cell)	70
Середня	Мікросотові (Micro Cell)	53
Локальна	Пікосотові (Pico Cell)	45

Таблиця 4. Класифікація gNB 5G покоління типу I-C та I-N.

У мережі 5G для роботи базових і абонентських станцій визначені частотні діапазони (табл. 5 і 6).

Робочий діапазон NR	Робочий діапазон, МГц		Режим дуплекса
	Лінія вниз (UL) БС прийом/UE передача F _{UL_LOW} -F _{UL_HIGH}	Лінія вверх (DL) БС передача/UE прийом F _{DL_LOW} -F _{DL_HIGH}	
n1	1920-1980	2110-2170	FDD
n2	1850-1910	1930-1990	FDD
n3	1710-1785	1805-1880	FDD
n5	824-849	869-894	FDD
n7	2500-2570	2620-2690	FDD
n8	880-915	925-960	FDD
n20	832-862	791-821	FDD
n28	703-748	758-803	FDD
n38	2570-2620	2570-2620	TDD
n41	2496-2690	2496-2690	TDD
n50	1432-1517	1432-1517	TDD
n51	1427-1432	1427-1432	TDD
n66	1710-1780	2110-2200	FDD
n70	1695-1710	1995-2020	FDD
n71	663-698	617-652	FDD
n74	1427-1470	1475-1518	FDD
n75	N/A	1432-1517	SDL
n76	N/A	1427-1432	SDL
n77	3300-4200	3300-4200	TDD
n78	3300-3800	3300-3800	TDD
n79	4400-5000	4400-5000	TDD
n80	1710-1785	N/A	SUL
n81	880-915	N/A	SUL
n82	832-862	N/A	SUL
n83	703-748	N/A	SUL
n84	1920-1980	N/A	SUL

Таблиця 5. Полоси частот 5G NR в діапазоні FR1.

Робочий діапазон NR	Робочий діапазон Uplink (UL) та Downlink (DL) БС передача/прийом UE передача/прийом $F_{UL_low}^{ul_low} - F_{UL_high}^{UL_high}$ $F_{DL_low}^{DL_low} - F_{DL_high}^{DL_high}$	Режим дуплексу
n257	26500–29500	TDD
n258	24250–27500	TDD
n260	37000–40000	TDD

Таблиця 6. Полоси частот 5G NR в піддіапазоні FR2.

Аналіз *табл. 5 і 6* показує, що в число діапазонів нижче 6 ГГц включені не всі 46 діапазонів частот, визначених раніше 3GPP для мереж LTE, і вперше введений діапазон 600 МГц (n71). Діапазони вище 6 ГГц використовуються тільки для режиму TDD з обмеженням до 40 ГГц в порівнянні з смугами, визначеними для досліджень до ВКР-19:

- 24,25–27,5, 37–40,5, 42,5–43,5, 45,5–47, 47,2– 50,2, 50,4–52,6, 66–76 и 81–86 ГГц, будуть розподілені мобільній рухомій службі на первинній основі;
- 31,8–33,4, 40,5–42,5 и 47–47,2 ГГц, вимагають додаткового розподілу мобільній рухомій службі на первинній основі.

Сформований базовими та абонентськими станціями частотний канал, як і для технологій 4G, буде складатися з радіоблоків RB. Кожен радіоблок формується з піднесущих частот шириною 15, 30 і 60 кГц для піддіапазону спектра FR1.

Максимальна конфігурація радіоблоків NRB для частотного каналу базової станції і рознесення між піднесущими (SCS) в ресурсному радіоблоці RB, представлені в *табл. 7* для піддіапазону спектра FR1 і в *табл. 8* для піддіапазону спектра FR2.

SCS, кГц	Ширина частотного каналу, МГц												
	5	10	15	30	20	25	40	50	60	70	80	90	100
15	25	52	79	[160]	106	133	216	270	NA	NA	NA	NA	NA
30	11	24	38	[78]	51	65	106	133	162	[189]	217	[245]	273
60	NA	11	18	[38]	24	31	51	65	79	[93]	107	[121]	135

Таблиця 7. Максимальна конфігурація числа радіоблоків NRB для різних смуг каналу передачі в піддіапазоні FR1.

SCS, кГц	Ширина частотного каналу, МГц			
	50	100	200	400
60	66	132	264	N.A
120	32	66	132	264

Таблиця 8. Максимальна конфігурація числа радіоблоків NRB для різних смуг каналу передачі в піддіапазоні FR2.

З огляду на обмежений радіус зон покриття, сформовані базовими мережами 5G для досягнення більш широкого покриття, розглянемо можливість використання і супутникового сегмента мереж 5G.

1.4. Технології та архітектура супутникової мережі 5G.

3GPP, головний розробник технічних специфікацій на обладнання та інфраструктуру мереж 5G, приступив до дослідження можливостей використання супутникового сегмента 5G при розробці Релізу 14 в рамках звіту 3GPP TR 38 913[18].

Запропоновані 3GPP сценарії розгортання супутникового сегмента 5G визначені для надання послуг 5G в тих областях, де недоступні послуги наземного сегмента цих мереж, а також для послуг, які можуть бути більш ефективно підтримані супутниковими системами, такими, наприклад, як служба мовлення. Згідно [19], супутниковий сегмент 5G повинен доповнювати послуги мереж 5G, особливо на автомобільних, залізничних і водних шляхах, в сільських районах, де наземний сегмент послуг 5G недоступний. Спектр послуг, наданих через супутниковий сегмент 5G, що не обмежується передачею даних і голосовими послугами, а

підтримує ще послуги інтернету речей і M2M, мовлення і ряд послуг, толерантних до затримок сигналу.

На сьогоднішній день проектом 3GPP запропоновані три сценарії розгортання супутникових мереж 5G (табл. 9). Наведені в таблиці супутникові орбіти дозволяють використовувати:

- Геоестаціонарні супутники (GEO), розташовані на висоті 35786 км; що можуть забезпечити одним-трьома космічними апаратами (КА) охоплення зв'язком поверхні Землі між 70 ° пн.ш. і 70 ° пд.ш.
- Середньоорбітальні супутники (MEO), розташовані на висоті від 6000 до 10000 км; можуть забезпечити охоплення зв'язком над поверхнею Землі 10-12 супутниками.
- Низькоорбітальні супутники (LEO), розташовані на висоті 800-2000 км; гарантують безперервність покриття мережею супутникового зв'язку над поверхнею Землі супутниковим угрупованням, що складається з 50-100 КА.

Параметри	Сценарій 1	Сценарій 2	Сценарій 3
Використовувані супутниковим сегментом діапазони частот	Діапазон 1,5 або 2ГГц для обох ліній (DL та UL)	Діапазон 20ГГц для ліній DL Діапазон 30ГГц для ліній UL	Діапазон 40 або 50 ГГц
Метод розділення сигналів	FDD		
Супутникова архітектура	Bent-pipe	Bent-pipe, On-Board Processing	Bent-pipe, On-Board Processing
Типове використання супутникового сегмента в мережі 5G	Мережа доступу	Транспортна мережа	Транспортна мережа
Ширина каналу, МГц (DL+UL)	До 2 x 10	До 2 x 250	До 2 x 1000
Супутникові орбіти	GEO, LEO	LEO, MEO, GEO	LEO, MEO, GEO
Сценарії використання	100% поза приміщеннями		
Абонентське обладнання	Фіксоване, малорухоме, мобільне		

Таблиця 9. Сценарії розгортання супутникових мереж 5G.

Частотні діапазони, наведені в табл. 9, охоплюють лише частина супутникових діапазонів, тоді як сучасні супутникові мережі розгорнуті в більш широкому переліку частотних діапазонів, включаючи L-діапазон (1-2 ГГц), S-діапазон (2-4 ГГц), C-діапазон (3,4-6,725 ГГц), Ku-діапазон (10,7-14,8 ГГц), Ka-діапазони (17,3-21,2, 27,0-31,0 ГГц) і Q/V-діапазони (37,5-43,5, 47,2-50,2 і 50,4-51,4 ГГц) і вище.

Системну архітектуру (рис. 3) супутникового сегмента 5G планується будувати на основі технологій Bent-pipe (з прозорими супутниковими транспондерами-

ретрансляторами; обробка інформації на борту не передбачена), на борту здійснюється тільки посилення і перетворення сигналів по частоті при збереженні виду модуляції сигналів. При використанні на супутникових транспондерах технології On-Board Processing на борту супутника виконується регенерація, включаючи модулювання та кодування сигналів.

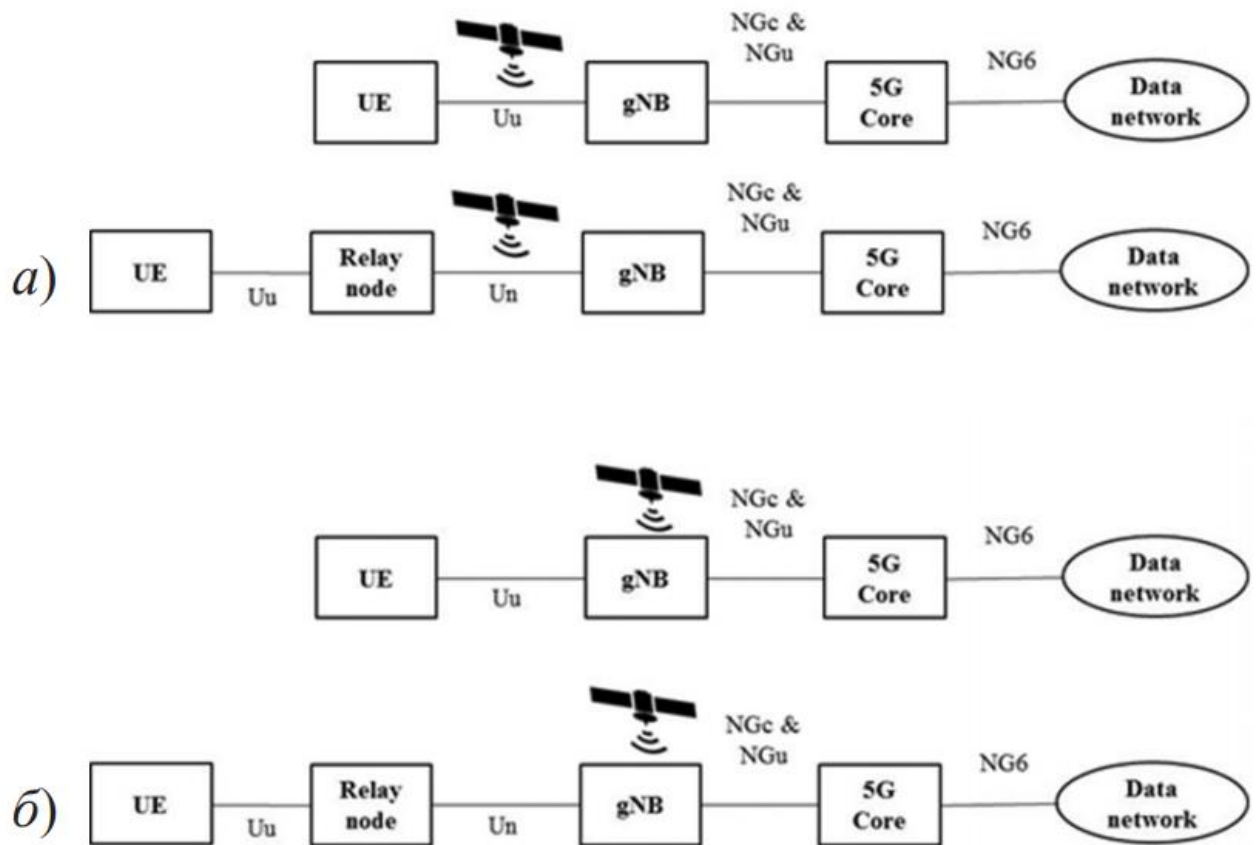


Рисунок 3. Архітектура супутникового сегмента 5G на основі технології Bent-pipe (а) On-Board processing (б) [20].

Мобільні пристрої супутникового сегмента 5G будуть представлені як ношеними абонентськими терміналами, так і іншими рухомими пристроями, встановлюються на автомобілях, кораблях, літаках і т.д. В даний час можливості носяться UE обмежені використанням смуг L- і S-діапазонів, але дослідження тривають, щоб забезпечити їх підтримку в більш високих частотних діапазонах.

У грудні 2017 року в рамках роботи над Релізом 16 була опублікована перша версія звіту TR22.822 [20], в якому запропоновані бізнес-кейси супутникового сегмента мережі 5G, головним з яких є інтернет речей, визначені вимоги до

забезпечення транскордонних сценаріїв з'єднання, а також основні характеристики супутникового сегмента мережі 5G: класи орбіт, геометрія зон покриття і затримки сигналу при поширенні, мережева архітектура супутникового сегмента мережі 5G.

Супутниковий сегмент мереж 5G включений в інтегровану мережу радіодоступу 5G, що надається через супутникову інфраструктуру і базову мережу 5G (Core Network 5G). Базова мережа 5G CN може бути підключена і до інших мереж радіодоступу 4G RAN, окрім супутникового сегмента 5G. Таким чином, корисне навантаження супутника сегмента 5G, на думку компанії «Боїнг» [21], може використовувати вдосконалену просторово-часову обробку при формуванні променя антени (Beam-forming) і цифрову обробку на борту, щоб генерувати тисячі вузькосмугових променів для забезпечення супутникового сегмента мережі зв'язку 5G на поверхні Землі (рис. 4).

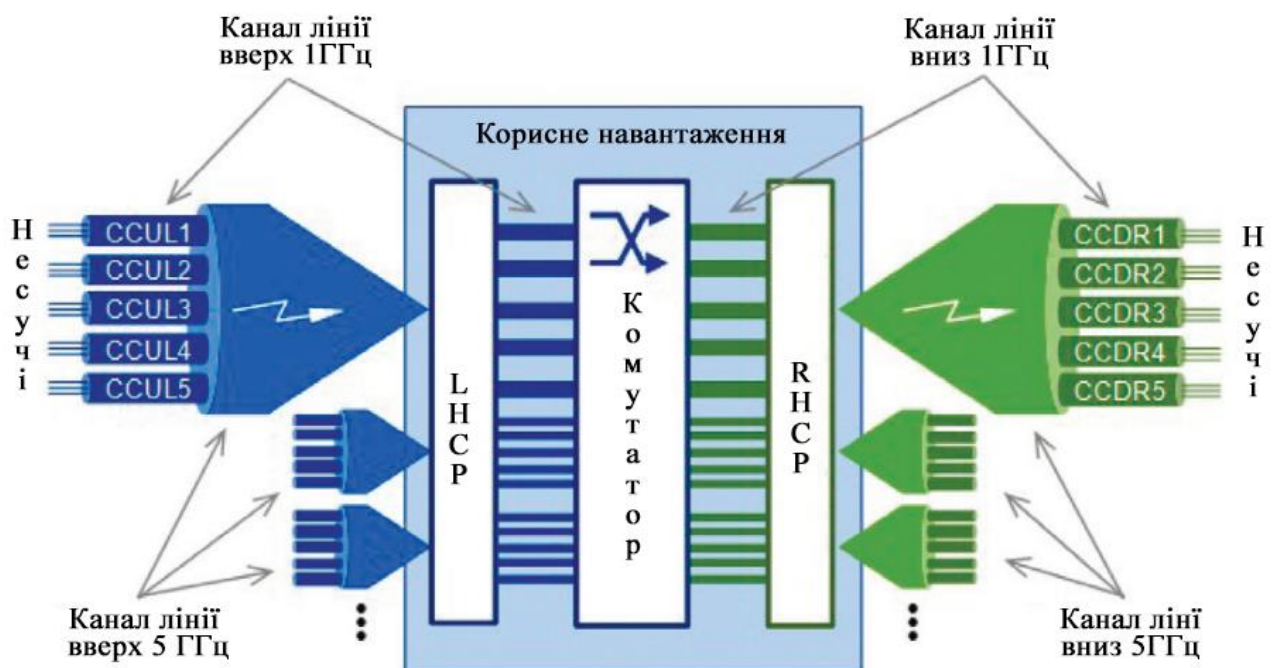


Рисунок 4. Схема обробки та формування сигналу на борту [22].

Кожен супутниковий канал в лінії вгору або вниз може мати до п'яти каналів зв'язку шириною 1 ГГц при загальній смузі пропускання до 5 ГГц в залежності від

миттєвої ємності, необхідній соті, що обслуговується променем. Будь-який канал в лінії вгору може бути підключений до будь-якого каналу лінії вниз відповідно з використанням алгоритмом зв'язності.

1.5. Практичні досягнення розробників 5G.

Експериментальні розробки обладнання pre-5G, періодично з'являються на ринку завдяки провідним світовими телекомунікаційним виробникам, які носять, як правило, характер приватних рішень на шляху до комерційної реалізації обладнання мереж 5G (табл. 10). Це пов'язано з тим, що навіть оприлюднені в грудні 2017 р технічні специфікації Релізу 15 не містять деталі остаточного вигляду устаткування, особливо в частині сигнально-кодкових конструкцій і методу багастостанціонного доступу в мережі радіодоступу 5G.

Вендор	Оператор	Діапазон, ГГц	Антени	Швидкість передачі, Гбіт/с
Huawei	M1, Сингапур	73		35
Huawei	Vodafone, Великобританія	60-90(E-band)	SU-MIMO MU-MIMO	20 10 (пікова швидкість - 20)
Nokia	МегаФон (РФ)	4,65-4,85	Агрегування двох радіоканалів по 100МГц в режимі MIMO 8x8; 8 антен на передавальному та прийомальному обладнанні	4,5 (полоса пропускання 200МГц)
Ericsson	Telia, Швеція		Передача сигналу шириною 800МГц	Рекорд - 15Гбіт/с на одного користувача; затримка 3мс
Ericsson	U.S. Cellular (USA, Wisconsin)	15		Пікові швидкості: 9Гбіт/с на відстані від UE до БС 240м; 1,5Гбіт/с на відстані від UE до БС в 1,6км;
Samsung	T-Mobile, Німеччина	28ГГц на відстані 2км	64-елементна антенна решітка	1,056Гбіт/с

Таблиця 10. Запропоноване для тестування обладнання 5G.

Жоден з вендорів не продемонстрував можливість підключення до 1 млн датчиків на 1 кв.км.

ВИСНОВОК

Інфраструктурним базисом цифрової економіки світу будуть мережі зв'язку нових поколінь, а в сегменті мобільного зв'язку - мережі на основі технологій мобільного зв'язку п'ятого покоління що найбільш відповідає викликам цифрової економіки і можливостям трансформації виробничих бізнес-процесів на основі наскрізних технологій.

Стандартизація технологій мобільного зв'язку 5G внесена в перспективні плани робіт на 2018-2020 рр. провідних міжнародних організацій зв'язку, що займаються стандартизацією в області електрозв'язку: МСЕ, Партнерських проектів 3GPP і oneM2M, а також ETSI та інших регіональних органів стандартизації.

Наземний сегмент інфраструктури мобільного зв'язку 5G, що включає мережі радіодоступу 5G і базову мережу 5G Core, буде використовувати два піддіпазони, позначених 3GPP як FR1 (450-6000 МГц) і FR2 (24250-52600 МГц) на основі базових станцій різних класів.

Якщо брати до уваги необхідність забезпечення широкого територіального покриття великих просторів розвинених країн світу мережами 5G і роль цих мереж у майбутній інфраструктурі цифрової економіки, розвиток супутникового сегмента 5G стає одним з актуальних питань просування і стандартизації мереж зв'язку п'ятого покоління на наступному етапі - в період 2020-2025 рр.

Стандарт 5G – це більше, ніж просто мережева технологія. 5G слід розглядати як середовище бездротового доступу, спілкування пристроїв, людей через різноманітний набір сценаріїв. За допомоги 5G людство зможе реалізувати "Інтернет речей" , "Мережеве суспільства" і машиноорієнтовані комунікацій (M2M , D2D).

2. HANDOFF/HANDOVER ТЕХНОЛОГІЯ, ЯК МЕХАНІЗМ ВДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.

2.1. Загальні відомості про хендовер.

Метою даного розділу є вивчення концепції хендовера в бездротовому зв'язку. Мобільність – це відмінна особливість бездротової мобільної стільникової системи. Коли мобільний абонент переміщується в середині мережі, процес хендоверу необхідний для зміни свого місцезнаходження в системі. Підтримка активного дзвінка є одним з найважливіших якісних показників в стільникових системах. Процес хендоверу надає стільниковій системі таку можливість через перенесення активного дзвінка з однієї соти в іншу. Зазвичай, безперервне обслуговування досягається за допомогою підтримки переадресації, яка передає поточного дзвінок з нинішньої соти до наступної сусідн, коли мобільний телефон переміщується між зонами покриття. У розділі представлені сучасні підходи до переадресації даних, ініціалізація, стратегії виявлення та їх відносні переваги та недоліки.

Мобільність – це найважливіша ознака бездротового зв'язкув системі стільникового зв'язку. Зазвичай, безперервне обслуговування досягається шляхом підтримки переадресація (або перенаправлення) з однієї соти на іншу. Handoff (переадресація) - це процес зміни каналу (частоти, часового інтервалу, кодування або комбінації визначених параметрів) пов'язаний з поточним з'єднанням, в той час як дзвінок в процесі виклику. З іншого боку, в стільниковій телекомунікації, термін хендоверу або переадресації послуг відноситься до процесу перенесення поточного дзвінка або сеансу передачі даних з одного каналу, підключеного до ядра мережі, до іншого каналу (рис.5). У супутниковому зв'язку – це процес передачі контролю від однієї земної станції до іншої без втрати чи переривання в обслуговуванні.

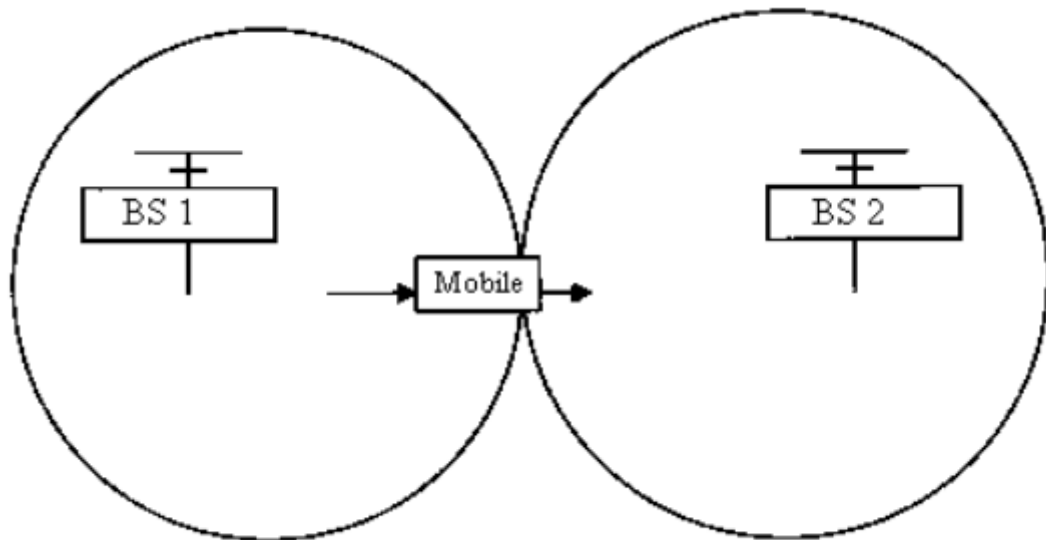


Рисунок 5.Процес хендоверу/переадресації.

Термін Handover є більш поширеним ніж Handoff (переадресація) в академічних наукових публікаціях та літературі, в той час як Handoff є більш поширеним в межах організацій IEEE та ANSI [23]. Час, протягом якого дзвінок підтримується в соті без переадресації, називається часом затримки.

У стільниковому зв'язку існує декілька причин для переадресації сесії:

- при виході телефону із зони покриття соти та при входженні в зону покриття іншої; Хендовер надає можливість не бути прив'язаним до географічних рамок, абонент може переміщуватись в межах оператора мережі без особливих втрат по якості зв'язку;
- у випадку перевантаження ємності соти, при надходженні нового дзвінка, що знаходиться на перекритті іншої соти, відбувається переадресація до вільної по ємності соти. У порядку звільнення ємності, дзвінок переходить у зону відповідальності відповідної соти.
- у не-CDMA мережах, якщо використовується телефоном, що зашумлений перешкодами іншого телефону, який користується тим же канал в іншій соті, то дзвінок переадресується в інший канал в поточній соті або іншому каналу в сусідній соті для усунення перешкод.

- між абонентом і БС виникає перешкода, наприклад, метеорологічні умови або ж БС виходить з ладу.

Для загального розуміння хендовер означає зміну точки підключення під час підтримки зв'язку.

2.2. Типи Handoff/Handover.

Handovers (переадресації) в цілому поділяються на дві категорії – жорсткий та м'який хендовер. Як правило, жорсткий хендовер може бути розділена на два різних типи – внутрішньо- та міжканальна сотова переадресація. М'який хендовер в свою чергу також ділиться на два типи – багатоканальний м'який хендовер та делікатний хендовер.

2.3. Жорсткий хендовер.

Жорсткий хендовер означає – перервати зв'язок до джерела до того як нове з'єднання з ціллю налаштовано. В жорсткому хендовері канал зв'язку із пріоритетною БС припиняється до або як абонент підключиться до БС в новій соті. Ось чому жорсткий хендовер відомий як – “перервати перед тим, як зробити”. У цьому випадку, MS підключена лише до однієї БС у будь-який проміжок часу. Жорсткий хендовер повинен бути миттєвим, щоб мінімізувати час зриву дзвінка. Взагалі, жорсткий хендовер вважається мережевими інженерами як інцидент під час дзвінка. Це вимагає мінімального часу обробки мережею, що надає послугу. Коли абонент знаходиться між двома базовими станціями, то мобільний телефон може переключатись між будь-якою базовою станцією, базова станція відбиває зв'язок із мобільним телефоном взад і вперед. Ця властивість має назву “пінг-понгінг”. Жорсткий хендовер в першу чергу використовується в OFDMA (універсальний доступ до ортогонального частотного розподілу) та TDMA (багаторазовий доступ з розподілом по часу), де різні частотні діапазони використовуються в сусідніх каналах для мінімізації канальної інтерференції.

Отже, коли MS рухається від однієї БС до іншої БС, стає неможливим для спілкування з обома БС (оскільки використовуються різні частоти).

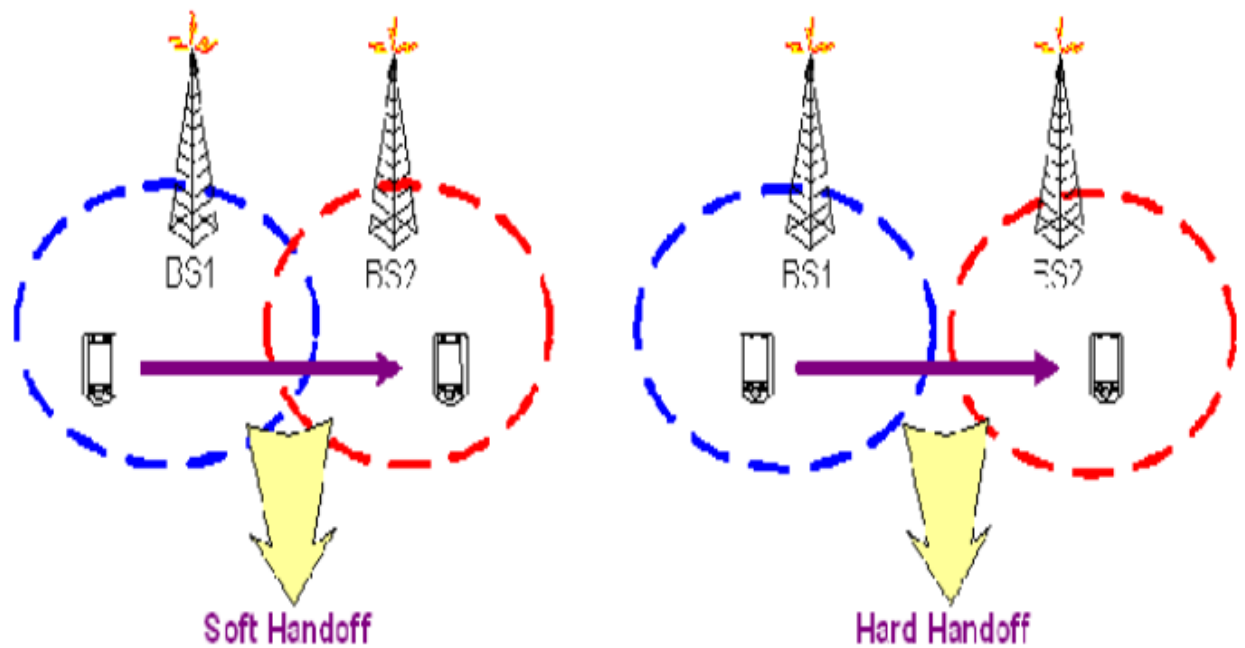
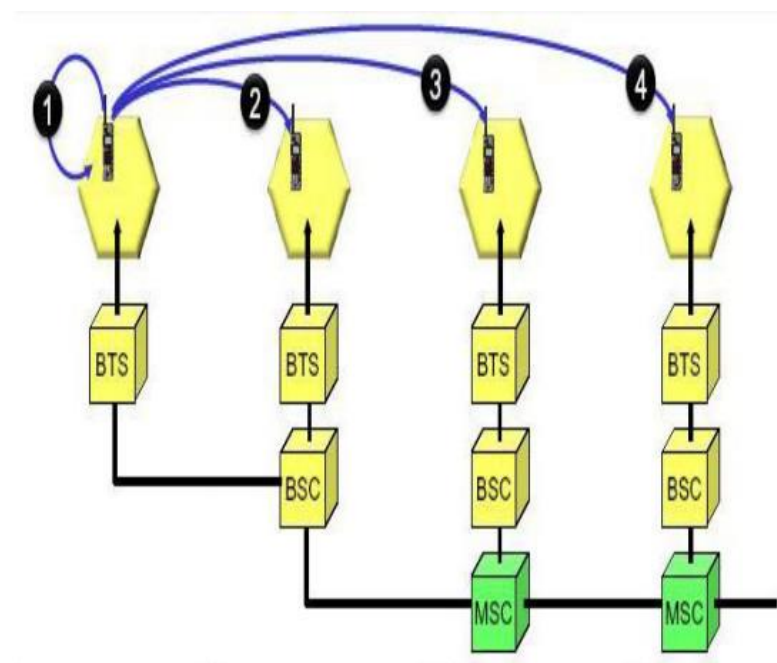


Рисунок. 6. Представлення Soft Handoff та Hard Handoff.

Якщо хендовер виконується між двома часовими проміжками або каналом у тій же базовій станції, він називається внутрішньоюсотовим хендовером або внутрішньобазовим хендовером. З іншого боку, якщо з'єднання переноситься між



двома базовими станціями (БС), підключеними до одного контролера базових станцій (BSC) – це має назву міжканальним хендовером між сотами або БС (рис.7).

Рисунок 7. 1) внутрішньосотовий хендовер; 2) міжсотовий / внутрішньо БС хендовер; 3) міжбазовий хендовер / внутрішньо MSC хендовер; 4) Між MSC хендовер.

Якщо, зв'язок передається між двома базовими станціями (БС) підключеними до різних BSC але в межах одного мобільного комутаційного центру (MSC), називається між – BSC хендовером. Між – BSC хендовер також відомий як внутрішньо – MSC хендовером. Якщо трансфер зв'язку відбувається між двома БС, підключеними до різних BSC, це несе назву як між-MSC хендовер. Якщо протягом поточного дзвінка мобільний пристрій рухається з однієї стільникової системи до сусідньої стільникової системи, що контролюється тим самим MTSO, процедура хендоверу, яка використовується для уникнення скидання дзвінку називається внутрішньосистемним хендовером. Коли мобільний сигнал стає слабким у певній соті та MTSO знаходить іншу соту в своїй мережі, на яку вона може переадресувати дзвінок, то використовується внутрішньосистемний хендовер. Нарешті, якщо під час поточного дзвінка мобільний пристрій рухається з однієї стільникової системи до іншої стільникової системи, яка контролюється різними MTSO, процедура хендоверу хендоверу, що використовується для запобігання скидуванню дзвінка несе назву міжсистемним хендовером. Коли мобільний сигнал стає слабким у певній соті а MTSO не може знайти іншу соту в своїй системі до якої він передати дзвінок, тоді він використовує міжсистемний хендовер. З іншого боку, міжсистемний хендовер – це хендовер між різними радіосистемами, наприклад UMTS-GSM.



Рисунок 8. Міжсистемний хендовер.

2.4. М'який хендовер.

М'який хендовер – це тип переадресація, що відбувається перед “обривом”. Тобто, мобільна станція (MS) перебуває на виклику та переміщується з однієї базової станції (BS) до іншої але MS починає комунікувати з іншою BS перед припиненням зв'язку зі старою BS. М'які хендовери можуть бути використані між базовими станціями на однаковій частоті. Технологія вдосконалила прийом в той час як мобільні станції переміщуються між сотами (на межі сот). Під час м'якого хендоверу даних MS фактично з'єднана з більш ніж однією BS одночасно, тому коли настає час перейти від “слабшої” BS до “сильнішої”, MS вже з'єднана з більш “сильнішою”. Протягом м'якого хендоверу мобільна станція отримує замкнуті біти керування з двох BS і виконує “or of down” логіку, щоб визначити як налаштувати потужність. Це означає що мобільна станція збільшить її рівень потужності, якщо і тільки якщо обидва контрольних біти з двох BS – 0 (указує ввєрх). Якщо біт управління потужністю від будь-якої базової станції дорівнює “1” (указує вниз), мобільна станція повинна знизити свою потужність. М'який хендовер або м'яка переадресація використовується стандартами CDMA та W-CDMA, де стільниковий телефон одночасно підключений до двох і більше сот (або сотових секторів) протягом дзвінка. Якщо сектори розташовані фізично в тій же соті, хендовер називається делікатним У CDMA системах, керовані потужністю, м'якому хендоверу віддається перевага над жорстким хендовером. Це більш детально описано в стандарті IS-95, в якому потужність трансмітера (базової станції) налаштовується динамічно під час роботи. Контроль потужності та м'який

хендовер використовуються як засоби редукції-інтерференції, що являється головною проблемою сучасних систем зв'язку. Інтерференція радіохвилі – це явище, яке взаємно збільшується або зменшується в результаті підсумовування амплітуд хвиль, які поширюються в просторі, а також супроводжується чергуванням максимумів і мінімумів (точок інтенсивності). Результат інтерференції буде залежить від різниці фаз накладаються один на одного хвиль. Попередні та нові широкосмугові канали займають той самий діапазон частот для ефективного використання механізму хендоверу для покращення мобільності у смузі пропускання бездротового зв'язку, що робить використання м'якого хендовера дуже важливим. Основна мета полягає в тому, щоб підтримувати безперервний канал зв'язку з сигналом найпотужнішої базової станції, інакше позитивний зворотній зв'язок керування потужністю призведе до системних проблем. М'який хендовер забезпечує безперервний канал зв'язку з базовою станцією, з якої видається найсильніший сигнал. Делікатний хендовер відбувається, коли MS взаємодіє з двома секторами соти.

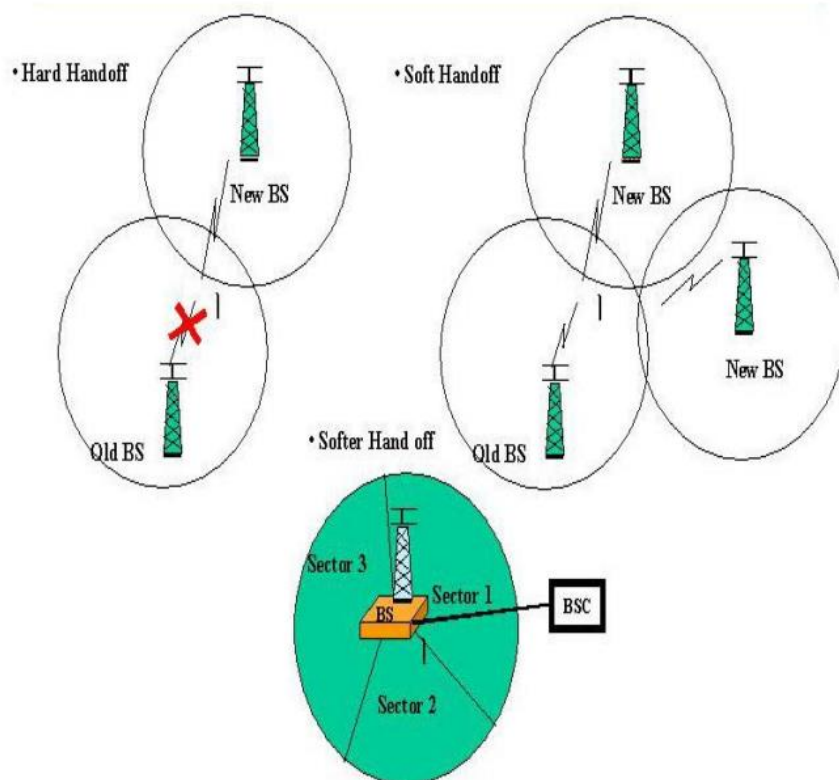


Рисунок 9. Жорсткий, м'який та делікатний хендовер.

2.5. Порівняння між жорстким та м'яким хендовером.

а) Жорсткий хендовер.

- Розривається перед подальшим з'єднанням.
- Термінал пов'язаний не більше ніж з однією базовою станцією в будь-який момент часу.
- Переважно використовується в FDMA та TDMA, де різні частоти використовуються в сусідніх сотах.

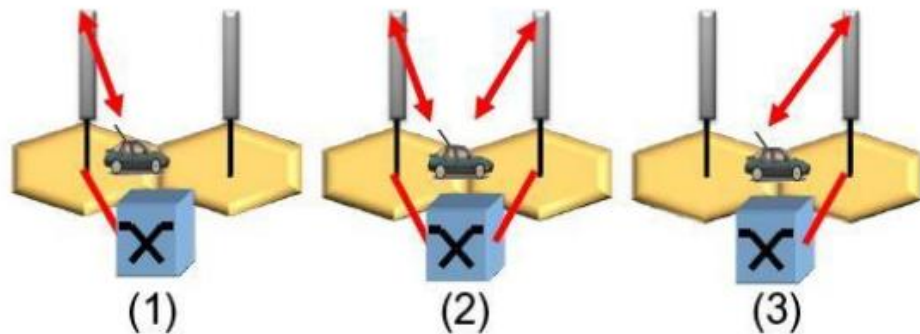


Рисунок 10. Жорсткий хендовер.

б) М'який хендовер.

- З'єднання зберігається перед розривом.
- Нове підключення встановлюється перед тим, як старе з'єднання звільняється, уникаючи розривання підключення під час переадресації.
- Після успішної переадресації старе з'єднання звільняється.
- Використовується в CDMA, де сусідні соти використовують однакову смугу частот.

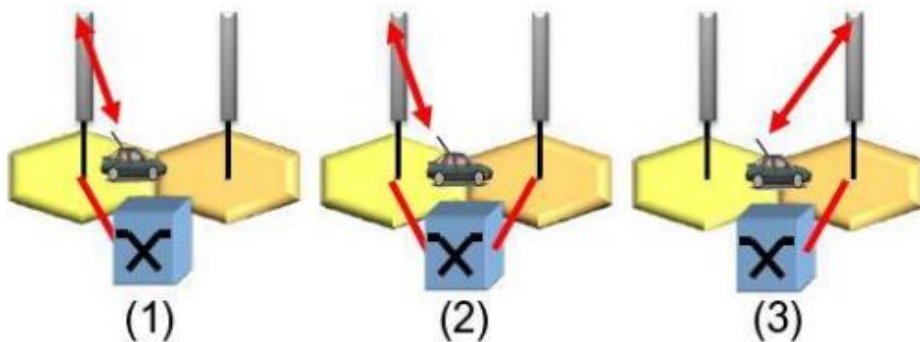


Рисунок 11. М'який хендовер.

2.6. Керування хендовером (переадресацією).

Управління переадресацією – це підтримка зв'язку з трафіком абонента, при переході між сотами. Процес хендоверу відбувається, коли якість або сила радіосигналу опускається нижче певних параметрів (причина якості сигналу), це може також відбутися, коли пропускна спроможність соти досягнута максимального значення або наближається до максимум (велика кількість трафіку). Стандарт GSM визначає близько 40ка причин для переадресації. Хендовер ініціалізується мобільним або базовою станцією.

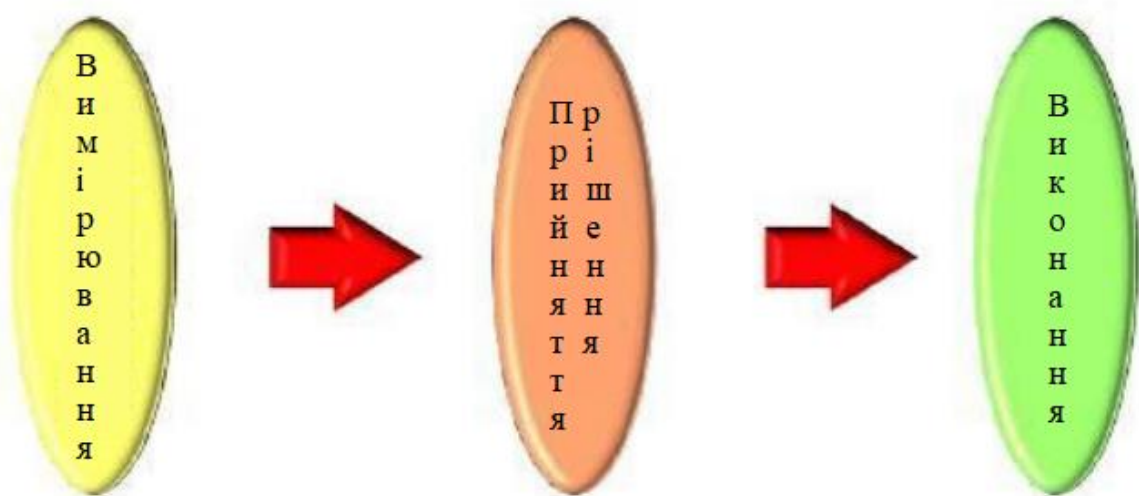


Рисунок 12. Огляд процесу переадресації.

с) Вимірювання.

- Критерії вимірювання: потужність сигналу (між мобільною та поточною базовою станцією, а також між мобільним та сусідніми базовими станціями), відстань, якість (наприклад, з точки зору коефіцієнтів похибки), обсяг трафіку тощо.
- Звіт про вимірювання обмінюється між телефоном та базовою станцією.

d) Прийняття рішення.

- Параметри рішення: трешхолд та по запас гістерезису.
- Мережево-контрольований, за підтримки стільникового телефону хендовер.

е) Виконання.

- Переадресація сигналу.
- Призначення радіо-ресурсу.
- Відновлення зв'язків у серверах ядра мережі та мережах доступу.
- Жорсткий або м'який хендовер.
- Внутрішньосотовий або міжсотовий хендовер.
- Внутрішньочастотний або міжчастотний хендовер.
- Внутрішньосистемний або міжсистемний хендовер.

2.7. Ініціалізація хендоверу.

Жорсткий хендовер відбувається коли старе з'єднання розірване перед тим, як активовано нове з'єднання. Оцінка ефективності жорсткого хендоверу основана на різномітних критеріяї ініціації.

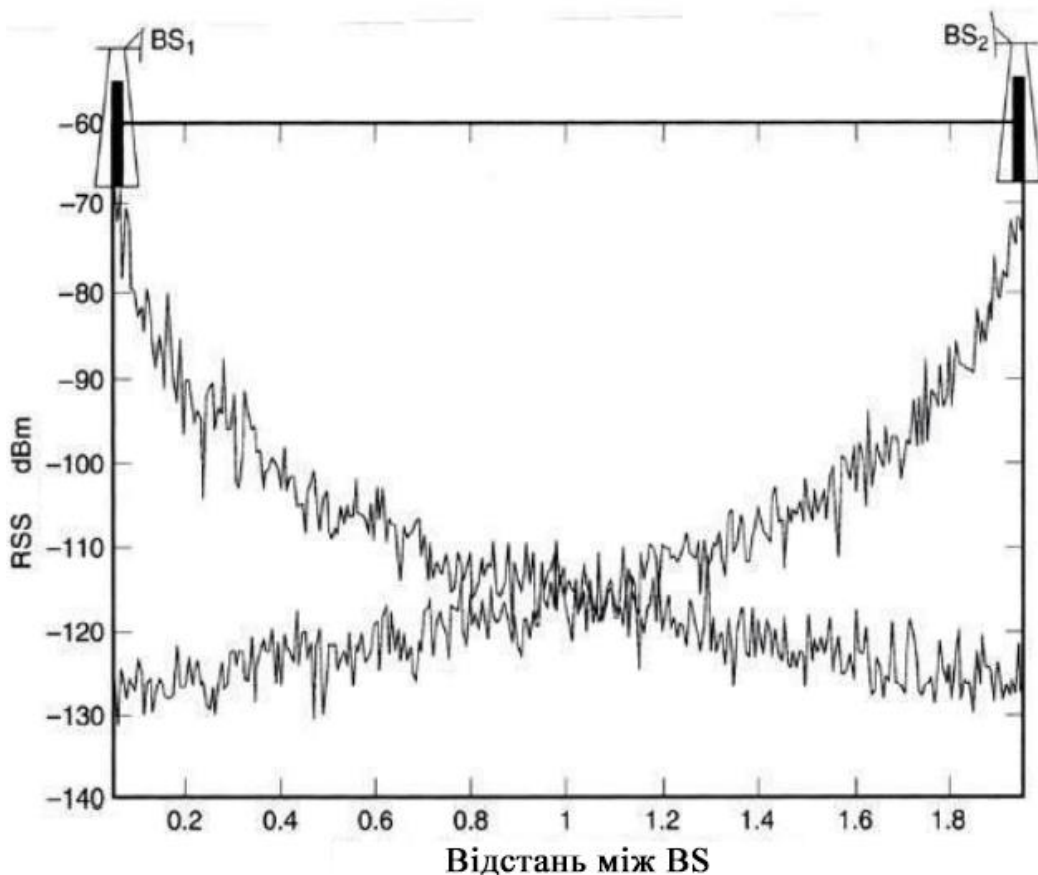


Рисунок 13. Потужність сигналу в залежності від відстані між BS.

Передбачається, що протягом певного часу сигнал усереднюється, отже, можна усунути швидкі коливання, обумовлено багатопроменевою природою радіосистем. Рисунок 13 показує, що MS переміщується з однієї BS (BS1) в іншу (BS2). Середня потужність сигналу BS1 зменшується, коли MS віддаляється від нього. Аналогічно, середня сила сигналу BS2 збільшується, коли до нього наближаються.

а) Relative Signal Strength (RSS) – Відносна потужність сигналу.

Мобільний термінал переадресовував трафік з BS А до BS В, коли потужність сигналу в В спочатку перевищує над А. У випадку якщо знову перевищує потужність в А над В, мобільний блок робить переадресацію назад в точку А.

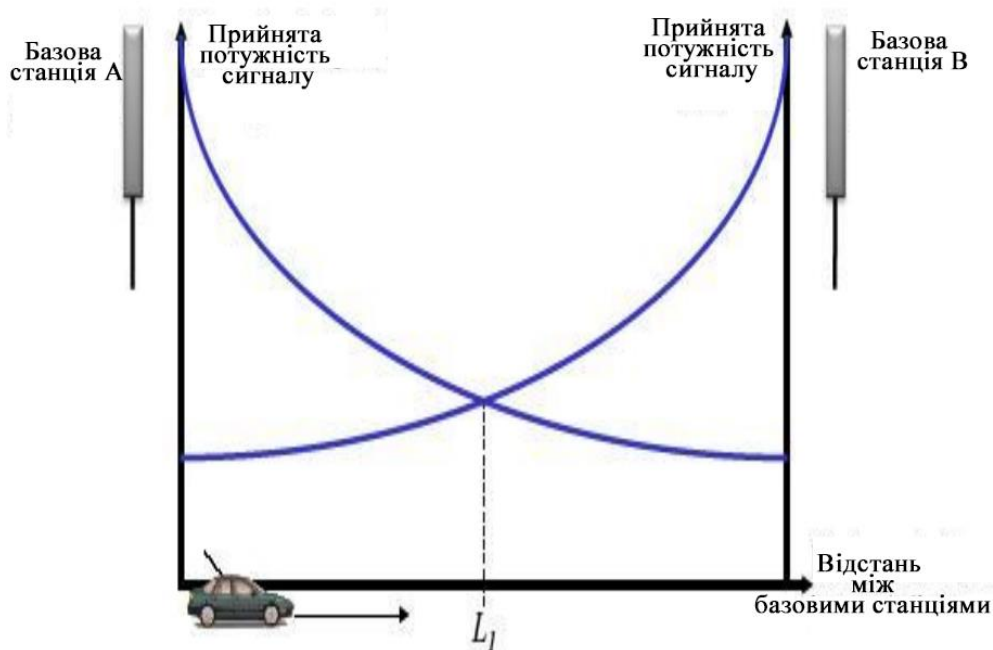


Рисунок. 14. Потужність сигналу в залежності від відстані між BS для RSS.

На рисунку 14 хендовер відбувається в точці L_1 . Оскільки потужність сигналу коливається внаслідок ефектів розповсюдження радіосигналів, може виникнути декілька хендоверів, тоді як BS1 RSS буде достатньо для обслуговування MS. Ці непотрібні хендовери відомі як ефект “пінг-понгу”. У міру збільшення кількості хендоверів, збільшується ймовірність примусового припинення та перезавантаження мережі. Але, технології переадресації повинні уникати таких непотрібних хендоверів

b) . Relative Signal Strength with Threshold (RSS-T) – Відносна потужність сигналу з пороговими значення.

Відносна потужність сигналу з пороговим значенням вводить порогове значення для подолання ефекту “пінг-понгу”. Переадресация відбувається лише тоді, коли сигнал на поточній BS менше попередньо визначеного порогу, а сигнал від сусідньої базової станції є сильнішим.

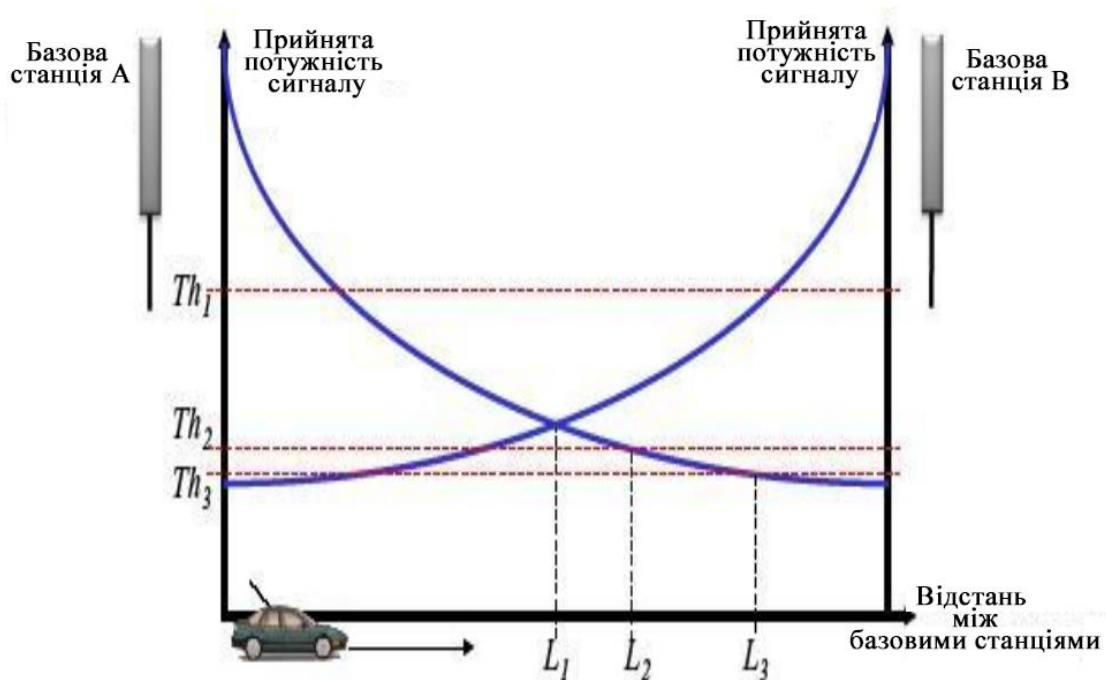


Рисунок 15. Потужність сигналу в залежності від відстані між BS для RSS-T.

Для високого порогу (наприклад Th_1) ця схема працює так само як і схема для відносної потужності сигналу (RSS). З іншого боку, якщо порогове значення встановлено досить низько (наприклад, Th_3), мобільний телефон може переміститися далеко до нової соти. Порогове значення не повинно використовуватися самостійно, оскільки його ефективність залежить від попереднього значення потужності сигналу в точці ссехрещення між сигналами поточної та базовою станціями кандидата.

c) Relative Signal Strength with Hysteresis (RSS-H) - Відносна потужність сигналу за схемою Гістерезису.

Процес переадресації відбувається лише в тому випадку, якщо нова базова станція є досить потужною ніж поточна (по межі H)(Рисунок 16, 17).

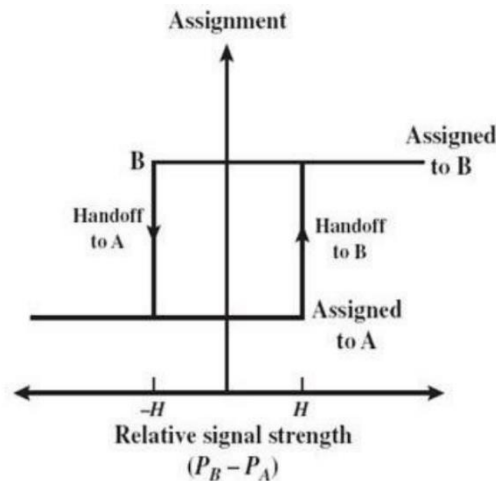


Рисунок 16. Механізм гістерезису.

В момент коли мобільний телефон призначени до базової станції А схема буде генерувати переадресацію, коли відносна потужність сигналу досягає або перевищує значення H . Після того як мобільний телефон буде призначений до BS В, він залишиться там допоки відносний сигнал переадресації не опустить

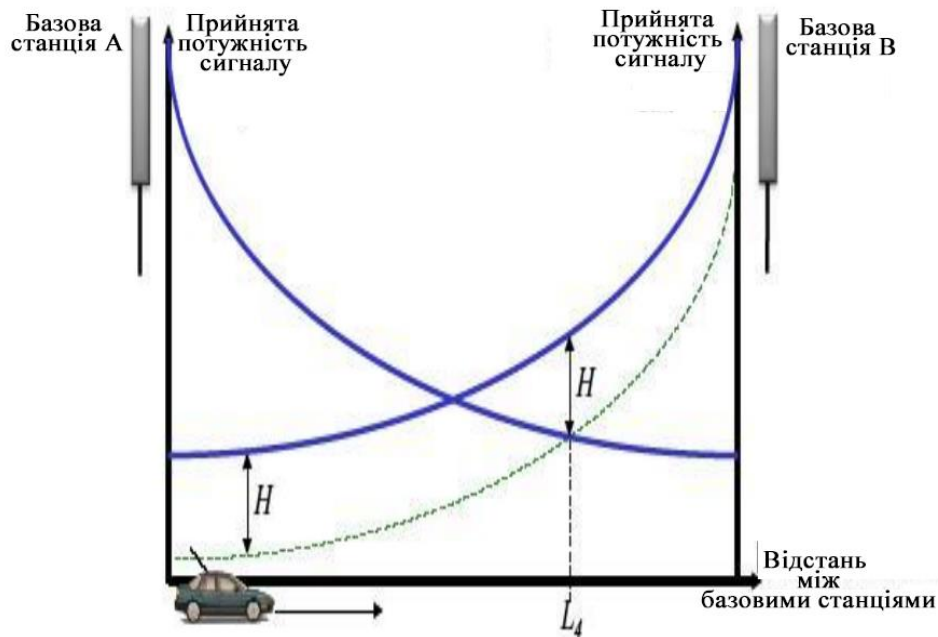


Рисунок 17. Потужність сигналу в залежності від відстані між BS для RSS по схемі гістерезису

ся менше – H , після чого MS знову буде переадресовано до $BS A$. Дана схема запобігає ефекту “пінг-понгу”, але перша переадресація може бути непотрібною, якщо $BS A$ все ще має достатню потужність сигналу.

d) Relative Signal Strength with Threshold and Hysteresis (RSS-TH) - Відносна потужність сигналу з пороговими значення та схемою гістерезису.

Переадресація відбувається лише в тому випадку, якщо рівень поточного сигналу падає нижче порогової величини, а цільова базова станція потужніша, ніж поточна, через значення гістерезису H .

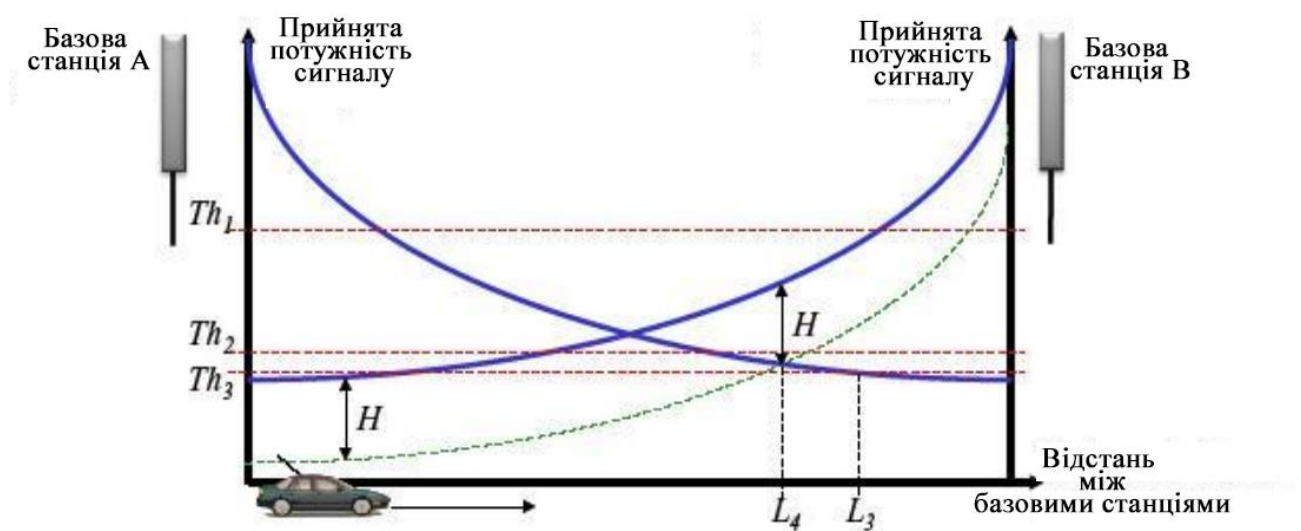


Рисунок 18. Відносна потужність сигналу з пороговими значення та схемою гістерезису.

RSS-TH

Переадресація відбувається в L_4 , якщо є порогові значення Th_1 або Th_2 . Переадресація відбувається в L_3 , якщо порогове значення становить Th_3 . Дана схема дозволяє уникнути ефекту “пінг-понга” та виконання переадресації, якщо сигнал від обслуговуючої базової станції все ще досить сильний. Зменшення порогового значення в схемі RSS-TH збільшує ймовірність хендоверу, а отже, і кількість хендоверів, в тому числі і кількість помилкових хендоверів.

2.8. Показники ефективності для Хендоверу.

- Імовірність блокування дзвінка (Call blocking probability) - імовірність того, що нова спроба дзвінка буде заблокована.
- Імовірність блокування переадресації (Handoff blocking probability) - імовірність того, що спроба передачі переадресації буде заблокована.
- Імовірність переадресації (Handoff probability) – ймовірність того, що під час спілкування в межах конкретної соти, поточний виклик вимагатиме переадресації, перш ніж закінчиться дзвінок. Цей показник перевищує середню кількість переказів на камеру. Цей показник перевищує середню кількість переадресацій на соту
- Імовірність обриву виклика (Call dropping probability) - імовірність того, що виклик закінчиться через помилку переадресації. Цей показник може бути отриманий безпосередньо з ймовірності блокування переадресації і ймовірності переадресації.
- Швидкість переадресації (Rate of handoff) – Показник кількості переадресацій за одиницю часу.
- Тривалість переривання (Duration of interruption) - тривалість переадресації під час якої мобільний термінал не має зв'язку з жодною базовою станцією.

2.9. Виявлення хендоверу.

Рішення про початок переадресації базується на певних вимірюваннях. Різні системи використовують різні підходи для виконання переадресації, і вони характеризуються протоколами передачі даних. Термінал постійно вимірює рівень сигналу в поточних каналах і порівнює його з деякими іншими різними каналами. Виходячи з результатів вимірювань, процес прийняття рішення про переадресацію може бути централізованим або децентралізованим, тобто рішення про хендовер здійснюється за допомогою телефону, мережі або асоціації між ними, залежно від протоколу керування хендовером. Запропоновано три стратегії для виявлення необхідності переадресації, таких як:

- Мобільно-контрольований хендовер (МСНО).
- Мережево-контрольований хендовер (НСНО).
- Об'єднано-контрольований хендовер (МАНО).

Еволюція мобільних комунікацій пов'язана з децентралізацією, що означає, тому управління, так і механізм встановлення хендоверу для покращення мобільності в бездротовому зв'язку, частково довірено MS. Таким чином, передові мобільні системи зазвичай базуються за МАНО.

- a) Mobile Controlled Handoff (МСНО) - Мобільно-контрольований хендовер (МСНО).

Мобільна станція постійно відслідковує сигнали навколишніх базових станцій та ініціює процес хендоверу, коли виконуються деякі. Тобто, в цьому методі, мобільна станція безперервно контролює силу сигналу та якість сигналу від доступної базової станції та декількох базових станцій-кандидатів н. Цей метод має дуже короткий час реакції (близько 0,1 секунди)(рис.19).

- b) Мережево-контрольований хендовер (НСНО).

Навколишні базові станції вимірюють сигнал, що надходить від мобільної станції, мережа ініціює процес хендоверу, коли виконуються деякі критерії. З іншого боку, в цей спосіб, базова станція відслідковує потужність сигналу та якість сигналу від мобільної станції, і коли вони погіршуються нижче певного порогового значення, мережа організовує переадресації на іншу базову станцію. Мережа аналізує всі навколишні базові станції, щоб спостерігати за сигналом від мобільної станції та повідомляти про результат вимірювання назад у мережу. Потім мережа вибирає нову базову станцію для переадресації та інформує обидві мобільні станції через стару базову станцію, а потім знову нову базову станцію. НСНО використовувалась в стільникових системах першого покоління, таких як Advanced Mobile Phone System (AMPS), TACS (система загального зв'язку доступу) і NMT (передові системи мобільного зв'язку). Загалом процес хендоверу

(включаючи передачу даних, перемикання каналів та перемикання мережі) займає 100-200 мс.

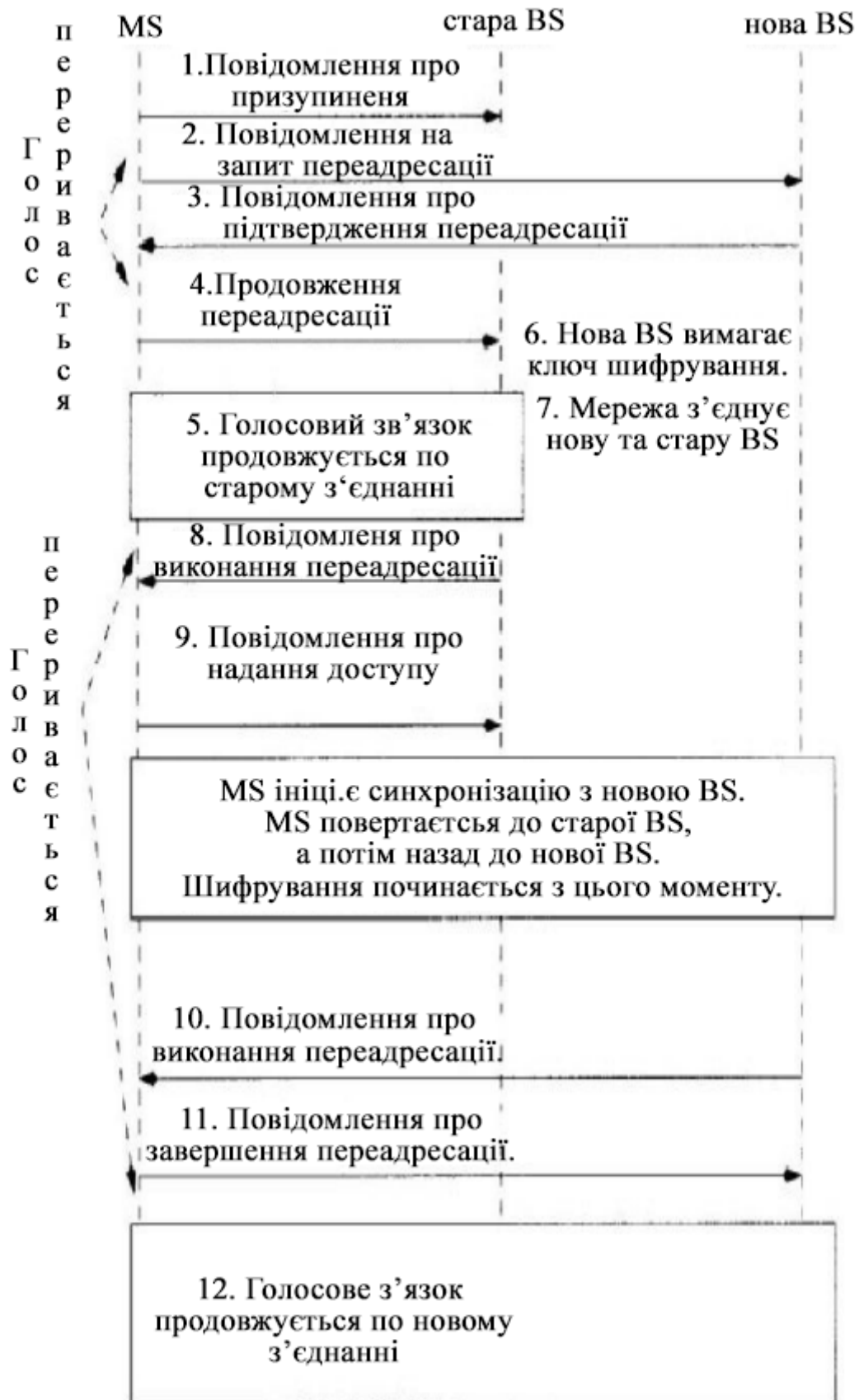


Рисунок 19. МСНО між-BS хендовер флоу.

с) Об'єднано-контрольований хендовер (МАНО).

У цьому методі хендовер більше децентралізована. Як мобільна станція, так і базова станція контролюють якість зв'язку (наприклад, RSSI, WEI). Мережа просить MS виміряти сигнал з навколишніх BS. Але мережа приймає рішення про хендовер, заснованому на звіті від MS. Мобільна станція здійснює вимірювання потужності прийнятого сигналу (RSSI) сусідніх базових станцій. Ця стратегія передачі обслуговування використовується стільниковим стандартом GSM, а мобільна станція передає результат вимірювання до базової станції двічі на секунду. Рішення про те, коли і де виконувати переадресацію все ще виконується в мережі. У комутаційній системі GSM (глобальна система мобільного зв'язку) контролер (BSC) відповідає за керування радіо інтерфейсом. Це, головним чином, означає розподіл та звільнення радіоканалів та управління хендовером. Час переадресації між рішенням про передачу та виконанням в такому GSM-комутаторі становить приблизно 1 секунду (рис 20,21).

Для МСНО, НСНО та МАНО, помилка хендоверу може мати місце з кількох причин. Деякі з них наведено нижче:

- Мережа займає надто багато часу, щоб встановити переадресацію після того, як був розпочатий процес переадресації.
- На цільових базових станціях немає доступного каналу.
- Мережа відмовила в обслуговуванні каналу через брак ресурсів або через те, що портативний сервер перевищив певну межу кількості переадресацій, що можуть проходити в певний проміжок часу.
- У деяких інших системах переадресація може вийти з ладу через блокування ресурсів (наприклад, DECT).



Рисунок 20. МАНО-BS хендовер флоу.

Метод	Вимірювання	Рішення	Системи
МСНО	Мобільний телефон	Мобільний телдефон	DECT, PACS, 802.11
НСНО	Мережа	Мережа	GSM, UMTS
МАНО	Мобільний телефон та Мережа	Мережа	AMPS, TACS, NMT

Рисунок 21. Підсумок.

ВИСНОВОК

Бездротові мережі майбутнього покоління повинні забезпечити найкращий спосіб підключення до мобільного абонента будь-де в будь-який час. Одним із способів підвищення продуктивності бездротової мережі є використання ефективних схем переадресації (хендоверу), коли користувач перемикається з однієї соти в іншу. У цьому розділі було представлено огляд питань, пов'язаних з ініціацією переадресації та прийняття рішення, та описано різні типи технологій переадресацій у бездротовому зв'язку. У цьому розділі наглядно напсиано кілька сценаріїв та механізмів переадресації..

3. АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НОВОГО АЛГОРИТМУ ХЕНДОВЕРУ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У ВИСОКО МОБІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.

3.1. Вступ до аналітичного моделювання.

Системи бездротового та мобільного зв'язку останнім часом суттєво змінилися. Мобільність є однією з основних проблем, з якими стикаються користувачі бездротових та мобільних систем. Проте активне користування мобільного зв'язку призводить до великої кількості проблем протягом здійснення передачі, а також непотрібних спроб передачі даних через обмеження ресурсів та зон покриття в мережах з високою швидкістю передачі. Традиційні моделі передачі не в змозі покривати великий об'єм мобільного трафіку в навколишньому середовищі. У цьому **розділі** пропонується розумний підхід до вирішення проблеми передачі обслуговування, щоб мінімізувати ймовірність аварій при передачі та непотрібних передач, а також щоб максимізувати використання ресурсів у високо мобільному середовищі. Запропонований підхід базується на моделюванні системи з використанням ланцюга Маркова для підвищення продуктивності системи в умовах імовірності блокування, з середньою тривалістю черги та затримкою в передачі. Результати порівнюються з традиційною моделлю передачі. Симуляція також використовується для підтвердження точності запропонованої моделі. Чисельні результати показали, що запропонований метод перевершує традиційний алгоритм у широкому діапазоні помилок передачі та суттєво зменшує кількість невдалих спроб передачі даних. Результати цього дослідження показують, що якість сервісу (QoS) такої системи може бути оцінена ефективно і точно використовуючи запропоновану аналітичну модель. Проте результати роботи також показали, що все ще необхідно досліджувати ефективну модель. Крім того, запропонована модель також може бути адаптована до різних типів мереж з урахуванням високої швидкості мобільного пристрою та радіусу мережі.

3.2. Представлення моделі.

Завдяки швидкому розвитку та впровадженню бездротових технологій, очікується що бездротові мережі наступного покоління забезпечать безперервну мобільність та безмежний доступ до мережі. Всі сучасні дослідження сфокусовані на покращенні якості сервісу (QoS), а також оцінку продуктивності в середовищі з високою мобільною мережею. Одним з основних викликів для безперервної мобільності в бездротовій мережі наступного покоління є проблема доступності всіх ресурсів в мережах, що дозволяє мобільному користувачеві ходити між гетерогенними середовищами. При збільшенні швидкості передачі, час переходу мобільного користувача між зонам покриття значно зменшується. Таким чином, користувачеві не достатньо часу щоб отримати весь мережевий ресурс для передачі даних. До всього, абонент може стати до черги через запит до ресурсів мережі. Проте, абоненти ніколи не отримують доступ до каналу комунікацій через швидкість перміщення абонента та недостаток ресурсів мережі. Отже, в черзі будуть стояти непотрібні хендовери, що дозволять таким користувачам отримати доступ до системи. **Непотрібний хендовер** відбувається, коли час руху користувачів у системі менше, ніж процес передачі даних від сусідніх мереж до системи. Таким чином, мобільний користувач залишає зону покриття мережі перед завершенням процесу передачі. Це приводить до зриву мережевого з'єднання та переривання зв'язку. Непотрібний хендовер небажаний, тому що він витрачає мережевий ресурс. З іншого боку, якщо час утримання дзвінка дорівнює або менше ніж загальний час хендоверу в самій мережі або при виході з неї, виникає помилка передачі. В цій ситуації, абонент не пердає або не отримує будь-який пакет даних до чи з системи. Проте, абонент може під'єднатись до мережі після ініціації процесу хендовера. Іншими словами, система буде доступна через короткий час, коли абонент запустить процес хендоверу.

Багато мережевих характеристик (таких як споживання енергії, потужність прийнятого сигналу та стан мережі) має ефект на хендовер в бездротових мобільних мережах. Більшість існуючих алгоритмів рішення зосереджені на

процесі вертикального хендовера, проблемі оптимізації а також математичної моделі нечіткої логіки. З іншого боку, основна увага приділяється різним математичним моделям, що використовуються в рішеннях вертикального хендовера для гетерогенних мереж. Для покращення ряду сервісних вимог у мережах LTE була збудована двовимірна модель чергування на основі ланцюгів Маркова. Запропонована модель зменшує швидкість блокування викликів, особливо для абонентів в процесі хендовера. Проте, проблеми мобільності абонента не розглядались. Результати дослідження, отримані на основа ланцюгів Маркова показали, що необхідно розглянути нову модель передачі обслуговування на основі імовірнісного, а не традиційного підходу в вигляді звичайної математичної моделі. Для бездротових мобільних мереж був запропонований простий та надійний двосторонній алгоритм хендоверу. Імовірність блокування викликів запропонованої моделі базується як $M/M/Bi/Bi$ на основі моделі Ерланга-Б (Lost-calls-cleared conditions, тобто умови скидання викликів, які отримали відмову). Однак, модель Ерланга-Б не підходить для схем з хендовером в високо-мобільній мережі саме через мобільність абонента в системі. Окрім того, зарезервована смуга пропускання не може бути ефективно використана за низьких показників хендовера, традиційні схеми резервування не є достатніми для майбутніх мереж, особливо для 4G автомобільних мереж.

Для того щоб досягти безперешкодного хендовера, коли мобільний користувач має високу швидкість переміщення, важливо передбачити доступність мережі, час до передачі та час затримки всередині мережі, а також межі покриття. **Час перед хендовером** – це час, після якого відбувається передача, а **час затримки мережі** – це час, який абонент витрачає в зоні покриття мережі. Ці два параметра є важливими для того, щоб отримати найкращий час та місцерозташування для передачі мобільних даних. Також можна покращити розподіл ресурсів у мобільних бездротових системах, використовуючи ці два параметри. Традиційні моделі хендоверу були розроблені для бездротових мобільних мереж, але вони призводять до деградації QoS через низьку зону покриття мережі та швидкості переміщення абонентів, особливо в мобільному середовищі. Отже, новий підхід до хендоверу

необхідний для забезпечення повсюдного спілкування в системах наступного покоління. Нещодавно було проведено аналітичне моделювання та оцінку ефективності мобільної бездротової системи з використанням теорії обслуговування та теорії масового обслуговування (теорія чергування). Моделювання в умовах обмежених ресурсів та з метою посилення QoS є основою феномену черги. Таким чином, теорія чергування може бути використана для моделювання та аналізу таких проблем. Отже, розробка аналітичної моделі нового підходу до хендоверу та передачі ресурсів в таких систем буде найкращим варіантом для отримання більш достовірних вимірювань QoS. В цьому розділі представлено нову аналітичну модель для хендоверу та розподілу ресурсів у високо мобільних середовищах, оснований на часі що потрібен абоненту для доступу до мережевих ресурсів. Основні пункти розділу можна підсумувати таким чином:

1. Запропонований алгоритм, що може покращити показники QoS , оскільки традиційна модель вносить несправності в обслуговування та непотрібні хендовери. Новий алгоритм враховує тривалість виклику, час перебування абонента та час перед хендовером.
2. Покращення продуктивності та управління абонентами в межах соти бо між сусідніми сотами, що можуть базуватися на коефіцієнті прийняття.
3. Результати засвідчать, що запропонований метод дає кращі результати, ніж традиційний підхід. Проте статистична модель все ще необхідна для прогнозування ступеня неузгодження у високо мобільних середовищах.

Основною метою даного розділу є дослідження та розробка корисної аналітичної моделі, яка базується на часі перед передачею, тривалістю виклику та тривалістю роботи в мережі, за допомогою нового алгоритму рішення для покращення QoS реальних мереж. Аналіз, зроблений в даному розділі, базується на моделюванні системи з використанням ланцюга Маркова для підвищення продуктивності системи з точки зору ймовірності блокування, середньої довжини черги та затримки передачі. Ця запропонована модель застосовна для більшості бездротових систем зв'язку. Інша частина розділу організована таким чином:

підрозділ II представляє традиційний підхід до передачі послуг. Підрозділ III описує запропонований підхід до передачі послуг. Підрозділ IV обговорює оцінку ефективності запропонованого алгоритму з традиційним підходом та результатами моделювання. Нарешті, підрозділ V містить висновки

3.3. Традиційний підхід.

Цей розділ пояснює та представляє традиційний підхід до хендоверу даних для бездротових мобільних пристроїв. На рисунку 22 показано процес хендоверу в подібному середовищі. Традиційний підхід до передачі даних передбачає два типи порогових кола в зоні покриття системи. Поріг передачі обслуговування та границя виходу з хендоверу показані на рисунку 22 для традиційного підходу передачі.

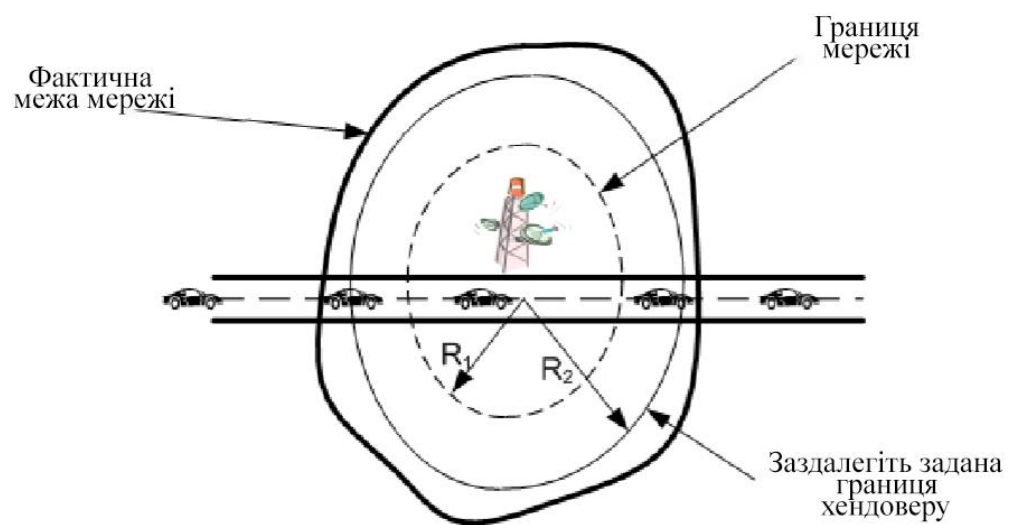


Рисунок 22. Границі мережі традиційного хендовер.

3.3.1 Традиційна модель хендовер з режимом черги.

У мобільних бездротових мережах послуги забезпечуються базовими станціями (BS) та/або точками доступу (AP) залежно від типу мережі. Абоненти комунікують через радіозв'язок з базовими станціями/точками доступу (BSs/Aps). Форма однієї

довільної соти присвоєна. Існує S каналів, яку мережа може надати для сервісу. Крім того, довжина черги – Q . Максимальна кількість дозволених в системі дзвінків – це комбінація кількості абонентів, що обслуговуються (S), та кількість користувачів в черзі – очікуванні (Q). Отже, максимальна кількість дзвінків у системі $L = S + Q$. Традиційний хендовер з чергуванням приведений на рисунку 23.

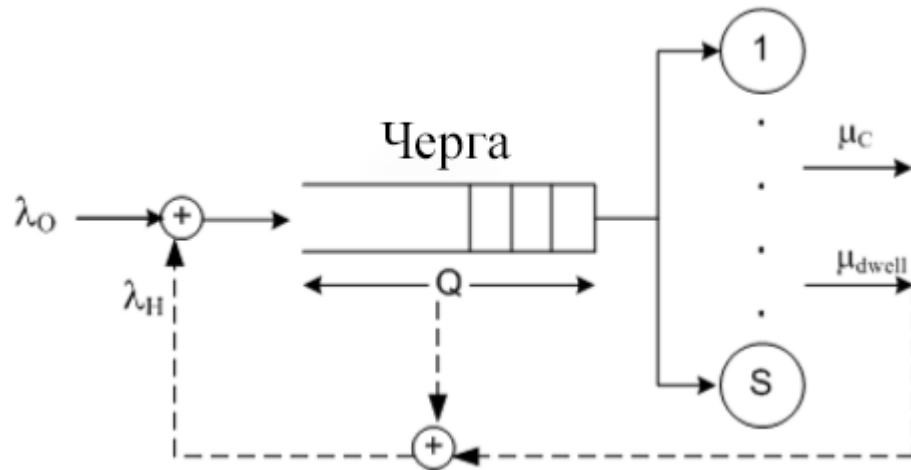


Рисунок 23 . Традиційна модель хендоверу з чергою.

Вихідні дзвінки так дзвінки в хендовері – це два типи вхідних даних, визначених в системі та відповідно позначені як λ_0 та λ_H відповідно. λ_0 – це ново згенеровані дзвінки в системі, а λ_H – мобільні дзвінки з однієї соти в іншу. Якщо канали мережі є доступними та в режимі очікування, обидва дзвінки можуть бути призначені до будь-якого каналу. В іншому випадку, запит на вхідний дзвінок буде додано до черги, якщо канали зайняті. Крім того, якщо черга заповнена, вхідні дзвінки будуть відбиті. Запити каналів в самій системі працюють по правилу FIFO (first in first out rule), тобто в першу чергу. Запити по часу прибуття вхідного дзвінка передбачається, що слідує експоненційному розподілу. λ визначається як загальна швидкість прийому дзвінків в соті, де $\lambda = \lambda_0 + \lambda_H$. В традиційній моделі хендоверу, мобільні користувачі рухаються зі швидкістю V , існує імовірність того, що цей абонент може покинути границю мережі в якій він обслуговувався. Крім того, мобільний користувач розміщується в черзі в очікуванні подання каналу. Однак мобільний користувач може вийти з системи через своє переміщення. У

традиційному хендовері T_C – це час виклику в системі. Припускається експоненціальне розподілення T_C з середнім показником μ_C . Крім того, T_{dwell} – час затримки, що вказує на час, який мобільні користувачі витрачають в соті. Цей показник також передбачає експоненціальне розподілення з середньою швидкістю μ_{dwell} . Рівняння 1 визначає час затримки в бездротових мобільних мережах для традиційної моделі хендоверу з чергами. Таким чином, μ_{dwell} можна розрахувати:

$$\mu_{dwell} = \frac{E[V] \cdot L}{\pi \cdot A} \quad (1)$$

де $E[V]$ середнє значення випадкової величини V , V – швидкість переміщення абонента, L – довжина периметра соти (сота довільної форми), A – площа соти. Загальний час виклику експоненціально розподілений середнім значенням $1/\mu$, де $\mu = \mu_C + \mu_{dwell}$. Діаграма станів переходу моделі хендоверу з чергою представлена на Рисунку 24. Стани визначаються як i ($i = 0, 1, 2, \dots, S + Q$) – кількість дзвінків в системі в момент часу t .

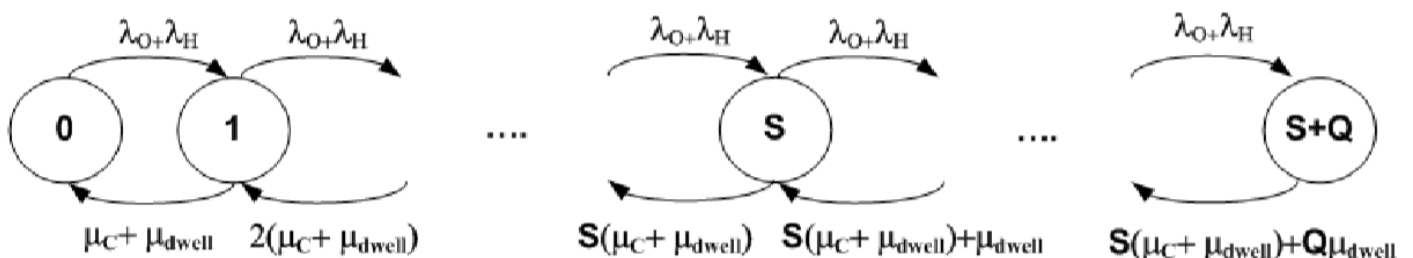


Рисунок 24. Діаграма станів традиційної моделі хендоверу

ρ – інтенсивність трафіку в системі, де $\rho = \lambda/\mu$. Припускаючи, що система в стаціонарному стані, імовірність стійкого стану P_i можна отримати як у рівнянні 2:

$$P_i = \begin{cases} \frac{(\lambda_O + \lambda_H)^i}{i!} \cdot P_0 & 0 \leq i \leq S \\ \frac{(\lambda_O + \lambda_H)^S}{S!} \cdot (\lambda_O + \lambda_H)^{i-S} \cdot P_0}{\prod_{j=S+1}^i [S\mu + (j-S)\mu_{dwell}]} & S < i \leq S + Q \end{cases} \quad (2)$$

У рівнянні 2 P_i – це ймовірність того, що в системі є дзвінки. P_0 можна визначити наступним чином:

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^S \frac{(\lambda_0 + \lambda_H)^i}{i!} + \sum_{i=S+1}^{S+Q} \frac{\frac{(\lambda_0 + \lambda_H)^S}{S!} \cdot (\lambda_0 + \lambda_H)^{i-S}}{\prod_{j=S+1}^i [S_\mu + (j - S) \mu_{dwell}]} \right]^{-1} \quad (3)$$

Коли всі стаціонарні імовірності станів P_i обчислені, решту вимірювань продуктивності можна легко отримати.

3.4. Запропонований підхід.

У цьому розділі представлений абстрактний алгоритм хендоверу для передачі даних в високо мобільних середовищах з використанням теорії чергування. Точні знання про доступність мережі, межі покриття (радіус осередку) та швидкість мобільних користувачів є основними факторами, які відіграють важливу роль у правильному прийнятті рішень під час хендоверу. Отже, в запропонованій моделі, алгоритм визначає час, що потрібен абоненту перед виконанням передачі даних. Як згадувалось в попередньому розділі, запропонована схема базується на поточному часі $T_{current}$, часу затримки в мережі T_{dwell} та оціночного часу перед хендовером $T_{estimated}$ мобільного абонента. Щоб зменшити кількість непотрібних спроб передачі даних та помилок під час передачі, запропонований алгоритм визначає необхідний час для мобільного користувача чи допускати його в систему або здійснювати хендовер, як показано на *фігурі 4*. Припускаючи, що мобільний користувач рухається зі швидкістю V у напрямку системи в момент часу $T_{current}$, абонент може дати запит на канал для передачі даних. Абонент потребує канал передачі в момент часу $T_{estimated}$ та покинути канал в $(T_{estimated} + T_{dwell})$. На основі тривалості дзвінка T_C пропонується три можливих варіанта для аналізу (*фігура 4*). Отже, запропонований підхід може покращити розподіл ресурсів, особливо в високо мобільному середовищі.

1. Перша умова: $(T_{estimated} + T_{dwell})_{n-1} < (T_{estimated})_n$

Якщо канал потребує часу поточного користувача (n), що перевищує час роз'єднання каналу обслуговуючого користувача (n-1), тоді мобільний користувач може без проблем перейти до системи. Іншими словами, непотрібні хендовери $(T_{current} + T_{dwell}) < (T_{estimated})$ та часткові хендовери $T_C \leq (T_{estimated} + T_{dwell})$ не відбуваються.

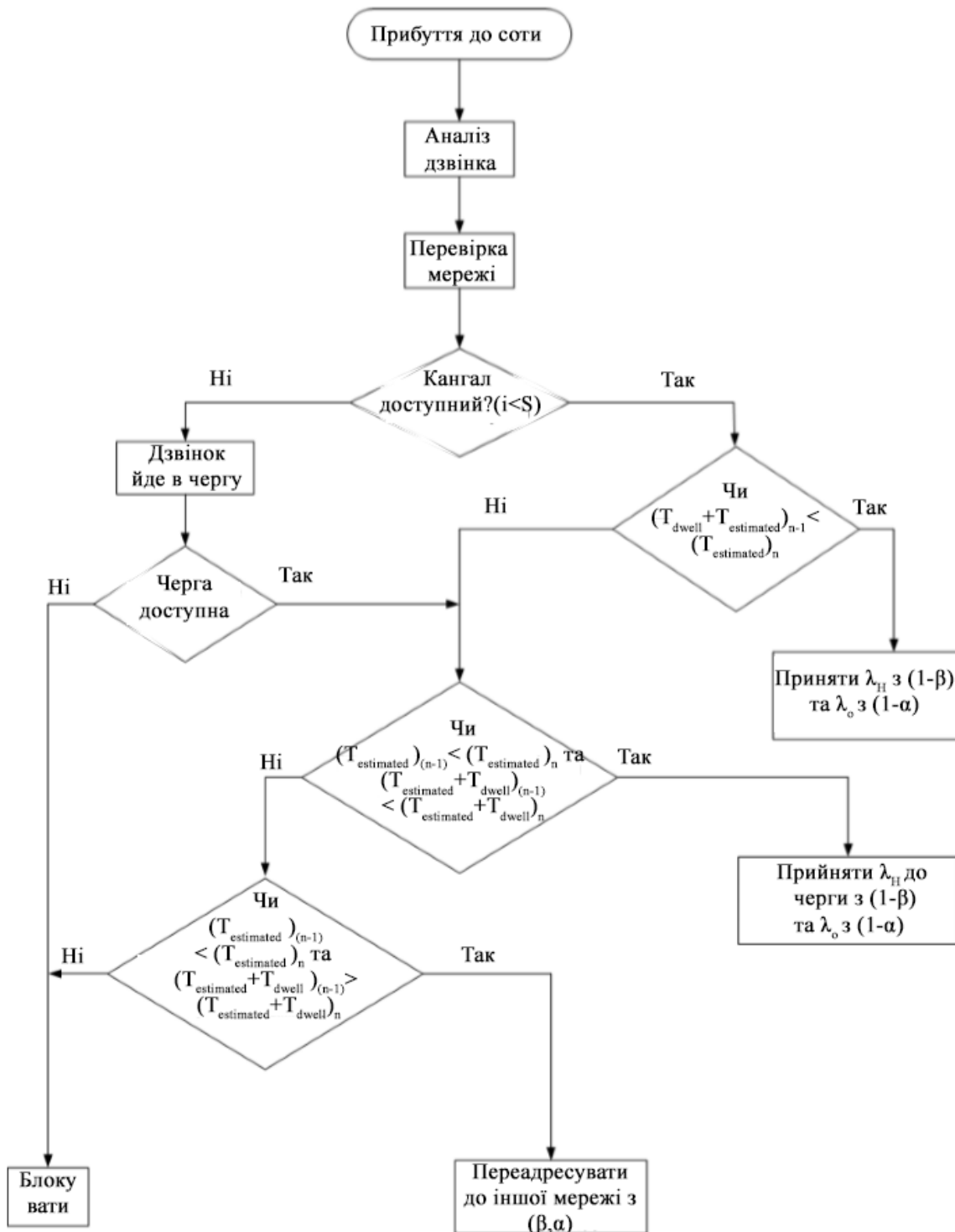
2. Друга умова: $(T_{estimated})_{n-1} < (T_{estimated})_n$ та $(T_{estimated} + T_{dwell})_{n-1} < (T_{estimated} + T_{dwell})_n$.

Для другої умови, абонент в даний час використовує канали або чекає у черзі, яка буде обслуговуватися. Якщо час роз'єднання каналів у користувачів та / або час очікування в черзі (n-1) перевищують час роз'єднання каналу поточного користувача (n), то система буде частково зайнята часом, до моменту коли абонент досягне системи. Це означає, що поточний абонент може бути допущений до системи через короткий час. Іншими словами, система незабаром стане доступною для послуги після того, як поточний користувач зробить запит в канал. Отже, у системі існує часткове незгода $T_C \leq (T_{estimated} + T_{dwell})$.

3. Третя умова: $(T_{estimated})_{n-1} < (T_{estimated})_n$ та $(T_{estimated} + T_{dwell})_{n-1} > (T_{estimated} + T_{dwell})_n$. Якщо час роз'єднання каналу абонентів (n-1) перевищує час роз'єднання каналу поточного користувача (n), тоді система буде зайнята під час подорожі поточного користувача. Отже, поточний користувач ніколи не отримає доступ до системи. Канали та черга більше не будуть доступні, а користувач мобільного зв'язку буде переданий іншій мережі. Таким чином, мобільний користувач залишає зону покриття мережі перед виконанням процесу переадресації $(T_{current} + T_{dwell}) < (T_{estimated})$ [24]. Це призводить до розриву з'єднання [24] та переривання сервісу [25].

Таким чином, у випадку третьої умови поточні користувачі мобільного зв'язку ніколи не приєднуються до системи. Небажані переадресації відбуваються через високу швидкість абонента та радіусу мережі. Таким чином, запропонований алгоритм передає мобільного користувача до наступної доступної мережі через

фактори прийняття. Коли перше умова ідентифікована, система (канали плюс черга) можуть бути використані мобільним користувачем. Крім того, коли друга умова ідентифікован і сповіщена перед тим, як поточний користувач досягає системи, проблема може бути заздалегіть сигналізована, мобільний користувач може бути переданий в іншу доступну мережі поблизу, а не чекати Такий підхід повинен забезпечити кращу продуктивність мережі (Діаграма 1).



Діаграма 1. Запропонований алгоритм хендоверу

3.4.1. Запропонована модель Хендоверу з чергою.

У запропонованому підході алгоритм вирішує, чи прийматиметься мобільний користувач до системи на основі аналізу, описаного вище, (див. діаграму. 1). Ясно

видно, що запропонований алгоритм гарантує, що мобільні користувачі не дочекаються і залишать систему через свою мобільність. Іншими словами, всі мобільні користувачі будуть допущені до системи в залежності від аналізу. Інакше мобільному користувачеві на високій швидкості через систему не буде достатньо часу для входу в систему. Отже, мобільні користувачі, переміщаючись на високій швидкості, будуть передані іншій доступній мережі. Таким чином, абоненти не будуть чекати довго і залишать систему без обслуговування. Пропонована модель хендовера з чергою показана на рисунку 25.

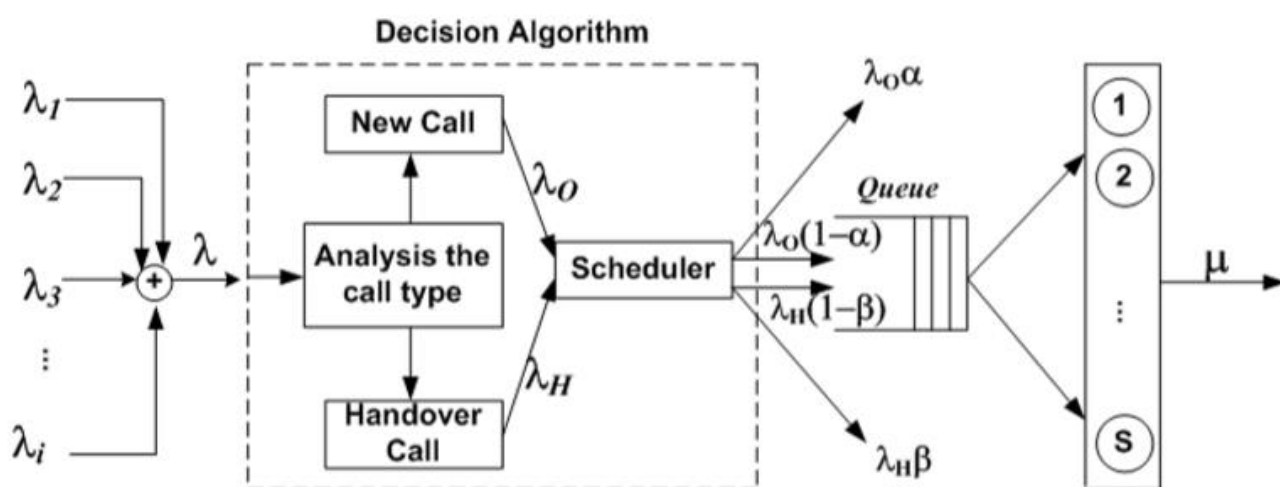


Рисунок 25. Запропонована модель хендоверу.

Запропонована модель хендоверу з чергою (аналогічна традиційному хендоверу) розглядає кількість каналів S і може дозволити i запитів в часі t , як показано на рисунку 25. Емність черги системи - це Q . Прибуті запити можуть надсилатися від різних користувачів до система. Отже, час прибуття послідовних запитів йде за процесом Пуассона, який можна розподілити як експоненціально з швидкістю прибуття λ . Відповідно до [26], для двовимірної потокової моделі, швидкість хендоверу дзвінків з передачею може бути отримана наступним чином:

$$\lambda_H \approx \frac{\mu_{dwell}}{\mu_c} \lambda_0 \quad (4)$$

Алгоритм рішення розрізняє дзвінки (λ_0/λ_H) і вирішує чи відправляти їх у систему в залежності від прийнятих факторів. α та β - коефіцієнти прийняття

вихідних дзвінків та переадресації, відповідно. Для цілей запропонованої аналітичної моделі α та β приймаються як постійне значення.

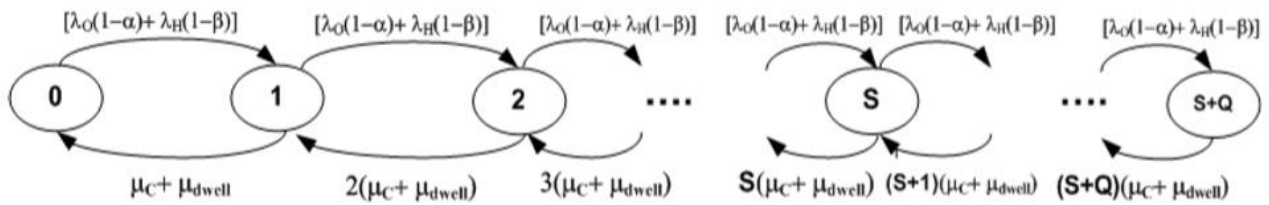


Рисунок 26. Діаграма станів запропонованої моделі переадресації

Ясно видно, що модель для чергування $M / M / C / K$ підтримується запропонованою моделлю для оцінки продуктивності. Таким чином, запропонована система може бути проілюстрована даним одномірним ланцюгом Маркова, як показано на рисунку 26. Давайте визначимо стан i ($i = 0, 1, 2, \dots, S + Q$) як кількість дзвінків у системі в момент часу t . Частота прибуття може бути прийнята як константа для всіх запитів незалежно від кількості користувачів у системі. Отже, швидкість приходу - народжуваність запропонованої моделі і може бути отримана як $[\lambda_0 (1-\alpha) + \lambda_H (1-\beta)]$. На відміну від цього, швидкість завершення обслуговування в запропонованій схемі залежить від кількості дзвінків у системі на основі аналізу. Якщо в системі є S або більше запитів, то всі S -канали зайняті. Оскільки кожен з каналів обслуговує користувачів за швидкістю $\mu_C + \mu_{dwell}$, загальна швидкість обслуговування для системи становить $S (\mu_C + \mu_{dwell})$. Якщо в системі є менше, ніж S , $i < S$, тільки якщо S -каналів зайняті, а загальна швидкість обслуговування для системи - це $i (\mu_C + \mu_{dwell})$, як показано на рисунку 6. Отже, μ_i можна розрахувати так:

$$\mu_i = \begin{cases} i(\mu_C + \mu_{dwell}) & 0 \leq i < S \\ S(\mu_C + \mu_{dwell}) & S \leq i \leq S + Q \end{cases} \quad (5)$$

Припускаючи, що система знаходиться в стаціонарному стані, тоді, використовуючи добре відомий процес виникнення та завершення, стаціонарні імовірності P_i може бути отримана і задана у рівнянні 6:

$$P_i = \begin{cases} \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^i}{i! (\mu_c + \mu_{dwell})^i} \cdot P_0 & 0 \leq n < S \\ \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^i}{S^{i-S} S! (\mu_c + \mu_{dwell})^i} \cdot P_0 & S < i < S + Q \end{cases} \quad (6)$$

Для того, щоб знайти P_0 , застосовується умова нормалізації, оскільки ймовірність повинна дорівнювати 1, що дає:

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^{S-1} \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^i}{i! (\mu_c + \mu_{dwell})^i} + \sum_{i=S}^{S+Q} \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^i}{S^{i-S} S! (\mu_c + \mu_{dwell})^i} \right]^{-1} \quad (7)$$

Середня кількість пакетів в системі MQL потім може бути розрахована як $MQL = \sum_{i=0}^{S+Q} i \cdot P_i$ що дає:

$$MQL = \left[\sum_{i=0}^{S-1} i \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^i}{i! (\mu_c + \mu_{dwell})^i} + \sum_{i=S}^{S+Q} i \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^i}{S^{i-S} S! (\mu_c + \mu_{dwell})^i} \right] \cdot P_0 \quad (8)$$

Аналогічно, ймовірність блокування P_B може бути розрахована як:

$$P_B = P(S+Q) = \frac{[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]^{S+Q}}{S^Q S! (\mu_c + \mu_{dwell})^{S+Q}} \cdot P_0 \quad (9)$$

Крім того, середня довжина черги L_Q становить:

$$L_Q = \sum_{i=S+1}^{S+Q} (i-S) \cdot P_i \quad (10)$$

Використовуючи формулу Літса, середній час очікування запитів каналу в черзі може бути розрахований таким чином:

$$E[T_w] = \frac{L_Q}{(1-P_B)[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]} \quad (11)$$

Отже, середній час дзвінка в соті:

$$E[T_s] = \frac{MQL}{(1-P_B)[\lambda_o(1-\alpha) + \lambda_H(1-\beta)]} \quad (12)$$

Давайте визначимо ML_H як середнє число хендоверів на одного користувача за його час життя, яке можна розрахувати так:

$$ML_H = \frac{ML_H E[T_w] E[T_w]}{E[T_s]} \quad (13)$$

Таким чином, розраховується середня затримка передачі пакету:

$$E[T_D] = ML_H E[T_w]$$

3.5. Оцінка ефективності.

У цьому розділі представлені числові результати, щоб показати точність та ефективність запропонованої аналітичної моделі нового алгоритму переадресації, щоб поліпшити розподіл ресурсів у високо мобільних середовищах. Крім того, результати, отримані з рішення традиційних та запропонованих підходів, перевіряються за допомогою дискретного моделювання подій (DES). Інструмент моделювання в основному використовується для перевірки як традиційних, так і теоретичних моделей. Оскільки симуляція імітує фактичний сценарій, а не моделі Маркова, представлені в цьому розділі, його також можна використовувати для оцінки продуктивності таких систем. DES розглядає стохастичні процеси для всіх типів прибутих та відправлених мобільних користувачів. Прибуття та відправлення мобільних користувачів відбувається одночасно в випадковому, дискретному випадку, коли відбувається прибуття в систему, а служба завершується. Крім того, користувачі, які чекають у системі, обслуговуються на основі першого прийому першого сервісу (FCFS) в порядку їх прибуття. Канал (і / або канали) стає вільним або залишається зайнятий запитами, що зберігаються в черзі, коли сервісна подія завершена. Поки конкретна подія обробляється, створюється наступна подія. Результати, отримані від імітаційних циклів, знаходяться в межах 5% інтервалу підтвердження з рівнем 95% -го підтвердження [27]. Симуляційна модель була прийнята для розгляду та реалізації на мові C ++. Для перевірки запропонованої аналітичної моделі отримані результати аналітичної моделі та результати моделювання для різних показників ефективності представлена і порівняні. Чисельне дослідження зосереджується на ML , P_B та затримці передачі

запропонованих моделей. Середня швидкість прибуття та середня вартість послуг залежать переважно від застосування.

3.5.1 Ключові параметри.

Використовувані параметри системи переважно взяті з [28, 29, 30, 31, 32, 33] і [27] на підставі відповідної літератури [24, 25, 26, 27, 28]. Система має фіксовану кількість ідентичних каналів: $S = 16$. Q - це ємність черги, яка відображає кількість пакетів, що чекають на обслуговування. Передбачається, що напрямок переміщення мобільних користувачів може бути виявлений BS / AP за допомогою каналу керування. Крім того, передбачається змішаний трафік s , як у [2], де в середньому мінімум 2 слоти становить 0,5 мс. Швидкість обслуговування мобільних користувачів μ_{dwell} розраховується за допомогою рівняння 1. Запити переадресовані або відхилені в системі через запропонований аналіз; таким чином, швидкість прибуття становить $\lambda_0(1 - \alpha) + \lambda_H(1 - \beta)$. Проте в цьому розділі α приймається як 0.01, оскільки λ_H , що проходить через одиницю часу з високою швидкістю, перевищує λ_0 . Іншими словами, виклики λ_0 вважаються виділеними системою, оскільки вони знову створюються в системі. Аналіз α можна було б дослідити в майбутній роботі.

3.5.2. Результати.

На рисунках 27 і 28 показані результати MQL та P_B , відповідно, як функція вихідних викликів λ_0 в системі. Параметри $S = 16$, $Q = 50$, $E[V] = 40$ м / с (144 км / год), $R = 1000$ м, $E[T_c] = 120$ пакетів / сек, а $\alpha = 0,01$, а λ_0 ставка для користувача змінюється від 0,01 пакетів на секунду.

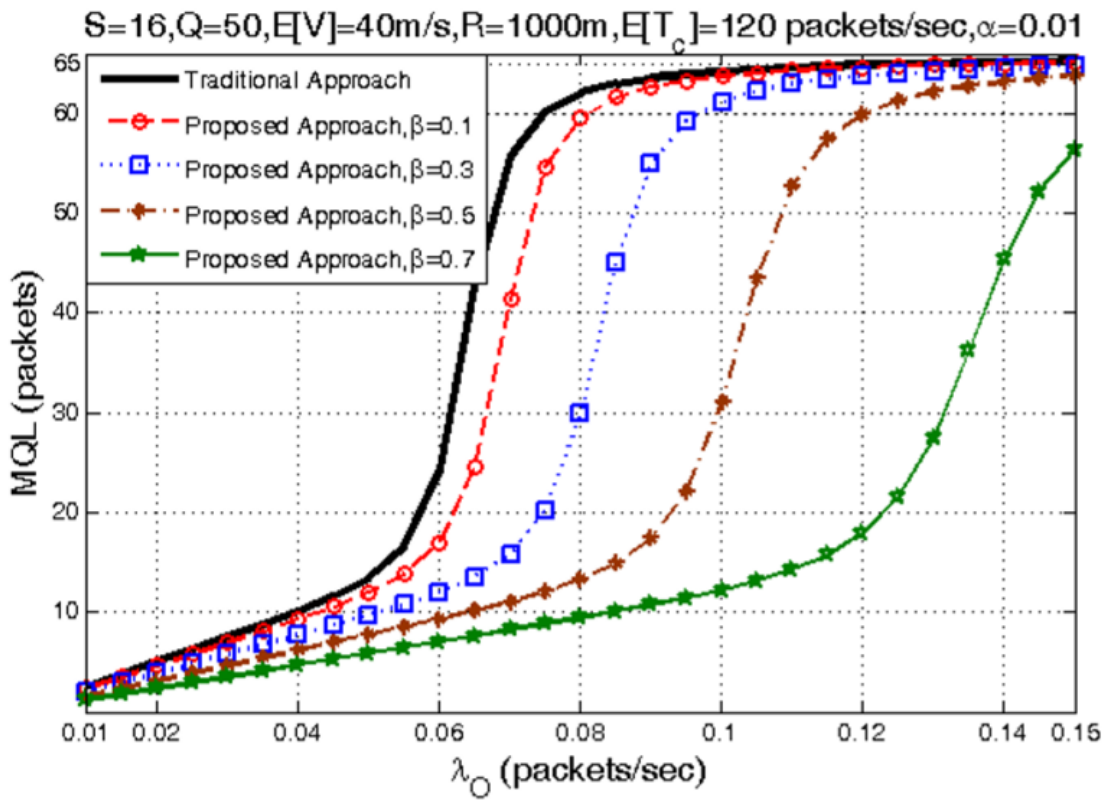


Рисунок 27. Середня довжини черги залежить від вихідних викликів λ_0 з різними значеннями β

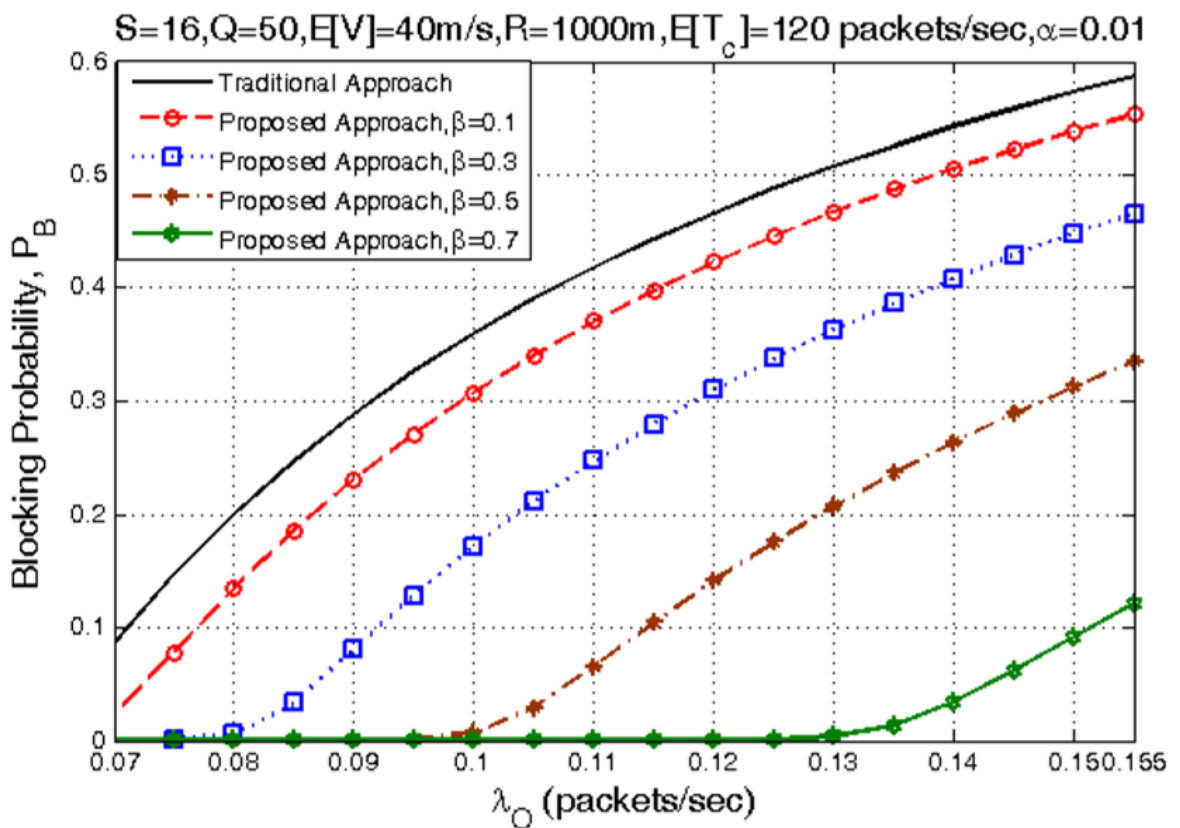


Рисунок 28. Результат імовірність блокування як функція вихідних викликів λ_0 з різними значеннями β

Рисунки ясно показують, що запропонований підхід працює краще, ніж традиційний підхід. У традиційному підході, завдяки високомобільним користувачам, більшість користувачів вийдуть з системи не будучи обслугованими. Крім того, переадресація з сусідніх комірок вимагатимуть одночасного розподілення каналів, особливо для завантажених трафіком (наприклад, $\lambda_0 = 0,08$). Це призводить до збільшення MQL, а також P_B системи. Таким чином, β впливає на систему. Добре видно, що β значно впливає на продуктивність системи. Отже, β є важливим параметром для керування передачею у високо мобільних середовищах.

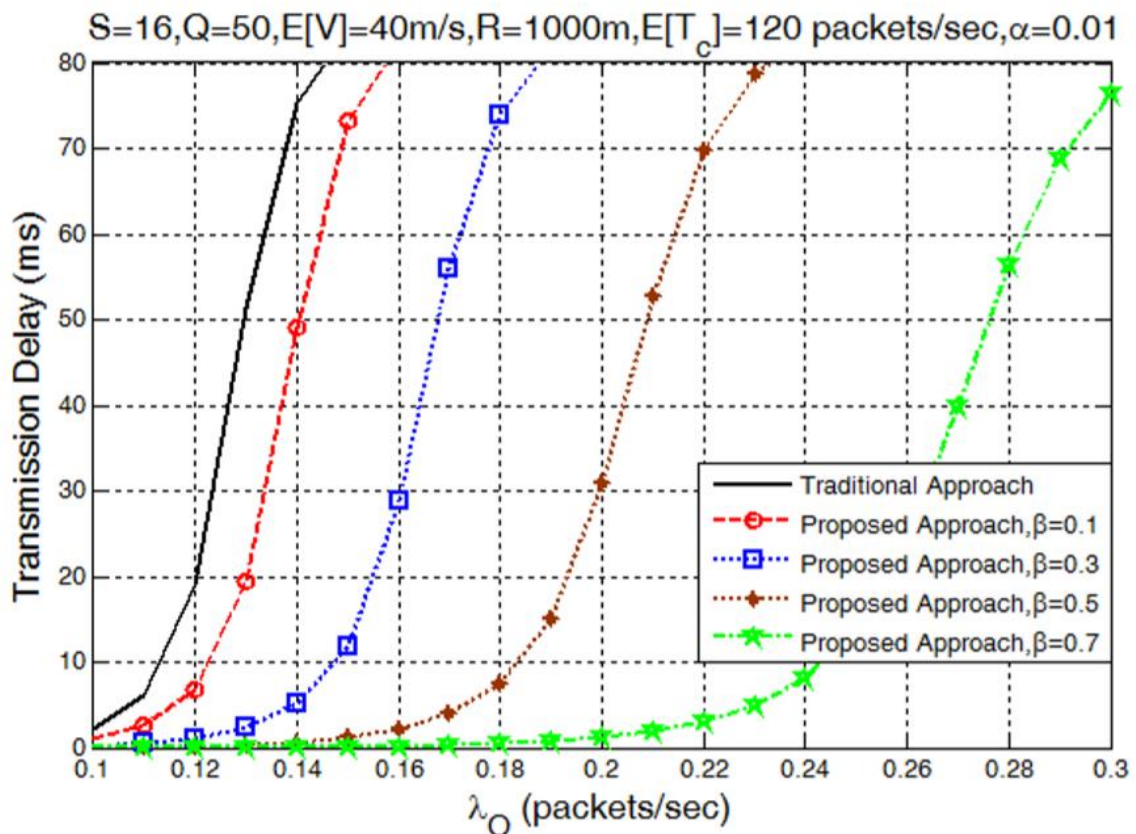


Рисунок 29. Затримка передачі як функція вихідних викликів λ_0 з різними значеннями β .

На рисунку 9 показана затримка передачі як функція вихідних викликів λ_0 з різними значеннями β . У бездротових і мобільних мережах затримка передачі є одним з найважливіших критеріїв QoS. Чітко видно, що затримка передачі швидко зростає для традиційної передачі обслуговування, коли викликів λ_0 збільшується через кількість хендоверів, дозволених в системі. Такі хендовери залишають систему без належного надання обслуговування. Потім система зайнята непотрібним

хендовером, а затримка передачі зростає. З графіків на рисунках 27, 28 та 29 можна спостерігати, що запропонований підхід дає кращі результати QoS в термінах середніх викликів у системі, імовірності блокування та затримки передачі відповідно, коли β збільшується. Це означає, що відповідно до коефіцієнту прийняття, високо мобільних користувачі переадресовуються до сусідьї соти та / або обслуговуються без втрати мережевих ресурсів.

Q	Traditional Approach	Proposed Approach, $\beta = 0.2$	Proposed Approach, $\beta = 0.4$	Proposed Approach, $\beta = 0.6$	Proposed Approach, $\beta = 0.8$
30	0.089398	0.005699	1.57E-05	3.01E-09	1.35E-14
50	0.0863125	0.001211	6.89E-08	9.82E-14	6.58E-22
70	0.0858134	0.000269	3.03E-10	3.20E-18	3.20E-29
90	0.0857308	0.0000601	1.33E-12	1.04E-22	1.56E-36

Таблиця 11. Вірогідність блокування як функція величини черги (Q)

Таблиця 11 ілюструє результати імовірності блокування як функції розміру черги. Параметри, що використовуються для рис. 27, 28 та 29, використовуються для результатів, наведених у таблиці 11. Параметри наступні: $S = 16$, $\lambda_0 = 0,1$, $E [V] = 40$ м / с, $R = 1000$ м, $E [T_c] = 120$ пакетів / секунд і $\alpha = 0,01$. Імовірність блокування дещо зменшується в традиційному хендовері, тому що (особливо для системи з переадресацією) високо мобільні користувачі роблять мережу зайнятою через непотрібні хендовери, а також збої в обслуговуванні. Проте це не той випадок, коли застосовується запропонований алгоритм. Імовірність блокування швидко зменшується, коли Q збільшується. Це означає, що запропонований підхід може впоратися з непотрібними передачами та несправностями. Іншими словами, запропонований підхід забезпечує краще використання ресурсів, ніж традиційний підхід.

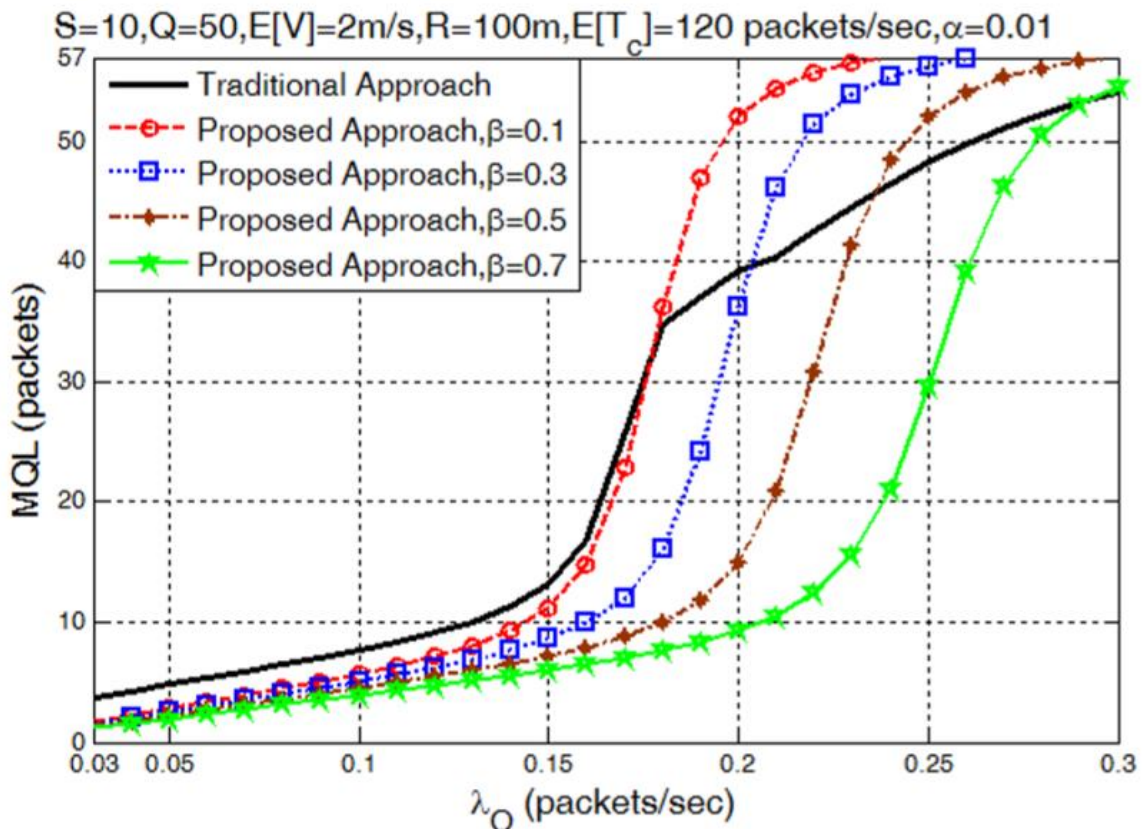


Рисунок 30. Середня довжина черги в залежності від вихідних викликів λ_0 з різними значеннями β для користувачів мобільного зв'язку

З іншого боку, результати MQL як функції вихідних дзвінків для користувачів з низьким рівнем мобільності наведені на малюнку 30. Результати показують, що запропонована модель працює краще, ніж традиційний підхід, коли використання системи ($U = \lambda / S\mu$) менше, ніж 0,72. Однак, як швидкість зменшується, традиційні підходи перевершують запропонований підхід в деяких ситуаціях, особливо для важко завантаженої системи (наприклад, $U = 0.88$). Це головним чином тому, що при такій низькій швидкості ніхто не виходить з системи через мобільність. Тоді великі результати MQL відчуваються в запропонованій системі, коли $\beta = 0,1$ та $0,3$. Проте запропонована модель дає кращі результати, коли розглядаються високі значення β (тобто, $\beta = 0,7$). Крім того, навіть при низькій швидкості більшість мобільних користувачів залишають чергу, не обслуговуючись за традиційним підходом.

Числові результати, отримані з запропонованої моделі, також підтверджуються моделюванням у Таблиці 12 та рисунку 31. Параметри, використані в Таблиці 12 та

Фігурі 31, є тими ж параметрами, що використовуються на рисунках 27 і 28. Таблиця 12 показує результати P_B традиційного і запропоновані підходи з різними β . У таблиці 2 очевидно, що чисельні результати, отримані з запропонованої моделі, показують згоду з результатами, отриманими при моделюванні, оскільки розбіжності складають менше 5%. Чисельні результати показують ефект запропонованої моделі. Результати MQL для обох підходів як функції λ_0 показані на рисунку 11 та перевірені моделюванням. Результати запропонованого аналітичного підходу та результати моделювання демонструють гарну згоду. Максимальна розбіжність між аналітичною моделлю та симуляцією становить 3,42%, що значно перевищує інтервал 5% інтервалу симуляції.

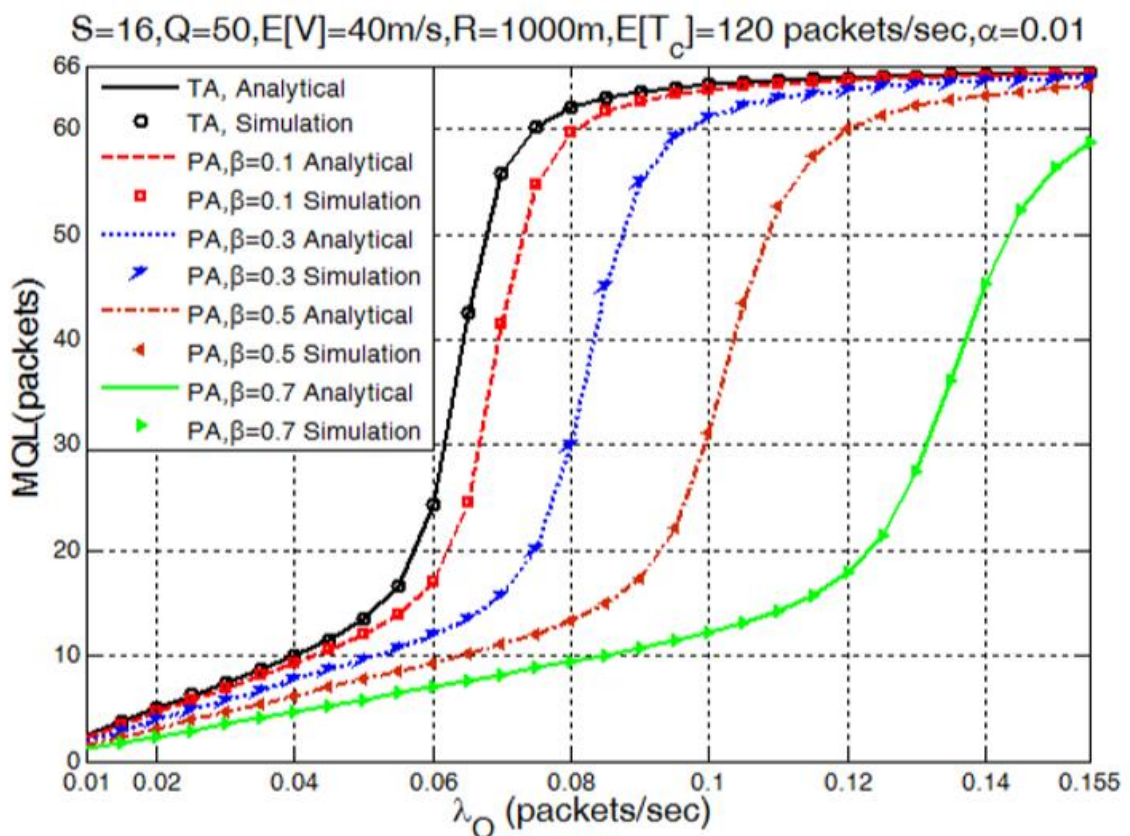


Рисунок 31. Аналітичні та імітаційні результати MQL як традиційного підходу, так і запропонованого підходу як функцію вихідних викликів λ_0 з різними значеннями β

λ_0	P_B , Traditional Approach			P_B , Proposed Approach $\beta= 0.3$			P_B , Proposed Approach $\beta =0.5$		
	Analytical	Simulation	D(%)	Analytical	Simulation	D(%)	Analytical	Simulation	D(%)
0.085	0.2471	0.2490	0.78	0.0335	0.0340	1.40	1.20E-12	1.20E-12	0.04
0.09	0.2889	0.2900	0.38	0.0805	0.0810	0.57	2.89E-11	2.89E-11	0.02
0.095	0.3263	0.3180	2.62	0.1282	0.1240	3.42	5.63E-10	5.62E-10	0.05
0.1	0.3600	0.3610	0.28	0.1718	0.1750	1.85	9.06E-09	9.05E-09	0.07
0.105	0.3905	0.3900	0.12	0.2112	0.2130	0.84	1.22E-07	1.22E-07	0.03
0.0.11	0.4182	0.4120	1.50	0.2471	0.2400	2.94	1.39E-06	1.39E-06	0.22
0.115	0.4435	0.4430	0.11	0.2798	0.2790	0.28	1.34E-05	1.35E-05	0.51
0.12	0.4667	0.4660	0.14	0.3098	0.3090	0.26	1.09E-04	1.10E-04	0.91
0.125	0.4880	0.4800	1.67	0.3374	0.3370	0.12	7.23E-04	7.30E-04	0.93
0.13	0.5077	0.5000	1.54	0.3629	0.3620	0.25	3.76E-03	7.70E-03	1.63
0.135	0.5259	0.5250	0.18	0.3865	0.3860	0.13	1.38E-02	1.3E-02	0.23
0.14	0.5429	0.5400	0.53	0.4084	0.4080	0.10	3.433E-02	3.43E-02	0.10
0.145	0.5586	0.5500	1.57	0.4288	0.4300	0.28	6.233E-02	6.23E-02	0.07
0.15	0.5733	0.5700	0.58	0.4478	0.4490	0.26	9.21E-02	9.39E-02	1.96
0.155	0.5871	0.5800	1.22	0.4657	0.4656	0.01	1.21E-01	1.22E-01	0.81

Таблиця 12. Перевірка результатів P_B як функції λ_0 для традиційного та запропонованого підходів.

ВИСНОВОК

У цьому розділі запропоновано новий підхід до аналітичного моделювання та керування QoS для переадресації (хендоверу) на базі нового механізму контролю доступу до електромережі у високо мобільних середовищах. Аналіз хендоверу є важливою проблемою для досягнення кращої продуктивності, особливо у високо мобільних середовищах. Запропонований механізм контролю доступу до управління передачею корисний для досягнення кращої продуктивності в таких системах. Це передбачає перспективу розгляду поточного часу T_{current} , часу затримки мережі T_{dwell} та розрахункового часу перед передачею тестування $T_{\text{estimated}}$ мобільних користувачів.

Система моделюється як відкрита мережа з чергою, використовуючи ланцюги Маркова з безперервним часом для визначення імовірностей стану. На основі запропонованого підходу, розробленого в даному документі, комп'ютерне моделювання також використовується для оцінки точності запропонованої моделі. Пропонована модель може використовуватися для аналізу розмірностей QoS, таких як MQL, P_B та затримка передачі. Представлені приклади були прості для оцінки ефективності завдяки вступному характеру запропонованої моделі для високо мобільних середовищ. Запропонований метод успішно зменшив кількість несправних хендоверів та непотрібних переадресацій, використовуючи запропонований алгоритм у порівнянні з традиційним підходом для високо мобільних користувачів. Це дозволяє звести до мінімуму кількість помилок переадресацій та непотрібних хендоверів через покращення використання ресурсів. За допомогою цього підходу покращено розподіл ресурсів в системах з високо мобільними середовищами. Проте, є ще певні операційні аспекти, які необхідно вивчити там, де пропонований підхід може бути застосований для отримання найкращого ефекту. Крім того, враховуючи наявність, моделювання запропонованої моделі може бути розглянута для майбутніх робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis (TD 208 (PLEN/13), 2015.
2. Draft Terms and definitions for IMT-2020 in ITU-T (O-040).
3. Draft ITU-T Technical Report: Application of network softwarization to IMT-2020 (O-041).
4. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 from network perspective (O-042).
5. Draft ITU-T Recommendation: Framework for IMT-2020 network architecture (O-043).
6. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 fixed mobile convergence (O-044).
7. Draft Technical Report: Unified network integrated cloud for fixed mobile convergence (O-045).
8. Draft ITU-T Recommendation: IMT-2020 network management requirements (O-046).
9. Draft ITU-T Recommendation: Network management framework for IMT-2020 (O-047).
10. Draft ITU-T Technical Report: Application of information centric networking to IMT-2020 (O-048).
11. Rec. ITU-T Y.3101. Requirements of the IMT-2020 network.
12. Rec. ITU-T Y.3150. High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020.
13. Rec. ITU-T Y.3130. Requirements of IMT2020 fixed-mobile convergence.
14. Report ITU-R M.2320 – Future technology trends of terrestrial IMT systems (November 2014).
15. Rec. ITU-R M.2083. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond (September 2015).
16. Report ITU-R M.2376 – Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz (July 2015).
17. 3GPP TS 38 104.

18. 3GPP TR 38 913.3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14.).
19. ТИХВИНСКИЙ В.О., БОЧЕЧКА Г.С. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ 5G // ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ. 2013. – № 10.
20. 3GPP TR 22.822.3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on using Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16).
21. Mah Daniel C.H. Role of Satellite in 5G. SAS, Satellite Connectivity Workshop, Nadi, Fuji, 24 April 2017.
22. Jonas Eneberg. Satellite Role in 5G. Inmarsat, 2017.
23. <http://en.wikipedia.org/wiki/Handover>
24. Kyoung, S.L.; Ae-Soon, P.; (2014); Reduction of handover failure for small cells in heterogeneous networks, International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC):707-708.
25. Xiaohuan, Y.; Mani, N.; Sekercioglu, Y.A; (2008); A traveling distance prediction based method to minimize unnecessary handovers from cellular networks to WLANs, IEEE Communications Letters, 12(1):14-16
26. Zeng, Q.A.; Agrawal, D. P., (2001); Modeling of handoffs and performance analysis of wireless data networks, International Conference on Parallel Processing Workshops,:491-496.
27. Kirsal Y.; Ever, E.; Kocyigit, A.; Gemikonakli,O.; Mapp, G.; (2015); Modelling and analysis of vertical handover in highly mobile environments, The Journal of Supercomputing, 71(12):4352-4380
28. Zeng, Q.A.; Agrawal, D. P., (2001); Modeling of handoffs and performance analysis of wireless data networks, International Conference on Parallel Processing Workshops,:491-496.
29. He, D.; Chi, C.; Chan, S.; Chen, C.; Bu, J.; Yin, M.; (2010); A simple and robust vertical handoff algorithm for heterogeneous wireless mobile networks. Wireless Personal Communication, 59(2),:361-373.

30. Trivedi, K.S.; Dharmaraja, S.; Ma, X.; (2002); Analytic modelling of handoffs in wireless cellular networks, *Information Sciences*, 148:155-166.
31. Rejeba, S. B.; Nasser, N.; Tabbane, S.; (2014) A novel resource allocation scheme for LTE network in the presence of mobility, *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, 46:352-361.
32. Halabian, H.; Rengaraju, P.; Lung, C.H.; Lambadaris, I.; (2015), A reservation-based call admission control scheme and system modeling in 4G vehicular networks, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 1-12.
33. Kirsal-Ever, Y.; Kirsal Y.; Ever, E.; Gemikonakli,O.; (2015); Analytical Modelling and Performability Evaluation of Multi-Channel WLANs with Global Failures, *International Journal of Computers Communications and Control*, 10:551-566.
34. Ghosh, A.; Paranthaman, V.; Mapp, G.; Gemikonakli, O.; Loo, J. (2015); Enabling Seamless V2I Communications: Towards Developing Cooperative Automotive Applications in VANET Systems, *IEEE Communications Magazine*, Special Issue on Towards Autonomous Driving: Advances in V2X Connectivity, 53(12):80-86