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)

“___”_____2019_р.

Магістерська дисертація

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,
(код і назва)

За освітньо-професійною програмою Інженерія та програмування інфокомунікацій.

на тему: Дослідження методів передачі обслуговування в системах мобільного зв’язку 5G

Виконавла: студентка 2 курсу, групи ТМ-81мп

Ярмоленко Яна Олександрівна _ _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник Професор,професор д.т.н, Кравчук С.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Доцент,с.н.с. к.т.н., Міночкін Д.А. _ _____
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент д.т.н., доц. Скуліш М. А. _ _____
(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.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 рік

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

Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва)

Кафедра телекомунікацій
(повна назва)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою Інженерія та програмування інфокомунікацій.

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
_____Явіся В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)
«___»_____2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ярмоленко Яна Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження методів передачі обслуговування в системах мобільного зв'язку 5G

науковий керівник дисертації Кравчук Сергій Олександрович, професор, д.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «_07_» «_11_» 2019р. № _3840-с_

2. Строк подання студентом дисертації 09.12.2019 р

3. Об'єкт дослідження Системи мобільного зв'язку 5G

4. Предмет дослідження Методи передачі обслуговування

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Дослідження еволюції систем мобільного зв'язку від 4G до 5G. 2. Огляд вертикальної передачі. 3. Дослідження 4G-5G взаємодії. Взаємодія на рівні RAN та CN.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 1. Три етапи здійснення передачі даних. 2. Архітектура взаємодії на рівні RAN. 3. Архітектура взаємодії на рівні CN. 4. Порядок настройки опорного виклику для затримки контрольної площини 5. Передача / комутація NR-NR у взаємодії на рівні RAN. 6. Передача NR-NR у взаємодії на рівні CN. 7. Ілюстрація управління сесіями 5G.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____
_____
_____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
III	Міночкін Д.А.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літератури за темою дисертації.	14.10.2018	
2	Дослідження еволюції систем мобільного зв’язку.	18.01.2019	
3	Дослідження вертикального методу передачі обслуговування.	01.05.2019	
4	Дослідження 4G-5G взаємодії.	10.09.2019	

Студент _____ Ярмоленко Я.О.
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ Кравчук С.О.
(підпис) (ініціали, прізвище)

Зміст

Перелік скорочень 9

Вступ 11

1. Еволюція систем мобільного зв'язку 13

1.1 4G 13

1.2 LTE 15

1.3 LTE Advanced 18

1.3.1 Еволюція систем мобільного зв'язку від 4G до 5G 21

1.4 5G 26

2. Порівняльний аналіз прийняття рішень вертикальної передачі механізмів в гетерогенних бездротових мережах 31

2.1 Огляд вертикальної передачі 34

2.2 Фаза збирання інформації про передачу 35

2.3 Фаза прийняття рішення 37

2.3.1 Методи прийняття рішень на основі одного шару 44

2.3.2 Методи прийняття рішень на основі транспортного шару 44

2.3.3 Методи прийняття рішень на основі мережевого рівня (методи 3 рівня) 45

2.3.4 Методи прийняття рішень на основі шарів (методи другого рівня) 46

2.3.5 Методи прийняття рішень на основі перехресного шару (методи 3 рівня + 2 рівня) 48

2.4 Порівняльний аналіз запропонованої класифікації 57

2.4.1 Техніка роботи 60

2.4.2 Застосування домену 63

2.5 Виконання передачі 64

2.6 Врахування користувача 65

3. 4G-5G взаємодія. Взаємодія на рівні RAN та CN 70
3.1 4G-5G взаємодія 70
3.1.1 Взаємодія на рівні RAN 71
3.1.2 Взаємодія на рівні CN 72
3.2 Порівняння продуктивності та особливостей 74
Аналіз ефективності 74
3.2.1 Пікова швидкість передачі даних 74
3.2.2 Затримка площини управління 75
3.2.3 Затримка в площині користувача 78
3.2.4 Мобільність 82
3.2.5 UE Енергоефективність 86
3.2.6 Особливості мережі 91
3.2.7 Гнучкість до розгортання 94
3.3 Перехід на справжню мережу 5G 96
3.4 Розробка в Samsung 98
Перелік посилань 100

Перелік скорочень

NR	New Radio - Нове радіо
CN	Core Network- Основна мережа CN
RAN	Radio Access Network - Радіодоступна мережа RAN
NSA	Non-standalone – Неавтономний
SA	Standalone - Автономний
VPN	Virtual private network — Віртуальна приватна мережа
IT	Інформаційні технології
CRM	Customer relationship management - Управління відносинами з клієнтами
NIST	National Institute of Standards and Technology - Національний інститут стандартів і технологій
HTML	HyperText Markup Language – стандарт намова розмітки веб-сторінок в Інтернеті
IMS	IP Multimedia Subsystem -мультимедійна підсистемана основ і протоколу IP
ISP	Internet Service Provider – Інтернет-провайдер
LAN	LocalAreaNetwork - об'єднання певного числа комп'ютерів на відносно невеликій території
SOAP	Simple Object Access Protocol - Простий протокол доступу до об'єктів
REST	Representational State Transfer – підхід до архітектури мережевих протоколів, які забезпечують доступ до інформаційних ресурсів
HTTP	Hypertext Transfer Protocol - Протокол передачі гіпертексту
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol – простий протокол передачі почти
FFTP	Fast file transfer protocol - Швидкий протокол передачі файлів
POSIX	Portable Operating System Interface for uniX - набірстандартів, які описують інтерфейси між операційною системою та

	прикладною програмою
QoS	Quality of service - якість обслуговування
S3	Simple Storage Service - Проста служба зберігання даних
SNS	Simple Notification Service - Проста служба сповіщень
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol - набір протоколів мережі Інтернет
UDP	User Datagram Protocol – один із протоколів в стеку TCP/IP. Від протоколу TCP він відрізняється тим, що працює без встановлення з'єднання
WSN	Wireless sensor network - бездротова сенсорна мережа
ОС	Операційна система

Вступ

5G - це революційне покоління послуги мобільного зв'язку, яка може забезпечити багатогабаритну швидкість та високу якість користувальницького досвіду. Система 5G також надасть нові послуги, що призводять до зростання доходів для мобільних операторів на основі нових пристроїв. Справжнє обслуговування 5G досягається тоді, коли пристрої можуть отримати доступ до системи 5G в будь-який час і в будь-якому місці.

На практиці покриття 5G може бути обмежене при первинному розгортанні, а взаємодія зі застарілою мережею LTE неминуча, оскільки це вивчається на міграції LTE з 3G.

Актуальність. В умовах сучаного 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 зросання 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.

Метою роботи є дослідження методів передачі обслуговування в системах мобільного зв’язку 5G.

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.

Дана робота складається з трьох основних частин: в першій частині розглядаються опис та детальный огляд систем мобільного зв’язку.

У другій частині описується порівняльний аналіз прийняття рішень вертикальної передачі механізмів в гетерогенних бездротових мережах.

В третій частині представлені рішення для взаємодії 4G-5G та порівнюються рішення з точки зору продуктивності, особливостей та міграції до справжньої мережі обслуговування 5G.

1. Еволюція систем мобільного зв'язку

1.1 4G

4G працює набагато так само, як 3G, просто швидше. Використовуючи високошвидкісні пакети завантаження та завантаження, 4G дозволяє отримати доступ до швидкості широкосмугового стилю, перебуваючи далеко від вашого Wi-Fi. Користувачі можуть часто отримувати доступ до швидкості до 21 Мбіт на ходу, але на це впливає місцезнаходження. Наприклад, велике місто буде демонструвати більші швидкості, ніж маленьке село.

4G - це по суті дуже просунута радіосистема. Можливо, ви навіть бачили щогли навколо краєвиду. Ці щогли транслюють сигнали, необхідні для роботи 4G, і завдання для інженерів та кодерів полягає в тому, щоб набити якомога більше даних у ці сигнали. За розширенням це означає, що мережа є швидшою та ефективнішою. Як і 3G, 4G - це протокол, який передає та приймає дані в пакетах. Однак 4G відрізняється від 3G тим, як він працює. 4G повністю базується на протоколах IP, а це означає, що він використовує Інтернет-протоколи навіть для голосових даних. Відповідність цьому одному стандарту означає, що при переході до різних мереж менше шансів на зміцнення даних, що означає більш легкий досвід для нас, користувачів!

Як і всі мобільні широкосмугові, 4G працює через ваш пристрій, спілкуючись із базовою станцією. Базові станції - це технічна розмова для щогл, які ми всі бачили, як спливають по всій країні. Цей щогл передає дані з вашого пристрою в Інтернет та назад.

Одним з аспектів, який робить 4G оновленням до 3G, є його більша ємність. 4G може підтримувати більшу кількість користувачів, навіть у пік. Наприклад, 3G башта може забезпечити лише 100 людей найкращою

можливою швидкістю з'єднання, але 4G вежа теоретично може забезпечити 400 людей найкращим сервісом.

4G також має зменшену затримку, що, якщо ви мобільний геймер, є важливим. Зі зменшеною затримкою ви побачите набагато швидшу відповідь на ваші команди. Так, наприклад, для гравців, якщо вони грають у бойову гру, це може означати різницю між виграшем та програшем.

Як тільки інфраструктура 4G стане більш поширеною, користувачі побачать більш безперебійну трансляцію з ходу від служб, таких як YouTube, кращі відеодзвінки та ще кращий ресурс акумулятора. На даний момент сигнали 4G рідше зустрічаються за межами великих міст, тому телефони витрачають багато енергії на пошук 4G-сигналу.

Незважаючи на те, що 3G дійсно дозволяв бути доступними лише електронні листи, карти та Facebook, зростання різних технологій, таких як відеодзвінки та потокове передавання HD, вимагає швидшого вибору. 4G дозволить вам робити переважну більшість речей, які ви можете робити вдома, включаючи перегляд YouTube, здійснення дзвінків по Skype та завантаження музики. Як уже згадувалося раніше, найвищі швидкості будуть відчуватися в найбільш населених районах, при цьому віддалені райони Великобританії можуть мати менший ефект.

Недавнє дослідження OFCOM виявило, що середня швидкість для 4G у 5 великих містах становила 15,1 Мбіт / с. Це означає, що в містах, де проводилось тестування, 4G був в середньому в 2,5 рази швидшим, ніж середня швидкість 3G, яка була 6,1 Мбіт / с. У всіх перевірених мережах у 5 містах половина швидкості завантаження 4G була вище 16 Мбіт / с, при цьому Единбург мав найвищу середню швидкість завантаження у всіх містах, які тестувались як на 4G, так і на 3G.

Тест OFCOM, хоча дає цінну інформацію про те, наскільки швидким є фактично 4G, є дещо хибним через його використання основних мегаполісів. Це не є особливо репрезентативним досвідом, який матиме більшість користувачів у Великобританії за межами цих областей. Однак, коли покриття 4G розширюється, всі ми можемо очікувати, що вони матимуть швидкості, що впадають у цей середній діапазон.

4G LTE має деякі властиві переваги перед попереднім поколінням (3G) мобільного зв'язку, що робить його придатним для підключення для підприємств.

- Більш висока пропускна здатність (швидкість передачі даних), 4G LTE забезпечує справжні широкосмугові швидкості порівняно з 3G.
- Низька затримка, менший час простою до активного часу (поліпшена реакція на мережу)
- Висока ефективність спектру означає більш високу пропускну спроможність мережі, підвищення ефективності витрат
- Зворотна сумісність і захист від майбутнього
- Вся мережа IP означає простішу інтеграцію, підвищення ефективності витрат
- Підвищення безпеки та диференціація якості обслуговування

1.2 LTE

LTE означає довгострокову еволюцію, і це не стільки технологія, скільки шлях, який слід досягти швидкості 4G. Тривалий час, коли на вашому телефоні у верхньому правому куті відображався символ "4G", це насправді це не означало. Коли ITU-R встановив мінімальні швидкості для 4G, вони були трохи недосяжними, незважаючи на кількість грошей, які виробники технологій вкладають на їх досягнення. У відповідь регулюючий орган вирішив, що LTE, назва якої надається технології, що

використовується для дотримання цих стандартів, може бути позначена як 4G, якщо вона забезпечить істотне вдосконалення в порівнянні з технологією 3G.

Одразу мережі почали рекламувати свої з'єднання як 4G LTE, маркетингову техніку, яка дозволила їм заявляти про зв'язок наступного покоління, не спершу досягаючи потрібної кількості. (Це було б як США, які стверджують, що вони висадилися на Місяці, тому що вони наблизилися досить близько, а космічний корабель, який їх там перебрав, був набагато кращим, ніж попередній корабель.) Це не зовсім хитрість, хоча, незважаючи на непослідовні швидкості в залежності від місця розташування та мережі, різниця між 3G і 4G відразу помітна.

Щоб зробити справи більш заплутаними, ви, швидше за все, також натрапите на LTE-A. Це означає довгостроковий розвиток Evolution Advanced, і це робить нас на крок ближче до належного 4G. Він пропонує більш високі швидкості та більшу стабільність, ніж звичайний LTE. Він також сумісний із зворотним ходом і працює за допомогою агрегування каналів, тому замість підключення до найсильнішого сигналу у вашій близькості ви можете одночасно завантажувати дані з кількох джерел.

Отже, справжнє питання полягає в тому, чи можете ви відчути різницю між мережами 4G та LTE? Чи швидкість завантаження сторінки чи завантаження програми на портативний пристрій набагато швидша, якщо у вас вбудована технологія LTE? Напевно, ні, якщо ви не живете в потрібній місцевості. Незважаючи на те, що різниця між повільнішими мережами 3G та новими мережами 4G або LTE, безумовно, дуже помітна, у багатьох мережах 4G та "справжній 4G" швидкість завантаження та завантаження майже однакова. Розвиток LTE-A дещо змінив ситуацію, але ваш пробіг може відрізнятися. LTE-A був деяким швидким з'єднанням, яке було доступне для бездротових мереж певний час, але ми починаємо бачити, що мережі 5G живуть у кількох містах.

Для створення підключення 4G потрібні два компоненти: мережа, яка може підтримувати необхідні швидкості, і пристрій, здатний підключитися до цієї мережі та завантажувати інформацію з достатньо високою швидкістю. Тільки тому, що телефон має 4G LTE-з'єднання всередині, це не означає, що ви можете отримати швидкість, яку ви хочете, так само, як придбання автомобіля, який може проїхати 200 миль / год, не означає, що ви можете їхати так швидко на шосе 55 км / год.

Незалежно від того, якими є дані або як швидко вони передаються, їх потрібно упакувати та надіслати, щоб інші точки мережі могли інтерпретувати їх. У старих мережах використовується технологія комутації схем, термін, що відноситься до способа спілкування. У системі комутації схем з'єднання встановлюється безпосередньо до цілі через мережу, і все з'єднання, будь то телефонний дзвінок або передача файлу, відбувається через це з'єднання.

До переваг мережі з комутованою схемою можна віднести швидший час підключення та менший шанс відключення з'єднання. Новіші мережі користуються перевагою технології комутації пакетів, сучасного протоколу, який може скористатися значно більшою кількістю підключених точок по всьому світу. У мережі комутації пакетів ваша інформація розбивається на невеликі шматки, які потім надсилаються до місця призначення по будь-якому шляху, який на даний момент є найбільш ефективним. Якщо вузол випаде з вашого з'єднання в мережах комутації схем, вам доведеться знову підключитися, але в мережі з комутацією пакетів наступний пакет буде просто шукати інший шлях.

Багато технологій, що використовуються для створення швидкості 4G, не мають нічого спільного з голосовим зв’язком. Оскільки голосові мережі все ще використовують технологію комутації схем, виникла необхідність узгодити різницю між старими та новими мережевими структурами. Запропоновано кілька різних методів, які вирішують цю проблему, і

більшість перевізників вирішили розгорнути один із двох варіантів, які зберегли свій контроль над використаними хвилинами.

Вони роблять це, або дозволяючи телефону повернутися до стандартів комутації схем, коли вони використовуються для здійснення або отримання дзвінка, або за допомогою одночасного використання комутації пакетної комутації для передачі даних та комутації схем для голосу. Третій варіант - просто запустити голосовий звук як дані по нових мережах LTE - метод, якого більшість компаній уникали на деякий час, швидше за все, тому що це забирає їх потужність, щоб легко заряджати голосові хвилини. Голосовий зв'язок через LTE (VoLTE) - це в основному те, що відбувається вже під час виклику Skype або аудіо FaceTime Audio з іншим користувачем, з більш високою роздільною здатністю та швидкістю з'єднання. Зараз і VoLTE, і Wi-Fi дзвінки стають все популярнішими.

1.3 LTE Advanced

LTE Advanced - це наступний головний крок у розвитку наших мереж LTE. Це нова мережева технологія, яка, як очікується, допоможе діапазону сприяти масовому зростанню попиту на мобільні дані та забезпечить набагато більшу швидкість передачі даних для всіх. Це означає, що краще покриття, більша стабільність та швидкість роботи. І це не просто трохи швидше.

Таблиця 1.1 Оглядове уявлення про порівняння ймовірних діапазонів швидкості.

	3G	WiMax	HSPA+	LTE	LTE Advanced
Пікова норма	3 Мбіт / с	128 Мбіт / с	168 Мбіт / с	300 Мбіт / с	1 Гбіт / с
Швидкість завантаження (фактична)	0.5-1.5 Мбіт / с	2-6 Мбіт / с	1-10 Мбіт / с	10-100 Мбіт / с	100-300 Мбіт / с

Швидкість віддачі (фактичне)	0.2 - 0.5 Мбіт / с	1 - 2 Мбіт / с	0.5 – 4.5 Мбіт / с	5 - 50 Мбіт / с	10 - 70 Мбіт / с

Найвищі можливі показники ніколи не досягаються в реальних умовах. Фактичні показники будуть різними, але ми можемо очікувати, що LTE-A буде принаймні в п’ять разів швидшим, ніж більшість мереж LTE сьогодні, і це чудова новина для наркоманів, що мають потокове відео, якщо вони мають здоровий доступ до даних.

Розвиток мобільних мереж 4G (четвертого покоління) в США трохи ускладнився тим, що деякі оператори вирішили позначити те, що було справді вдосконаленою технологією 3G, як 4G. Це призвело до того, що стандарт LTE (Long Term Evolution) був описаний як "справжній 4G" або "4G LTE", коли він остаточно розгорнувся, але насправді це виявилося не зовсім точно. Перегляньте наш посібник 4G, щоб отримати докладнішу інформацію про різні смаки "4G", які зараз пропонуються. Перша розгортання LTE не відповідала вимогам щодо 4G, коли мова зайшла про такі речі, як пікові швидкості передачі даних, визначені Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU).

Тепер, коли LTE Advanced на горизонті, ми будемо насолоджуватися 4G реально, але що це саме? Давайте докладніше подивимось і спробуємо пояснити.

LTE Advanced повинен забезпечити більшу пропускну спроможність, покращений досвід користувачів та більшу справедливість щодо розподілу ресурсів. Це робиться, поєднуючи купу технологій, багато з яких існують вже кілька років, тому ми не дуже говоримо про впровадження тут абсолютно нової системи.

За словами Джанетт Ваннстром, у статті для 3GPP "Основними новими функціональними можливостями, запровадженими в LTE-Advanced, є

агрегація несучої (CA), розширене використання багато антенних методик (MIMO) та підтримка релейних вузлів".

Агрегація оператора забезпечує більш високі швидкості, оскільки дозволяє завантажувати дані з декількох джерел одночасно. Замість підключення до найкращого сигналу у вашому районі ваш смартфон може поєднувати кілька сигналів, навіть на різних частотах. До п'яти цих «компонентних носіїв», кожен з яких забезпечує пропускну здатність до 20 МГц, можна комбінувати, що створює максимальну агреговану передачу даних до 100 МГц.

MIMO розшифровується як множинне вхідне множинне виведення, і воно може збільшити загальний бітрейт, передаючи два (або більше) різних потоків даних на дві (або більше) різних антен. LTE Advanced довідник LTE Advanced Qualcomm пояснює, що, використовуючи більше радіозв'язків через більше антен, ви отримуєте "більш високу спектральну ефективність". Простіше кажучи, ці мережі здатні зробити більше з меншими.

Реле-вузли описуються Wannstrom як "базові станції малої потужності, які забезпечуватимуть посилене покриття та пропускну здатність в краях комірок". Вони збільшать діапазон покриття і забезпечать хороші швидкості, навіть якщо ви знаходитесь на околиці вашої мережі.

Ця технологія є сумісною назад, тому це не вплине негативно на існуючих користувачів LTE. Однак ви не зможете автоматично насолоджуватися LTE Advanced, коли оператори розгортають її; вам знадобиться новий пристрій з чіпом LTE-A. Qualcomm, Broadcom та Nvidia, серед інших, працюють над цими чіпами, і Samsung вже оголосила про плани щодо нової версії Galaxy S4, яка підтримуватиме стандарт LTE Advanced.

Щоб насолоджуватися ним зараз, вам доведеться підняти палички та переїхати до Росії. Якщо припустити, що це швидше звучить швидше для

мобільних даних, затримайтеся на деякий час, і ви зможете отримати їх у старому доброму США.

Verizon каже, що може почати пропонувати LTE-A "незабаром"; AT&T стверджує, що він з'явиться у другій половині року; T-Mobile раніше говорив про свою здатність переходити до LTE-A; і Sprint ще не розкриває плани, але ми впевнені, що це буде. Майте на увазі, що вже існують розбіжності щодо того, чи справді всі ці нові мікросхеми, пристрої та мережі будуть LTE-Advanced. Так само як оператори застосували ім'я 4G до технології, яка не відповідала мінімальним стандартам для 4G, як визначено Міжнародним союзом електрозв'язку, ми вже спостерігаємо таке ж поспіх на продаж етикетки LTE-A, незважаючи на те, що всі поточні плани падають нижче вказівки MCE.

Незрозуміло, чи будуть бездротові оператори стягувати плату за послугу LTE-A, але ми вважаємо, що це безпечна ставка.

1.3.1 Еволюція систем мобільного зв'язку від 4G до 5G

Еволюція систем мобільного зв'язку від 4G до 5G вимагає впровадження нових технологій, що підвищують швидкість передачі і абонентську ємність, а також значно зменшують затримку в каналі. Стаття присвячена огляду перспективних методів множинного доступу, застосування яких дозволяє підвищити спектральну ефективність в 3-5 разів в порівнянні з системами четвертого покоління.

З розвитком інтернету речей IoT (англ. Internet of Things) підвищуються вимоги до інфокомунікаційних технологій. Обсяг трафіку в системах мобільного зв'язку зростає бурхливими темпами і виникає необхідність в

збільшенні пропускної здатності каналів. З впровадженням нових мобільних сервісів збільшується число зареєстрованих абонентів і одночасно підключених до мережі пристроїв.

Стандарт 5G консорціуму 3GPP визначає наступні характеристики систем нового покоління [1, 2]:

- швидкість передачі не менше 10 Гбіт / с;
- одночасне підключення до 100 млн пристроїв / км2;
- затримка в радіоканалі не більше 1 мс.

Для забезпечення заданих характеристик застосовується смуга частот повинна мати безперервну ширину спектра 500-1000 МГц і займати сантиметровий і чи міліметровий діапазон електромагнітного спектра. В даний час розглядається можливість виділення мереж 5G мереж діапазонів 24,25 -27,5 ГГц і 37-43,5 ГГц для досягнення пропускної здатності 20 Гбіт / с, хоча застосування спектру частот нижче 6 ГГц вже погоджено Всесвітньою конференцією радіозв'язку (ВКР) 2015 м, оскільки він забезпечує хороше радіопокриття без високих інвестицій (з меншою кількістю базових станцій), краще проникнення крізь перешкоди і є найкращим варіантом для додатків, які потребують надвисоких швидкостей.

Забезпечення спектральної ефективності досягається шляхом застосування неортогональних сигналів FTN (англ. Faster-Than-Nyquist Signaling) і F-OFDM (англ. Fast Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) і неортогональних методів доступу, таких як NOMA (англ. Non-Orthogonal Multiple Access), SCMA (англ. Sparse Code Multiple Access). З їх допомогою спектральна ефективність систем п'ятого покоління може бути поліпшена в 3-5 разів у порівнянні з існуючими системами мобільного зв'язку четвертого покоління. FTN сигнали були запропоновані співробітником Bell Laboratories Д.Е. Мазо в 1975 р [3].

Сигнали Мазо обробляються подібно OFDM (англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing), але передаються на неортогональних піднесуть. Якщо період базового сигналу становить T, то у FTN сигналу період дорівнює τT, де $\tau > 1$. Більш висока швидкість модуляції сигналу збільшує швидкість передачі на Гц смуги (біт / с / Гц). Fast-OFDM

використовує рознос частот в два рази менший ніж OFDM, підвищуючи таким чином спектральну ефективність. При обробці сигналів використовується той факт, що якщо частоти рознесені на відстань кратне 1 /2T, то дійсна частина комплексного коефіцієнта кореляції двох піднесуть дорівнює нулю і сигнали на них можна вважати ортогональними.

Метод неортогональної множинного доступу NOMA вважається одним з найбільш перспективних для застосування в системах мобільного зв'язку п'ятого покоління [2-4]. Даний метод передбачає обслуговування безлічі абонентів в одному частотному діапазоні без поділу за часом, що робить можливим одночасне підключення до мережі більшої кількості користувачів, ніж дозволяє метод множинного доступу OFDMA (англ.

Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), який застосовується в мережах LTE (LTE-Advanced) і WiMAX/

Абонентські канали розміщуються в одному і тому ж частотно-часовому ресурсі, але мають різну попередньо задану потужність сигналу, значення якої буде визначати пропускну здатність каналу і його стійкість. Користувачеві з меншим відношенням сигнал / шум SNR (англ. Signal-Noise Ratio) виділяється велика потужність випромінювання, а каналу з великим SNR - менша потужність. При цьому сумарний випромінюється сигнал являє собою суперпозицію всіх абонентських сигналів з вагами.

Мобільний пристрій, отримавши сумарний сигнал, виділяє з нього рівень потужності, призначений конкретно для цього абонента. Для цього в передавачі базової станції застосовується так зване суперпозиціонного кодування (англ. Superposition coding), а в приймачі - технологія послідовного придушення перешкод SIC (англ. Successive Interference Cancellation).

Незважаючи на сильний вплив властивою неортогональної методам множинного доступу міжканального інтерференції метод NOMA має набір

переваг, завдяки яким консорціум 3GPP вибрав цю технологію для застосування в системах мобільного зв'язку 5G.

У порівнянні з технологіями, заснованими на застосуванні ортогонального

множинного доступу, NOMA пропонує абонентам наступні переваги.

1) Спектральна ефективність NOMA є найвищою серед методів

множинного доступу завдяки застосуванню технології SIC при одночасному обслуговуванні безлічі користувачів в єдиному частотно-часовому просторі.

2) Застосування NOMA укупі з технологією MIMO збільшує пропускну здатність мережі в 25-50 разів щодо систем 4G.

3) Оскільки немає тимчасового поділу абонентських каналів NOMA дозволяє знизити затримку передачі в радіоінтерфейсу до значень менше 1 мс, тому що користувач не повинен чекати обслуговування, а може почати передачу в будь-який момент часу паралельно з іншими користувачами.

4) NOMA забезпечує високі значення показників якості обслуговування QoS, завдяки гнучкому управлінню потужністю абонентських каналів в умовах впливу перешкод в бездротової середовищі передачі даних, а також зміни відстані, швидкості руху мобільних абонентів, складних рельєфів місцевості і атмосферних явищ.

Компанією Huawei був запропонований інший метод множинного доступу,забезпечує високу спектральну ефективність. Це множинний доступ на основі розріджених кодових слів SCMA. Даний метод являє собою комбінацію технологій OFDMA і CDMA (англ. Code-Division Multiple Access).

Ефективність SCMA залежить від виду кодових книг, які побудовані нарозріджених матрицях. Кодові слова однієї кодової книги містять нульові

елементи в одних і тих же позиціях, але ці позиції різні для різних книг, що дозволяє уникнути колізії при одночасній передачі даних декількома абонентами.

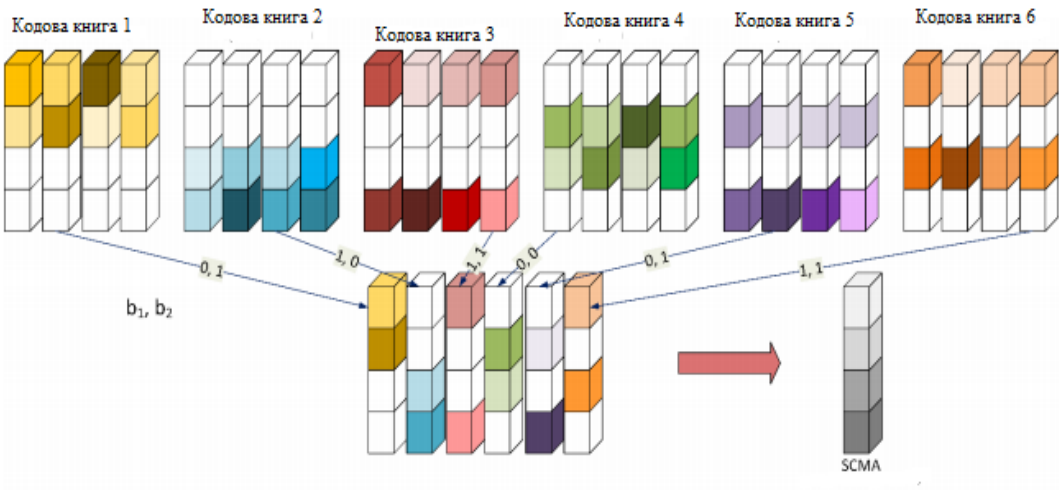


Рис1.1 Застосування SCMA в спрощеному вигляді, білим кольором позначені нульові елементи кодових книг.

Кодування в SCMA здійснюється шляхом перетворення біт вхідного потоку в комплексне кодове слово з багатовимірної кодової книги з розширенням спектра сигналу подібно CDMA. Кожному j-му користувачу призначається одна з наявних J кодових книг, таким чином відбувається одночасна передача до J інформаційних потоків. Символ SCMA є суперпозицію всіх кодових слів. Передача даних відбувається на декількох піднесуть за технологією OFDMA, що формуються за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є IFFT (англ. Inverse Fast Fourier Transform).

Таким чином, можна бачити, що неортогональні сигнали також як неортогональні методи множинного доступу підвищують спектральну ефективність систем мобільного зв'язку і зменшують затримку передачі даних, а також збільшують кількість абонентів, що обслуговуються в порівнянні з діючими системами 3G і 4G. Крім того застосування даних методів спільно з іншими перспективними технологіями, такими як MIMO, підніме забезпечення QoS на новий рівень.

Очікується, що гаряче очікувана технологія мобільних телекомунікацій п'ятого покоління - це поступова зміна мобільних мереж - це обіцяє експоненціально більш високу швидкість завантаження та обмін даними в режимі реального часу.

Пізніше цього року кілька мобільних операторів пройдуть випробування, і ціла низка пілотних зон вже включена. Американська компанія Verizon вперше активізувала комерційний 5G в США, а також Swisscom та Ericsson в Швейцарії, а інші області з підтримкою 5G живуть у Китаї, Японії, Австралії та Норвегії.

Ерікссон прогнозує, що до 2024 року 1,5 мільйона користувачів - 40 відсотків усього населення світу - матимуть доступ до мережі 5G; але як реально працює технологія і чи реальність може реагувати на суперечки?

1.4 5G

5G - нова цифрова система для перетворення байтів - одиниць даних - по повітрю. Він використовує інтерфейс 5G New Radio разом з іншими новими технологіями, що використовує набагато більші радіочастоти (28 ГГц порівняно з 700 МГц - 2500 МГц для 4G) для передачі експоненціально більше даних по повітрю для більш швидкої швидкості, зменшення заторів і меншої затримки. , яка є затримкою до початку передачі даних після вказівки.

Цей новий інтерфейс, який використовує міліметровий спектр хвиль, дозволяє використовувати більше пристроїв у межах однієї географічної області; 4G може підтримувати близько 4000 пристроїв на квадратний кілометр, тоді як 5G підтримуватиме близько мільйона. Це означає, що більше потокової передачі, голосових дзвінків та You Tube Netflix здійснюватиметься безперебійно над обмеженим повітряним простором.

5G також використовує нову цифрову технологію під назвою Massive MIMO, яка розшифровується для множинних вхідних сигналів з декількома

вихідними сигналами, яка використовує декілька націлених променів для прожектора та слідкуючих за користувачами навколо сайту стільникового зв'язку, покращуючи охоплення, швидкість та потужність. Сучасні мережеві технології функціонують як прожектори, висвітлюючи область, але з великою витратою світла / сигналу. Частина впровадження 5G включає встановлення Massive MIMO та 5G New Radio на всі базові станції мобільної мережі поверх існуючої інфраструктури 4G.

Порівняно з мобільними мережами третього покоління, 4G дозволив раніше неможливу якісну трансляцію відео та дзвінки в дорозі, тобто телевізійне телебачення зараз регулярно переглядається щоденно. Однак більше потокове передавання відео збільшує перевантаженість мережі.

"4G досягає технічних меж того, скільки даних може швидко передавати через блоки спектру", - пояснює Кріс Міллс, керівник відділу аналізу галузі в Tutela. "Основна різниця між 5G і 4G полягає в тому, що цей затор буде усунутий". Це означає не більше п'яти барів мережевого сигналу в годину пік, але неможливість доступу до веб-браузера.

Але, мабуть, найбільший диференціатор 5G до 4G стане шлюзом для Інтернету речей. Пізніші ітерації мереж 5G, як очікується, стануть революційними для промисловості, керованої даними, розумних міст та управління інфраструктурою, тому що в одній і тій же області можна буде працювати набагато більше пристроїв, які надійно, надійно та безперебійно працюють. В цілому, завдяки новим технологіям, спектру та частотам, які він використовує, 5G має кілька переваг над 4G; більша швидкість, менша затримка, ємність для більшої кількості підключених пристроїв, менше перешкод і краща ефективність.

Кожен оператор володіє блоками спектру, який представляє собою діапазон електромагнітних радіочастот, що використовуються для передачі звуку, даних та відео по всій країні. Цей спектр додається разом, щоб

створити загальну ємність мережі, яка визначає, наскільки швидко вони можуть передавати дані. "Сьогодні оператор може мати 100 МГц всього спектру для використання для всіх своїх клієнтів у Великобританії, але в кінцевому підсумку з 5G це збільшиться до приблизно 1000 МГц - це реальна зміна з 5G", - пояснює пан Міллс.

Це також створить набагато менші затримки в системі, тобто дані будуть передані в режимі реального часу.

Затримка для 4G становить близько 20-30 мілісекунд, але для 5G вона досягне набагато нижче 10 мілісекунд, а в кращих випадках близько 1 мілісекунди затримки, за словами Матса Норіна, керівника програми 5G For Industries, Ericsson Research.

Таблиця 1.2 3G проти 4G проти 5G

	3G	4G	5G
Пропускна здатність	2 Мбіт / с	200 мбіт / с	> 1 Гбіт / с
Затримка	100-500 мілісекунд	20-30 мілісекунд	<10 мілісекунд
Середня швидкість	144 кбіт / с	25 Мбіт / с	200-400 Мбіт / с
Розгортання	2004-05	2006-10	2020

За словами Vodafone, 5G обіцяє швидкість пристрою приблизно в 10 разів швидше, ніж 4G, тобто високоякісні 4K відеодзвінки ультрависокої роздільної здатності - стандарт, що використовується для комерційного цифрового кінотеатру - завантаження будуть доставлятися ще швидше на смартфони та планшети. Передача даних менше 20 мілісекунд буде стандартною .

Очікується, що 5G стане каталізатором для з'єднання людей і машин разом у безпрецедентному масштабі для нових бізнес-економічних можливостей. Насправді, у звіті аналітиків галузі IHS Markit за оцінками, 5G дозволить досягти 12,3 трлн. Дол. Світового економічного випуску в 2035 році. Хоча дослідження Міжнародної корпорації даних (IDC) оцінює кількість створених, захоплених та відтворених даних у всьому світі може зрости з 33 Zettabytes (ZB) у 2018 році до 175 ZB до 2025 року.

Випадки використання включають розробку справді гаптичних додатків - де тактильне відчуття чи досвід можна ділитися в прямому ефірі - тож віддалені оператори робототехніки можуть «відчувати» та «торкатися» через машину, незважаючи на те, що милі тисячі миль. Це може бути використане на заводах, шахтах або навіть для віддаленої хірургії.

Швидка та надійна мережа в режимі реального часу може дозволити галузям звільнити машини від кабельного підключення до мережевого з’єднання бездротовими для більш гнучких та автономних операцій, які можуть підвищити продуктивність та зменшити витрати. Наприклад, на шахті Boliden Aitik у Швеції автоматизація з підтримкою 5G, яка використовується для буріння та підривання, зменшила витрати на один відсоток, заощаджуючи 2,5 мільйони євро щорічно.

Незважаючи на те, що виробники можуть домогтися збільшення продуктивності на 1–3 відсотки, що призводить до економії мільйонів фунтів, завдяки більш гнучким та краще керованим виробничим лініям через бездротові заводи на 5G, згідно з дослідженнями консорціуму Вустерширського 5G.

Очікується, що G також створить справді пов'язані та розумні міста, а також буде підтримуючою мережею для автономних транспортних засобів.

Багато з цих випадків використання можуть скористатися розрізанням мережі - розщепленням мережі для адаптації швидкості, ємності, покриття,

шифрування та безпеки - чого можна досягти набагато простіше за допомогою 5G.

Slicing пропонує виробникам та іншим спеціалізовану мережу, за допомогою якої вони можуть повністю контролювати та підтримувати свої рішення IoT для надійних комунікацій, із гарантованою якістю обслуговування та.

Це може забезпечити додатковий елемент безпеки, який не надає WIFI, яким він ділиться з іншими за спектром і тому легше втручається в нього і менш легко досягається за допомогою 4G.

Якщо компанія має особливо чутливі дані, що регулюються вимогами регулювання, вона може надсилатись через принципово різні шматки мережі, щоб захистити конфіденційність, розрізання може забезпечити це для 5G.

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. 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. Порівняльний аналіз прийняття рішень вертикальної передачі механізмів в гетерогенних бездротових мережах

Гетерогенні бездротові мережі конвергуються в мережу все-IP як частина так званої мережі нового покоління. У цій парадигмі різні технології доступу повинні бути взаємопов'язані; таким чином, вертикальні передачі або вертикальні передачі необхідні для безперебійної мобільності. У цій роботі ми готуємо огляд існуючих механізмів прийняття рішень щодо вертикальної передачі, які мають на меті забезпечити повсюдний зв'язок для мобільних користувачів.

Методи / Статистичний аналіз: Щоб запропонувати систематичне порівняння, ми класифікуємо ці вертикальні механізми передачі даних на основі шарів TCP / IP.

Згодом ми оцінюємо декілька вертикальних механізмів прийняття рішень в літературі та порівнюємо їх відповідно до їх переваг та обмежень. Результати / висновки: У роботі порівнюються алгоритми на основі методів вибору мережі, гнучкості та складності використовуваних технологій. Ми виявляємо, що розгортання міжшарової архітектури як тригера хендовера, а потім виконує передачу відповідно відповідно до багатоканальної передачі може зменшити втрати пакетів навколо хендоверу.

Висновок / застосування: Підхід до дизайна на міжшаровому рівні виглядає як найкраще рішення для досягнення безперервної безперервності обслуговування з метою полегшення бездротового підключення.

Останні десятиліття стали свідками дивовижного розвитку бездротових додатків, пристроїв та мереж. Однак різноманітність засобів і цілей, що виникають внаслідок цього революційного спалаху бездротових систем, вимагає створення унікальної технології, заснованої на єдиній інфраструктурі, здатної обслуговувати користувачів високою якістю обслуговування в різних ситуаціях. Неминуче виконання величезних вимог

таких широких застосувань вимагає від майбутніх поколінь бездротових систем спілкуватися за допомогою різнорідних за своєю природою технологій, а саме WiFi, бездротової сумісності для мікрохвильового доступу (WiMAX) та Універсальної мобільної телекомунікаційної системи (UMTS). а також швидко розвиваються мобільні додатки на базі Web 2.0 та навігаційні послуги на основі місцезнаходження та автомобіля1. У наступному поколінні мереж All-IP всі пов'язані функції повинні працювати незалежно від мережевих технологій, щоб ці явища могли призвести до конвергенції мережі, сервісу та додатків. Ця тенденція може бути дуже корисною для надання можливості постачальникам послуг ефективно надавати свої мережеві послуги користувачам, не турбуючись про тип мережі або можливості терміналу. Дослідники часто класифікують ці процеси як горизонтальні, вертикальні та діагональні передачі. Якщо передача передач розміщується в одному і тому ж середовищі бездротового доступу, то процес є горизонтальним типом передачі, тоді як процеси передачі, що відбуваються в середовищах, що охоплюють бездротові мережі доступу без будь-якої або мінімальної однорідності, відомі як вертикальний тип. Діагональна передача - це суміш горизонтальних та вертикальних передач. Кажуть, що передача даних є діагональною, коли мобільний вузол орієнтується на ті комірки, які використовують загальну базову технологію (наприклад, Ethernet) 2. Інакше кажучи, різноманітні бездротові мережі з різними технологіями повинні інтегруватися та зближуватися, щоб досягти технічної безперебійної сумісності; ця мета робить використання таких методів, як вертикальне передавання (VHO) неминуче. Вертикальна передача або вертикальна передача тягне за собою передачу мобільних терміналів між різними бездротовими стільниками / технологіями.

У різнорідних бездротових мережах VHO є важливим фактором забезпечення безперебійної мобільності між різними мережевими середовищами. VHO процедура містить три основні функції: виявлення

системи, рішення про передачу та виконання хендовера. Рішення VHO є важливим для забезпечення низької вартості, високодоступного мережевого середовища, яке може досягти найкращої якості обслуговування (QoS) або якості досвіду (QoE). Як узагальнено в таблиці 2.1, VHO складається з трьох основних фаз, які мають вирішальне значення для вирішення ефективності та застосованості обраного механізму передачі.

Таблиця 2.1. Фази Ганновера

Фаза передачі	Опис
Вимірювання та ініціація передачі	Мобільний вузол (MN) або точка доступу (AP) проводить вимірювання для ініціювання передачі в нову мережу або до нового AP в тій же мережі.
Рішення про передачу	Результати вимірювань порівнюються із заздалегідь заданими значеннями, щоб вирішити, чи слід здійснювати передачу чи ні.
Виконання після передачі	Додана нова базова станція, регулюється потужність кожного каналу та оновлюється активний набір

В даний час управління VHO є важливою справою, оскільки його мета полягає у підтвердженні безперебійного роумінгу користувачів від однієї технології бездротового доступу до іншої. Крім того, потенціал багатошарового проектування для покращення критичних аспектів продуктивності вертикального хендоверу широко визнаний важливою властивістю мобільних систем зв'язку. В перспективі майбутніх бездротових мереж було запропоновано багато досліджень у літературі1–3,5 тощо. Ніхто не планував містити різні існуючі механізми у вирішенні проблеми вертикальної передачі на основі одношарової та міжшарової конструкції.

Ця стаття описує існуючі механізми рішення щодо вертикальної передачі та узагальнює їх ключові властивості у всебічній таксономії. Крім того, це опитування може направити зацікавлених читачів, знайомих з

механізмом вертикальної передачі, класифікацією вертикальних механізмів передачі, заснованих на підходах до одношарового та поперечного дизайну, та допомогти їм інтегрувати ці захоплюючі схеми у власні дослідження. Для цього встановлюються такі цілі:

• Визначити критерії рішення VHO.

• Класифікувати існуючі алгоритми прийняття рішень VHO на основі підходів до одношарового та міжшарового проектування.

• Порівняти методи прийняття рішень щодо VHO на основі їх класифікації.

Решта цієї роботи організована наступним чином.

У розділі 2 представлений огляд процедур VHO, включаючи їх основні пропозиції щодо підтримки вертикальної мобільності. Розділ 3 надає короткий виклад фази збору інформації про передачу та детально налаштовує параметри, зібрані протягом цієї фази. Розділ 4 класифікує різноманітні сучасні стратегії та пропонує порівняльний аналіз цих досліджень, пов’язаних із фазою прийняття рішень на основі різних рівнів та застосованої методології. Розділ 5 аналізує існуючі стратегії та класифікує існуючі стратегії та дає порівняння між алгоритмами, пов'язаними з фазою прийняття рішень. Також проілюстровані показники оцінки алгоритмів кандидатів. У розділі 6 представлено більш детальну інформацію про виконання хендовера. Розділ 7 описує спостережувані результати на основі класифікованих алгоритмів. Нарешті, розділ 8 завершує роботу.

2.1Огляд вертикальної передачі

У неоднорідних бездротових мережах мобільний користувач може здійснювати передачу передач через різні мережеві домени, щоб зберегти своє з'єднання даних та QoS. Процес ВГО можна розділити на три фази, а саме; Збір інформації про передачу, прийняття рішення про передачу та

виконання передачі. На Рис 2.1 показано з'єднання між трьома необхідними фазами для застосування передачі передач в гетерогенних мережах.

Рис2.1. Три етапи вимагали здійснення передачі даних

На етапі збору інформації накопичується інформація, необхідна для визначення необхідності передачі передачі чи ні. Збираючи таку інформацію, як мобільні термінали, так і мережі співпрацюють. Більш детально про етап збирання інформації буде роз'яснено в наступному розділі. Отримана інформація використовується для розпізнавання доступних і найбільш відповідних мереж для відповідної програми на наступній фазі, що називається фазою прийняття рішення про передачу. Коли ідентифікована та обрана відповідна (нова) мережа доступу, необхідно перенести сеанси зв'язку з попереднього радіоінтерфейсу на щойно обраний інтерфейс. Після цього встановлюється шлях маршрутизації.

2.2Фаза збирання інформації про передачу

Фаза збору інформації в літературі позначається декількома різними термінами, включаючи виявлення системи, ініціацію передачі передачі або виявлення мережі3. Ця фаза проводиться для виявлення та виявлення

доступних мереж доступу. Доступна мережа - це доступна та авторизована мережа, яка розглядається для можливої передачі. Під час фази збору інформації мобільні термінали, оснащені декількома інтерфейсами, повинні визначати, які мережі можна використовувати та які послуги доступні в кожній мережі. Етап збору інформації про передачу даних не тільки ефективний для збору мережевої інформації, але й ефективний для збору інформації про точки доступу, налаштування користувачів, мобільні пристрої та властивості мережі. Потім інформація повинна бути використана на етапі прийняття рішення про передачу.

У кінцевому підсумку доступні мережеві посилання оголошуються за допомогою накопиченої інформації про фактори, включаючи пропускну здатність, швидкість передачі, вартість, розташування, коефіцієнт втрат пакету, отриману силу сигналу (RSS), коефіцієнт перешкоди несучої, сигнал-інтерференція та коефіцієнт шуму (SINR), бітова швидкість помилок та параметри QoS. Зібрані дані можуть забезпечувати стан мобільного пристрою, вказуючи клас обслуговування, ресурси, швидкість і навіть стан заряду акумулятора. Інші атрибути та налаштування користувача, такі як необхідні послуги та бюджет користувача, можна отримати із зібраної інформації.

Як правило, фаза збору інформації є критичною в процесі передачі. Щоб дійти до парадигми «Завжди найкраще підключений» (ABC) та «Завжди найкращий задовільний» (ABS)4, зібрана інформація повинна бути достатньо вичерпною, щоб забезпечити можливість проведення етапу прийняття рішень. Цей етап включає пошук усіх сусідніх мереж, які готові підтримати його постійні послуги. Іншими словами, ця фаза проводиться періодично для того, щоб збирати інформацію про статистику інтерфейсу, поточну інформацію про радіосередовище, оцінки пріоритетності програми та налаштування користувачів. Зібрані дані використовуються для того, щоб

визначити, чи потрібно передача передачі. Ці введення подаються в механізм прийняття рішень для прийняття рішень про передачу даних.

Часом нинішня мережа не в змозі обробити постійне підключення; наприклад, радіопередумови або QoS можуть опуститися нижче заздалегідь визначених порогових значень. Отже, виконувати процес виявлення було б необхідно в таких випадках. В іншому випадку процес виявлення збирає необхідну інформацію, що стосується QoS та доступних та відповідних мереж, щоб підготувати необхідні дані для алгоритма VHO, щоб він міг приймати рішення протягом етапу вибору передачі передачі. У таблиці 2.2 представлені описи деяких конкретних критеріїв, що стосуються процесу передачі.

2.3Фаза прийняття рішення

У цьому розділі описана запропонована нами класифікація підходів щодо прийняття рішень щодо VHO. Пропонована класифікація представлена на рисунку 2. Кожен метод VHO повинен пройти процес прийняття рішень для оцінки доступних мереж бездротового доступу. Результатом процедури є ідентифікація мережі, яка найбільш підходить для передачі мобільного терміналу на основі критеріїв, зібраних та оцінених на етапі збору інформації. Хоча стандарти не дають детально алгоритмів прийняття рішень, в літературі можна знайти численні пропозиції.

Таблиця 2.2. Критерії вертикального прийняття рішення

Джерело	Метрика	Опис
	Затримка E2E	Загальний час, коли починається запит на надсилання до мережі призначення.
	Доступна ширина смуги	Важливими параметрами, які безпосередньо впливають на QoS, є пропонована та доступна смуга пропускання.
	Навантаження	Він показує більш високу продуктивність у випадку, якщо мережа здатна забезпечити більшу пропускну здатність.

	Безпека	Процес передачі вимагає покращеної безпеки та конфіденційності від підслуховування, викрадення реєстрації, припинення сеансу та атак відмови в обслуговуванні (QoS).
	Затримка мережі	Час, отриманий для відправки пакету. Затримка - загальний час для надсилання повідомлення від джерела до місця призначення
	Покриття	Покриття мережі сильно пов'язане з силою сигналу, отриманим мобільним терміналом.
	RSS	Він зменшується, коли користувач від'їжджає від точки доступу до поточної мережі.
	CIR	Коефіцієнт перешкоди несучої - відношення потужності сигналу до потужності в інтерференційних компонентах.
	RTT	Важливо відстежувати поточний стан QoS та виявляти зміни в QoS, щоб негайно визначити причину деградації QoS.
Мережа	Повторна передача	Це забезпечує надійну передачу даних між двома кінцевими вузлами.
	BER	Bit Error Rate Швидкість помилок бітів - це кількість отриманих бітів, змінених через шум та перешкоди, поділена на загальну кількість переданих бітів за часовий інтервал.
	SINR	Signal to Interference and Noise Ratio Коефіцієнт сигналу до перешкод і шуму є найважливішим параметром, що сильно впливає і відображає QoS мережі
	Втрата пакетів	Передача тягне за собою переключення зв'язку, яке часом може не працювати в точній координації при швидкій передачі сигналу передачі.
	Пропускна здатність	Пропускна здатність позначає швидкість передачі даних, що подається для MH в будь-якій даній мережі.
	Ємність посилання	Пропускна здатність, запропонована

		кандидатом Мережі.
	Мережа тремтіння	Джиттер може бути визначений як максимальна затримка пакета мінус мінімальна затримка пакету протягом короткого періоду часу.
	Накладні витрати	Додаткові пакети управління в мережі
	Вартість	Кожна мережа надає своїм користувачам певні послуги, які зазвичай стягуються з витрат.
Доступні RAT	Вподобання користувача	Це пов'язано з компромісом між ціною та якістю, запропонованим певною технологією,
	Відстань	Це відстань між поточним положенням мобільного терміналу та зоною покриття заданої цільової RAT.
	Покриття	Це очікувана відстань, на якій термінал матиме покриття RAT
	Швидкість передачі в RAT	Це оцінка швидкості передачі бітів, яку мобільний термінал може отримати при передачі в RAT.
	CPICH Ec/No	Його можна визначити за отриманою енергією на чіп, поділеною на щільність потужності в діапазоні.
Оператор	Дохід	Максимізація доходу повинна враховувати мережевих провайдерів.
	Ресурс	Оскільки ресурси обмежені, управління ресурсами, особливо в мультимедійних програмах, стало критичною проблемою в бездротових мережах.
Користувач	Бюджет / Вартість	Користувацький бюджет, витрачений на використання мереж
	Краща мережа	Вибір користувача
	Безпека	Рівень безпеки, адаптований для користувача
	QoE	Quality of Experience. Якість досвіду
Термінал	Швидкість / Швидкість	Швидкі послідовні передачі передач можуть призвести до великих накладних витрат сигналізації та затримки відповіді.
	Втручання	Технології, доступні пристроєм

	Витрата акумулятора	Мережа з меншим споживанням енергії може призначити хендовер
	Місцезнаходження	Це критерій вибору між двома співіснуючими технологіями з прийнятними рівнями сигналу.
	Рух	Позначає зміни напрямку руху.
VHO	Кількість VHO	Передача вважається надлишковою, коли передача назад до фактичної точки доступу та кількості подібних передач передачі повинна бути зменшена (ефект Пінг-Понга).
	Рівень успіху VHO	Співвідношення VHO подій успішно виконано
	Затримка VHO	Затримка VHO = збір затримки + рішення про затримку + виконання затримки.
	QoS	Включає тип послуги та її можливості та якість обслуговування.

Таблиця 2.3. Методи вирішення вертикальних передач на основі одношарового проектування

Метод	Переваги	Слабкі місця
Одношаровий	SCTP може швидко визначити втрату пакету; Контроль застійності; Фрагментація на транспортному шарі	SCTP використовує комплексну 32-бітну контрольну суму CRC32c, яка дорога з точки зору часу процесора.
	Забезпечте необхідну підтримку передачі обслуговування	Потрібна оновлення транспортного рівня та додатків як на мобільних хостах, так і на Інтернет-серверах. Отже, вартість розгортання все ще занадто висока, щоб стати здійсненною
	Поліпшення продуктивності	Відсутність уваги щодо налаштування інформаційного сервера; Не управління в MIIS
	Успішні передачі; Інтелектуальний вибір мережі	Висока витрата ресурсів, отримуючи поточну інформацію

		про стан мережі Даремно в мінливому бездротовому середовищі
	Зосереджено на мережі та терміналах	Складність обчислень
	Підвищена енергоефективність мобільного пристрою кінцевого користувача, зберігаючи при цьому хороший рівень якості сприйнятого користувачем	Не створюється вага ефективних параметрів NS
	D-PMIPv6 може підвищити продуктивність з точки зору вартості доставки пакетів	Не підходить для плоских архітектур
	Рішення є реалістичним та не дуже складним для реалізації у сучасних мобільних пристроях та мережах Підтримуйте зв'язки; Максимізуйте пропускну здатність користувача.	Не враховується місцезнаходження користувача Не враховуйте деталі інтеграції в мережу, а також управління передачею
	Оптимальний вибір мережі	Непідтримка на однаковому рівні якості для потоку пакетів під час та після передачі обслуговування.
	Можна легко реалізувати; запропонована схема краще працює для вертикальної передачі вниз; Уникає втрати пакетів	Не враховуйте обмін репутаційною інформацією.
	Запобігати деяким нападам пакетів	

Етап прийняття рішень є життєво важливим етапом процесу VHO, оскільки він вибирає найбільш підходящу мережу для задоволення як потреб користувача, так і систем. Багато запропонованих алгоритмів VHO можна знайти в літературі про сумісність. В основному, три етапи становлять етап прийняття рішення: 1. Вибір параметрів. 2. Управління параметрами та 3. Збір параметрів. На першому кроці для вибору враховуються лише ті параметри, які використовуються алгоритмом для оцінки та зважування кандидатського з'єднання. На другому кроці всі параметри нормалізуються;

об’єднання значущих параметрів, що містять дифузну інформацію, здійснюється за допомогою ряду методик, таких як нечітка логіка, нейронні мережі та певні функції для вилучення відповідних даних. На останньому кроці алгоритм агрегує та оцінює вагу кожного параметра на основі критеріїв рішення та вибирає найбільш відповідного кандидата. Цей триетапний процес застосовується до більшості запропонованих підходів, але автори зазвичай змінюють цей процес, щоб він краще відповідав своїм потребам7.

Пропоновано кілька протоколів для бездротових систем на базі NG, що базуються на IP. Ці методи намагаються підтримати процес вертикальної передачі з різних шарів еталонної моделі стека протоколу TCP / IP. Ми класифікуємо ці способи рішення вертикальних передач на наступні категорії:

Одношарові методи прийняття рішень

• Методи прийняття рішень на основі шару додатків.

• Методи прийняття рішень на основі транспортного шару.

• Методи прийняття рішень на основі мережевого рівня (методи 3 рівня).

• Способи прийняття рішень на основі шарів зв'язку (методи 2 рівня).

Методи прийняття рішень на основі крос-шару

Методи рівня додатків забезпечують функції, пов'язані з передачею на рівні додатків. Перемістивши обробку мобільності на прикладний рівень, можна усунути необхідність тунелювання потоку даних. Крім того, управління передачею передач на рівні додатків означає, що його можна легко встановити, що дозволяє найпоширенішому мобільному додатку, голосовому, користуватися мобільністю до широкомасштабного впровадження мобільного IP Методи мережевого рівня забезпечують функції, пов'язані з мобільністю, на рівні IP. Тригер передачі генерується

шаром зв’язку в мобільному вузлі та отримується мережевим рівнем мобільного вузла (вертикальне спрацьовування). Методи шару зв'язку забезпечують особливості, пов'язані з мобільністю, в базових радіосистемах. Вони забезпечують безперебійну комунікацію, коли мобільні термінали (МТ) змінюють позиції в межах маршрутизатора доступу. Для керування передачею кадрів в основному пропонуються способи міжшарового рівня. У цьому огляді ми переважно зосереджуємось на поперечному шарі (шар 2 + 3). Вони спрямовані на те, щоб досягти передачі рівня 3 за допомогою рівня 2. Заздалегідь отримуючи звіти про потужність сигналу та інформацію про виявлення руху з шару зв'язку, система може добре організувати передачу мережевого рівня, щоб усунути втрати пакету та передачу передачі. затримка знижується.

Таблиця 2.4. Пропонована класифікація методів рішення щодо вертикального передачі.

Методи прийняття рішень VHO				
Класифікація на основі різних шарів TCP \ IP				
На основі одношарових				На основі поперечного шару
На основі транспортного шару	На основі мережевого рівня	На основі шару посилання	На основі шару додатків	шар 3 + шар 2 способів

У запропонованій класифікації класи класифікуються на основі різних шарів, які відповідають за ініціювання рішення про передачу. На основі шару, використовуваного для обробки вертикальної передачі, методи прийняття рішень VHO можна класифікувати наступним чином: Одношарові та способи прийняття рішень між шарами. Кожен з класів прийняття рішень про передачу допомоги для вертикальної мобільності в бездротових мережах

обговорюється окремо. Надалі, підсумовується кожен метод прийняття рішень VHO, потім описується кожен з підкласів.

2.3.1 Методи прийняття рішень на основі одного шару

На основі підтримується IP-тунель між кожним MH і HS таким чином, що всі комунікаційні рівні додатків пов'язані з інтерфейсом тунелю замість будь-яких реальних фізичних інтерфейсів. Це забезпечує прозорість передачі даних для додатків верхнього рівня. Трестіан та ін. запропонували метод HC, який використовує мультипликативне зважування експонентів як метод балів у повторній кооперативній ігровій моделі. Серед різних критеріїв, розглянутих у стратегії, орієнтованій на користувачів, щодо прийняття рішень щодо VHO, переваги користувача щодо ціни та якості є найбільш помітним параметром політики. Модель, запропонована в10, заснована на рішенні передачі, оціненому з точки зору користувача з точки зору найбільш зручного передачі даних, відповідного конкретним потребам користувача. Автори запровадили дві політики передачі даних, які могли б встановити порогове значення між мережами GPRS та WiFi: 1. Мобільний термінал ніколи не залишатиме GPRS-з'єднання без відключень підключення та 2. Алгоритм шукатиме лише точки доступу Wi-Fi на кожній з відключення з'єднання.

2.3.2 Методи прийняття рішень на основі транспортного шару

Zekri та ін. пропонують рішення управління VHO, що поєднує використання репутації як показника якості досвіду (QoE) для швидкого прийняття рішень. Користувачі, висловлюючи свій досвід, система агрегувала індивідуальний бал, щоб надати значення репутації для мереж WiFi, WiMAX та UMTS.

SIGMA- це механізм мобільності транспортного шару на основі SCTP, подібний до MSCTP. Він був розроблений як комплексне рішення щодо

передачі, яке не потребує будь-якої інфраструктурної підтримки. Ключова проблема SIGMA полягає в тому, що він не враховує жодних параметрів QoS під час прийняття рішення про передачу. Деякі підходи пропонують нові протоколи транспортного рівня, такі як SCTP13 та TCP-MH14 для забезпечення необхідної підтримки передачі. Протокол передачі управління потоком (SCTP) - це стандартний протокол транспортного шару для Інтернету IPv4 та IPv6. Механізми безпеки, які зазвичай використовуються в транспортних протоколах, відносно слабкі, подібні до випадкових початкових номерів послідовностей у TCP.

2.3.3 Методи прийняття рішень на основі мережевого рівня (методи 3 рівня)

Автор пропонує розділити функціональність якоря локалізованої мобільності (LMA) PMIPv6 на два різних вузли: контрольну площину LMA (CLMA) та площину даних LMA (DLMA). Перший підтримує сеанси мобільності для MH, тоді як другий є якорем для трафіку MH. CLMA також призначає MH найбільш підходящу DLMA. Це дослідження показало тягар LMA, але, як правило, не підходить для плоских архітектур, оскільки захищена ієрархія DLMA / MAG, а також тунелі, які встановлюються протягом усієї тривалості сеансу даних. Однак, у дослідженні представлено режим роботи, за допомогою якого, якщо MN та CN знаходяться під адміністрацією одного і того ж CLMA, може бути налаштована оптимізація маршруту між відповідними MAG.

Беручи до уваги складність майже всіх стратегій, нещодавно представлені пропозиції включають підходи до обміну досвідом з метою зменшення затримок та витрат на процедури VHO. Іншим підходом, корисним у сценаріях співпраці та прийнятті рішень, є метод систем репутації, який нещодавно вивчався та застосовувався у бездротовому середовищі, зокрема в мобільних спеціальних мережах, бездротових мережевих мережах та Інтернет-мережах однорангових однорангових мереж.

Беручи до уваги складність майже всіх стратегій, нещодавно представлені пропозиції включають підходи до обміну досвідом з метою зменшення затримок та витрат на процедури VHO. Іншим підходом, корисним у сценаріях співпраці та прийнятті рішень, є метод систем репутації, який нещодавно вивчався та застосовувався у бездротовому середовищі, зокрема в мобільних спеціальних мережах, бездротових мережевих мережах та Інтернет-мережах однорангових однорангових мереж.

Nguyen та ін. представив неоднорідний процес передачі даних, який повністю контролюється терміналом, і де вибір мережі орієнтований на користувача, енергозберігаючий, економічний та економічний. Загальне управління мобільністю, включаючи управління інтерфейсом, прийняття рішення та виконання передачі даних, також є докладною. Як правило, система управління мобільністю включає два найважливіші елементи: фазу управління рішеннями про передачу та фазу виконання передачі. Ці дві фази повинні бути виконані за короткий час, щоб дозволити доступ до мобільного вузла в будь-якій точці доступу, до якої він хоче перейти.

2.3.4 Методи прийняття рішень на основі шарів (методи другого рівня)

Еммелманн та ін. запропонували дизайн та прототип безшовного механізму передачі передач для швидкісних транспортних засобів з використанням динамічного таймеру зупинки. Ця схема розроблена для мереж IEEE 802.11 і спрямована на зменшення затримки передачі обслуговування телеметричних послуг. Пропонований прототип складається з мікроклітинних та макроклітинних областей покриття, які працюють на одних і тих же частотах. Запропоновані фази передачі даних можуть зменшити загальну затримку передачі. У 18 році дослідник також ввів швидку схему L2 для горизонтальних передач. Використовуючи цей метод, час сканування скорочується за рахунок використання інформації про кандидатську точку вкладення. Підвищення ефективності цієї схеми було підтверджено за результатами моделювання.

Метод Аналітичного Ієрархічного Процесу (AHP) заснований на наданні користувачам адекватних послуг (у будь-який час та в будь-якому місці), мережеві додатки та сервіси повинні бути обізнані з їхніми контекстами та повинні автоматично адаптуватися до їх змін.

Автори статті застосували Аналітичний ієрархічний процес (AHP) для ініціалізації функції посилення впровадження. AHP готує логічну та всебічну основу для прийняття рішень, коли задіяно кілька критеріїв. AHP зазвичай включає чотири етапи. На першому етапі моделювання процесу прийняття рішення вимагає, щоб AHP побудував для нього ієрархію. Основні фактори лежать на другому рівні, і наявні базові станції складають нижні вузли. На другому кроці всі наявні вузли, що існують на третьому рівні, пов'язані парами по відношенню до кожного фактора, що лежить на другому рівні. Результат кожного порівняння визначає числове відношення вимірювання кожного фактора. Третій крок був призначений для обчислення нормалізованого Ейгенового вектора вихідної матриці, який показує ваги елементів. І нарешті на четвертому кроці ваги різних елементів на всіх рівнях агрегуються, і в кінцевому підсумку підраховується продуктивність. Це дослідження було проведено зосереджено на вертикальних передачах між технологічним шаром на ланці зв'язку. Кілька основних проблем впливають на вертикальні передачі, наприклад, випадковість мобільності користувача, великі витрати на передачу та вимоги до оптимальності. Це дослідження використовує схеми мобільності користувачів, які можуть призвести до високоефективних рішень про передачу даних в довгостроковій перспективі.

Автор пропонує новий алгоритм, орієнтований на користувача для вертикальної передачі, який поєднує тригер для постійного підтримання зв'язку та інший для максимальної пропускної здатності користувача (з урахуванням якості зв'язку та поточної навантаження комірки). Вони показали, що пропускна здатність шару 2, досягнута MS, як функція

співвідношення навантаження між WiFi та WiMAX, для різних значень SINR з'єднання WiFi.

2.3.5 Методи прийняття рішень на основі перехресного шару (методи 3 рівня + 2 рівня)

Mohanty та ін. запропонував алгоритм прийняття рішень щодо передачі з бездротової локальної мережі (WLAN) в мережі 3G на основі порівняння поточного рівня RSS та динамічного значення порогу RSS у сценарії, коли підключена мобільна мережа до точки доступу до бездротової мережі. Використання динамічного порогу RSS сприяє зменшенню кількості непотрібних передач, а також зберігає кількість відмов передачі даних за попередньо визначеним лімітом. Моханті та ін. показав, що ймовірність відмови передачі збільшується у випадках, коли використовується фіксоване значення порогу RSS та спостерігається підвищення або затримки сигналізації швидкості, або затримки передачі.

Затримка потоку пакетів збільшується через використання збільшених показників тривалості життя через погані канальні умови. Це важливо для додатків у режимі реального часу, і в кінцевому рахунку погіршує їх загальну продуктивність. Для вирішення цих питань Park et al.22 запропонував застосувальну схему для зняття QoS мультимедійних потокових служб. Вони зробили це за рахунок скорочення часу сканування каналу та кількості каналів, що беруть участь у кожному скануванні. Для отримання адаптивного рішення вони змінили метод сканування відповідно до типу програми. Для програм, що втрачають пакети та залежать від затримки, таких як голосовий зв’язок через IP, вони збільшили частоту каналу та тривалість повторного сканування, але це також збільшило споживання енергії акумулятора. Автор 22 представив архітектуру, яка пропонує використовувати інформацію про місцеположення та перехресний шар для запуску вертикальних передач.

Вони порівнювали два алгоритми хэндовера з точки зору того, як різниці в ефективних швидкостях передачі даних, термінальній швидкості та величині затримки передачі впливають на середню пропускну здатність у регіоні, як у сценаріях переміщення, так і при переміщенні.

Автор 23 запропонував схему передачі даних на основі вдосконаленого мобільного IP, що використовує інформацію L2 для прийняття рішень про передачу даних (таких як RSS, смуга пропускання та індикатор посилання), оскільки інформація L2 постійно доступна і може надавати дані в сусідніх мережах доступу. У запропонованому алгоритмі звичайні складові мобільних IP-повідомлень модифікуються, щоб зменшити коефіцієнт затримки та втрати пакетів.

In24 Ben-Jye Chang та Jun-Fu Chen пропонують RSS-підхід на основі багатошарового прогнозування поліноміальної регресії з використанням оптимального вибору мережі для вибору мереж для передачі обслуговування в гетерогенних бездротових мережах. Однак немає часу на час перевірки стану порівняння RSS, щоб уникнути ефекту пінг-понгу, а обчислення Маркова процесу залежить від кількості мереж WLAN.

Крім того, стандарт MIH, визначений у специфікації IEEE 802.21, підтримує вертикальні передачі передач через неоднорідні мережі. Час перебоїв у сервісному обслуговуванні може бути значно скорочено за допомогою швидкого L2 HO. Команди переносять рішення верхнього рівня на нижні шари локальної сутності пристрою або у віддалену сутність. Функції MIH реалізовані між Data Link та мережевим рівнем, як у мобільному пристрої, так і в основній мережі. Автор запропонував механізм передачі даних на основі якості, використовуючи переваги ANN. Вони використовували параметр коефіцієнта успішності пакетів як оцінювач посилань замість RSS для прийняття рішення про передачу. Це пояснюється тим, що рівень успішності пакету допомагає зменшити затримку передачі. ANN допомагають вивчати поведінку мережі та функцію кореляції між

мережевими об'єктами для їх відповідних контекстів, таких як довжина пакету, SINR, RSS та кількість підключених користувачів мобільного зв'язку до конкретної точки доступу. Під час цього етапу навчання деякі зразки вимірювання збираються та пізніше узагальнюються для прийняття рішення про передачу в будь-якому сценарії. Це допомагає зменшити затримку обробки рішення про передачу та загальну затримку передачі. Втрати пакетів також обмежуються певним рівнем, використовуючи різні функції ANN.

Кан та ін. представив нечітку логічну схему для прийняття рішення про передачу даних. Вони використовували велику кількість параметрів як контекстну інформацію для розробки свого автономно-орієнтованого підходу, такого як QoS, вартість, переваги користувача та тип послуги та рівень акумулятора.

Вони визначили дві показники для оцінки можливостей майбутньої точки вкладення: 1. Значення прийняття точки доступу (APAV) та 2. Значення задоволеності точки доступу (APSV). Ці показники допомагають мобільному вузлу краще вибрати майбутню точку вкладення.

Аділін та Анандхайн запропонували орієнтований на користувача підхід для контролю хендоверу між гетерогенними мережами. Цей метод включає управління мобільністю, яка повністю керується терміналом, а вибір мережі орієнтований на користувача, економний енергоносій, усвідомлення знань та продуктивність. Однак вони не згадували, як досягаються запропоновані показники передачі; крім того, вони базували етап виконання передачі даних лише на мобільному IPv6. Крім того, протокол не можливий для будь-якої бездротової мережі.

В іншій подібній техніці автором було розроблено налаштування моделювання за допомогою мережевого симулятора NS2 для оцінки ефективності їх методу. WiMAX і точка WiFi приєднання 1000 м і 50 м

покриття відповідно склали їх імітаційне середовище. У систему також було інтегровано багатоінтерфейс із двома відео- та аудіоприкладами, який може проходити через вищевказаний діапазон із середньою швидкістю між 5 та 25 м / с. Результати моделювання показали, що запропонований спосіб зменшив майже половину затримки передачі обслуговування з FMIPv6 для відео- та аудіо-додатків. Розширення, запропоновані в цьому документі до IMS, дозволили MN підтримувати прозорий хендовер для програм кінцевих користувачів. У цій новій архітектурі будь-які дзвінки до нижніх шарів для відновлення

IP-адреса MH отримує назад приватну / циклічну IP-адресу. Крім того, TRIM впроваджує два нових функціональних об'єкти в термінал IMS: менеджер передачі та перекладач адрес.

Іоанніс та ін. Пропонують метод вибору та прийняття рішення. використання нечіткого TOPSIS для того, щоб знайти найкращий баланс між мережевими ресурсами та усунути конфлікти в процесі вибору мережі в неоднорідних бездротових мережах. Автори використовують різні параметри у функції утиліти, такі як мережеві умови, QoS, енергія та переваги користувача для вибору оптимальної мережі з точки зору енергоефективності для додатків у режимі реального часу та не в реальному часі. Ця функція також допомагає нормалізувати процес прийняття рішення про передачу, усуваючи існуючу проблему невідповідності ранжування мереж, де є декілька мереж.

Cheng та ін. запропонував схему рішення VHO на основі QoS, враховуючи наявну пропускну здатність та налаштування користувача для визначення напрямку передачі передачі від WLAN до WAAN та зворотного. Вони обговорили архітектуру інтегрованих мереж WLAN та WAAN на основі мобільного IPv6. Коли мобільний вузол підключений до WLAN, запропонована схема ініціюється шляхом перевірки стану терміналу та порівняння рівня RSS з попередньо визначеним порогом. Якщо мобільний

вузол знаходиться в режимі очікування, тоді здійснюється передача в бік бажаної мережі доступу; в іншому випадку тип заявки вважається для прийняття рішення про передачу. У цьому дослідженні пропонується вертикальна інтеграція схем управління мобільністю шарів 2 та 3 HiMIPv6 +. Селектор мережевого інтерфейсу, розташований між рівнем програми та рівнем MAC, співпрацює з агентом маршрутизації (агентом RT) для прийняття рішення про перемикання мережевого інтерфейсу і запускає вертикальне передачу передачі через алгоритм вертикальної передачі.

Згідно з іншим дослідженням, безперебійна мобільність та роумінг мають велике значення в неоднорідних бездротових мережах. Зокрема, горизонтальні та вертикальні передачі передач повинні підтримувати функції ABC та ABS, щоб забезпечити оптимальні персоналізовані мобільні послуги. Автори запропонували інноваційний метод прийняття рішення про передачу даних для підтримки ABS на основі переваг кінцевого споживача та інформації про контекст. Цей метод вводить персоналізовану техніку прийняття рішень щодо передачі, щоб знайти точку доступу, яка здатна найкращим чином виконати вимоги кінцевих користувачів у певному контексті. У цьому документі пропонується архітектура передачі подій на основі міжшарового рівня та механізм класифікації QoS після дослідження затримок пізнього або раннього зв’язку, пов'язаних з дослідженням передачі передач.

Запропонований механізм зменшує втрати пакетів та затримку передачі передачі. Джо і Шін запропонували новий алгоритм прогнозування, заснований на мобільності, який використовував динамічну інформацію LGD, щоб викликати вертикальний хендовер, використовуючи інформаційний сервер IEEE 802.21 MIH. Цей алгоритм може передбачати мобільні термінали можливої області переміщення на основі інформації про рухливість (швидкість руху, координати, місцезнаходження, виявлення руху тощо) на інформаційному сервері. Оскільки можливий алгоритм руху

визначає наступну цільову клітинку, якій слід призначити передачу, вона може динамічно рухатися вперед тригерною точкою LGD, щоб заздалегідь підготуватися до передачі. Результати аналізу показали, що цей алгоритм зменшив затримку передачі на MIPv6 та швидку передачу на FMIPv6 за рахунок переміщення тригерної точки LGD вперед.

У цьому дослідженні при застосуванні запропонованого алгоритму затримка передачі передач зменшилася більше.

Оскільки заздалегідь було проведено сканування каналів, процедура аутентифікації передачі L2 та процедура DAD передачі L3.

MIH - це проміжне програмне забезпечення для різнорідних мереж, яке має набір протоколів та механізмів, що дозволяє інтегрувати технології IEEE або не IEEE, забезпечуючи при цьому як вертикальні, так і горизонтальні передачі. Однак, лише MIH не в змозі забезпечити або підхід ABC, або якість забезпечення якості для відеороликів через бездротові клієнти. Рой та ін.34 запропонували інтегрований стек протоколів, завдяки якому поєднання двох модулів, а саме загального шару віртуального посилання (GVLL) та MIH, розміщується над рівнем управління доступом до засобів масової інформації, який включає в себе і контроль доступу до медіа WLAN та WiMAX. . Проаналізовано вплив загального шару віртуального зв'язку на забезпечення якості QoS на погіршення якості QOS та вплив MIH на досягнення безперебійної передачі даних.

Чжу та Макнейр запропонували кілька алгоритмів прийняття рішень VHO, які покладаються на функцію витрат, яка використовується для обчислення вартості можливих цільових мереж порівняно з наявними. Запропонована функція витрат складається з усіх запущених програм, а вартість кожної мережі-кандидата розраховується з використанням відповідних параметрів програми. Загальна вартість мережі-кандидата розраховується, використовуючи суму вартості доступних параметрів QoS,

таких як пропускна здатність, витрата акумулятора та затримка мережі. Користувач мобільного зв'язку передається в мережу, яка пропонує найменші витрати на максимальну кількість послуг.

Функція прийняття рішень на основі множинних атрибутів (MADM) класифікує мережі відповідно до потреб користувача для відповідного вибору мережі. Тавіл та ін. , що поєднують MADM та прості методи адекватного зважування, запропонували розподілений алгоритм прийняття рішень щодо VHO. Вони трактували процес прийняття рішень як проблему MADM, використовуючи функцію оцінки. Функція оцінки консолідує набір параметрів продуктивності, таких як умови мережі, пропускна здатність мережі, грошові витрати, енергоспоживання, затримка передачі та безпека мережі

Автори визначили ряд проблем оптимізації в області вибору доступу та розподілу ресурсів в NGWN. Функції утиліти є підходящим інструментом для відображення задоволеності користувачів від запропонованих QoS, стосовно деяких заздалегідь визначених вимог QoS. У цій роботі функції корисності базуються на виділеній швидкості. Вони проаналізували частини, що складають такі проблеми оптимізації, разом з можливими варіаціями виду задіяних параметрів, і поєднали ці варіації в деяких цікавих випадках. Усі ці проблеми досить схожі з відомими важкими проблемами NP, такими як Рюкзак та Загальна проблема призначення.

Автор запропонував алгоритм прийняття рішень VHO для різнорідних бездротових мереж. Запропонований процес прийняття рішень здійснює наступні кроки: Нормалізація ваг фактора рішення, побудова матриці переходу зважених ланцюгів Маркова, обчислення стаціонарного вектора розподілу та вибір доступної мережі. Більш висока ефективність цих підходів була показана в плані затримки порівняно з TOPSIS.

У дослідженні, проведеному у виконанні прогнозованого тригера L2, використовуючи переваги декількох методів, заснованих на авторегресивній інтегрованій ковзній середній величині та поліноміальній регресії з використанням алгоритму гістерезису. Цей підхід включає процедуру, що складається з двох фаз. Перша фаза складається з прогнозного RSS, який спирається на поліноміальну регресію у вигляді алгоритму гістерезису, який передбачає, наблизиться чи відступає мобільний вузол від бездротової мережі під моніторингом. Другий етап присвячений визначенню оптимальної цільової мережі, в яку потрібно подати руку. Часове ускладнення запропонованого підходу можна проаналізувати як O (N) або O (M), де N і M - кількість WLAN та WMANs відповідно. Числові результати показали, що запропонована схема виконується набагато краще, ніж інші підходи щодо кількості вертикальних передач та суми зваженого класу обслуговування, в той час як свідчить про конкурентне використання.

Автор запропонував алгоритм прийняття рішень VHO для різнорідних мереж бездротового доступу. Проблема виражалася як MDP, в якому функція винагороди посилання розглядається на основі додатків, які потребують QoS. Автор запропонував рішення повністю керованої терміналом мобільності в гетерогенних мережах. Вони також запропонували функцію винагороди, яка була побудована для оцінки QoS під час кожного з'єднання, та методів G1 та ентропії, застосованих ітеративно, за допомогою яких вони могли розробити стаціонарну детерміновану політику прийняття рішення.

Хаддад та ін. запропонував основу для прийняття рішень вертикальної передачі в когнітивних мережах різнорідних характеристик. Автори моделювали цю проблему як нечітке Q-навчання Неша-Стаккельберга. У цій моделі мережа відіграє роль лідера, який намагається максимізувати свій дохід, а мобільні вузли - це лідери груп, які прагнуть підвищити свій рівень якості. Основні цілі - це реалізація двох частин: Як використовувати

архітектуру міжшарового шару, яка несе інформацію про повторний кадр без погіршення продуктивності системи та як переключити режим передачі для зв'язку VoIP.

Відповідно, у процесі швидкого швидкого передачі даних мобільний вузол може надсилати оновлення швидкого зв’язування лише після приєднання до нового маршрутизатора доступу. Вони розробили комплексне міжшарове рішення.

Для зменшення ймовірності блокування з'єднання та ймовірності випадання передачі передачі було введено метод прогнозованої передачі даних. Автори запровадили новий підхід, переданий під назвою "груповий прогнозування" із запозиченням каналів для груп користувачів за допомогою мобільної ретрансляційної станції, встановленої на великих транспортних засобах, таких як легка рейка або автобус. Введена схема використовує дані про місцезнаходження та напрямки для прогнозування цільової базової станції та попереднього повідомлення базової станції щодо інформації про з'єднання користувача, щоб ефективно знизити ймовірність блокування з'єднання та припинення передачі передачі. Результати моделювання тісно відповідали результатам системного аналізу.

Підхід на міжшаровому рівні для виконання вертикальних передач на основі тригерів MIH також є новим у сфері підходів, орієнтованих на користувача, передачі даних. Інформація береться з рівня контролю доступу до носія, транспортного шару та рівня програми для запуску хендовера.

Автори запропонували теоретичну основу для поєднання систем, заснованих на репутації, теорії ігор та механізму вибору мережі. Вони визначили коефіцієнт репутації мережі, який відображає попередню поведінку мережі при наданні гарантій послуг користувачеві. Використовуючи так звану гру дилеми ув'язнених, вони моделювали взаємодію користувачів користувачів як гру спільної гри, і вони показали,

що, визначаючи стимули до співпраці та перешкоджаючи недолікам гарантій обслуговування, повторна взаємодія може підтримувати співпрацю. Репутація мережі обчислюється на основі виплат користувача.

Автори представили систему рейтингу VHO на основі репутації, запропонувавши використовувати сіру модель першого порядку однієї змінної (GM (1, 1)). Запропоноване ними рішення забезпечує швидке та ефективне прогнозування оцінки репутації цільової мережі в ході прийняття рішень щодо передачі.

2.4Порівняльний аналіз запропонованої класифікації

У попередньому розділі була представлена та обговорена наша класифікація схем прийняття рішень. Схеми були розділені на дві групи та описані кандидатські алгоритми для процесу прийняття рішення про передачу. У таблиці 2.7 описано загальне порівняння обговорюваних груп на основі їх

особливості стосовно наступних аспектів: Мережеві технології, за якими вони можуть бути застосовані, врахування користувача, багатокритеріальність, підтримуваний рівень, гнучкість та складність. Оскільки підтримувані шари, використовувана техніка та застосованість домену відіграють важливу роль у процесі передачі, ці критичні аспекти обговорюються більш детально.

Збір достовірної інформації для процедури прийняття рішення є важливим для процесу VHO. Як правило, необхідна інформація повинна збиратися на всіх рівнях стеку протоколів, щоб можна було охопити всі можливі джерела інформації. Різні пропозиції, що стосуються цієї фази, ґрунтуються на моніторингу шарів. У цьому дослідженні ми здебільшого розглядали поперечний шар (шар 2 + 3). Однак ми розглянули інші підходи до дизайну міжшарового шару, наприклад, який використовував архітектуру

міжшарових шарів. Також в34 архітектура міжшарових конструкцій, розроблена на транспортному, MAC-шарі та шарах додатків.

Автори зробили класифікацію рішень для управління мобільністю наступним чином:

• Рішення, що стосуються мережевого рівня (рішення L3)

• Рішення для шару зв'язку (рішення L2)

• Рішення, що стосуються міжшарових (рішення L3 + L2)

Автори надали рішення мережевого рівня з особливостями, пов'язаними з мобільністю на рівні IP. Вони також пропонували міжшарові рішення, головним чином для управління хендовером. Ці рішення дотримуються мети досягти передачі L3 за допомогою L2. Передусім, отримуючи звіти про потужність сигналу, а також дані виявлення руху від рівня зв'язку, система буде краще підготовлена до передачі мережевого рівня. Отже, втрати пакетів будуть усунені, а затримка в хендовері зменшиться. Робота у запропонованих модулях рівня посилання, які реалізують функцію моніторингу. Seigneur та ін. використовував інтерфейс програмування додатків в іншій операційній системі для контролю пристроїв та мереж для дослідження впливу експозиції на спрацювання VHO. У той же час необхідні ефективні методи управління розташуванням для визначення профілю мобільності користувача для сприяння процесу прогнозування мережевого рівня.

Протокол проміжного програмного забезпечення MIH Function, запропонований IEEE 802.21, здатний інкапсулювати різні мережі, що лежать в основі технологій (наприклад, 802.3, 802.11, 802.16, 3GPP і 3GPP2) до вищевказаних шарів, що дозволяє процесу управління передачею функціонувати без залежності від інших шарів, таких як фізичний та зв'язковий шари.

У літературі ми можемо знайти кілька пропозицій VHO. Деякі з них враховують,

безпосередньо, завдання прийняття рішень про передачу, розглядаючи лише інформацію нижнього рівня, надану незалежною інформаційною службою засобів масової інформації; Більшість пропозицій поєднують показники та параметри різноманітних компонентів для створення точного алгоритму передачі міжшарового рівня. У цьому огляді ми детально описували алгоритми кандидатів для процесу прийняття рішень про передачу даних на основі активності кожного рівня стеку протоколів.

Порівняння рішень мережевого рівня проводиться на основі різних критеріїв. Усі рішення намагаються локалізувати більшість трафіку сигналізації в одному домені, щоб зменшити глобальну сигналізацію. Розроблені на основі інтелекту методи використовують перевагу надійного пересилання IP-адрес. Дійсно, чітко описано, що управління транспортним шаром є найсильнішим підходом для управління хендовером у такому середовищі.

Підтримка мобільного зв'язку для міжсистемного роумінгу потребує додаткових взаємодіючих структур для обміну інформацією між різними системами. Відповідно до всіх запропонованих методів, нові методи розроблені для управління міжсистемним розташуванням. Всі запропоновані методи підключені до суб'єктів управління мобільністю в окремих системах, забезпечують перетворення формату та переклад адрес.

Рішення для мобільності існують для всіх основних шарів протоколу. Протоколи мобільності на рівні зв’язку уникають змін IP-адреси. Протоколи мережевого рівня (наприклад, мобільний IP) приховують їх від шарів вище. Протоколи мобільності транспортного рівня підтримують постійний зв'язок між двома кінцевими точками через зміни адреси. Протокол підтримки мобільності вищого рівня, сеансу та додатків (наприклад, SIP), який не

підтримує управління передачею. Крім того, ці протоколи відновлюють з'єднання транспортного рівня після зміни адреси. Всі ці рішення мають свої переваги та недоліки.

Як було описано раніше, крос-шарові рішення в основному пропонуються для методів управління хенд-фунтом. Запропоновані рішення міжшарових рівнів показують, що співпраця між шарами мережі та зв'язку здатна підвищити ефективність управління мобільністю в гетерогенному середовищі зв'язку на базі IP. Інформація з рівня зв'язку, наприклад, сила сигналу та швидкість мобільних терміналів, може допомогти прийняти рішення щодо методів управління мобільністю на мережевому рівні. Тому міжшарова оптимізація управління мобільністю гідна подальшого дослідження.

2.4.1 Техніка роботи

У цьому розділі ми порівняли ці вертикальні механізми вимірювання та прийняття рішень на основі застосованих методів та параметрів. У таблиці 2.5 ми представляємо задані стратегії, засновані на застосованих ними техніках.

Методи прийняття рішень на основі RSS

У методах прийняття рішень на основі RSS, критерій прийняття рішення про передачу, як правило, базується на значенні RSS. Можуть також використовуватися й інші критерії, але, як правило, вони призначені для надання допомоги процедурі передачі, а не безпосередньо залучені до процесу прийняття рішень про передачу. У алгоритмах прийняття рішень на основі RSS, RSS поточної точки вкладення порівнюється з RSS інших доступних мереж для прийняття рішення про передачу. Спочатку початкова мережа мобільного вузла для перевірки наявності кандидатських бездротових мереж у мікрорайоні виконує сканування. Потім їх рівень RSS вимірюється та порівнюється або з RSS поточної мережі або із заздалегідь

визначеним порогом RSS. Якщо ці вимірювання дають задовільний результат для RSS, тоді виконується передача даних; в іншому випадку процес повертається до фази виявлення мережі.

Таблиця 2.5. Застосовувана техніка

Техніка	На основі RSS	На основі мережевої розвідки	На основі QoS	На основі контексту	На основі функцій прийняття рішень	На основі користувачів
На основі RSS						
На основі мережевої розвідки						
На основі QoS						
На основі контексту						
На основі функцій прийняття рішень						
На основі користувачів						

Методи прийняття рішень на основі мережевої розвідки

Для підвищення ефективності передачі даних (з точки зору пропускної здатності, непотрібних передач та затримки передачі тощо) дуже важливо прийняти рішення про передачу даних розумно та вчасно. Концепція мережевої розвідки виникає, коли ми хочемо вирішити питання видимості інформації та розглянути мережевий трафік у режимі реального часу.

Методи прийняття рішень на основі QoS

У таких конвергентних системах синхронність різнорідних технологій доступу з різними особливостями, такими як вартість, пропускна здатність та зона покриття, випадає з асиметрією хендовера, що відрізняється від

традиційної горизонтальної передачі. Таким чином, вертикальні передачі передач повинні знати QoS.

Методи прийняття рішень на основі контексту

Контекст формально визначається як будь-яка інформація, що має відношення до ситуації суб'єкта (людини, місця чи об'єкта.). Однак, маючи на увазі комп'ютерні мережі в нашому погляді, це доставлення правильної та точної інформації кінцевим користувачам для прийняття рішення, і це дозволяє характеризувати мережі, які потребують однакового контенту, тобто мобільні користувачі за подібних обставин повинні отримати та сама інформація.

Методи прийняття рішень на основі функцій

У неоднорідних мережах з повсюдними засобами доступу процеси прийняття рішень і вибору стають складнішими, оскільки різні технології доступу зазвичай дають різні характеристики (підтримка QoS, схеми виставлення рахунків, надійність тощо). Прийняття рішень щодо передачі та правильний вибір мережі стає багатокритеріальною проблемою прийняття рішень, яка включає ряд параметрів і складних

компроміси між суперечливими критеріями. Функція прийняття рішень VHO - це вимірювання переваг, отриманих при переході на конкретну бездротову мережу.

Методи прийняття рішень, орієнтовані на користувачів

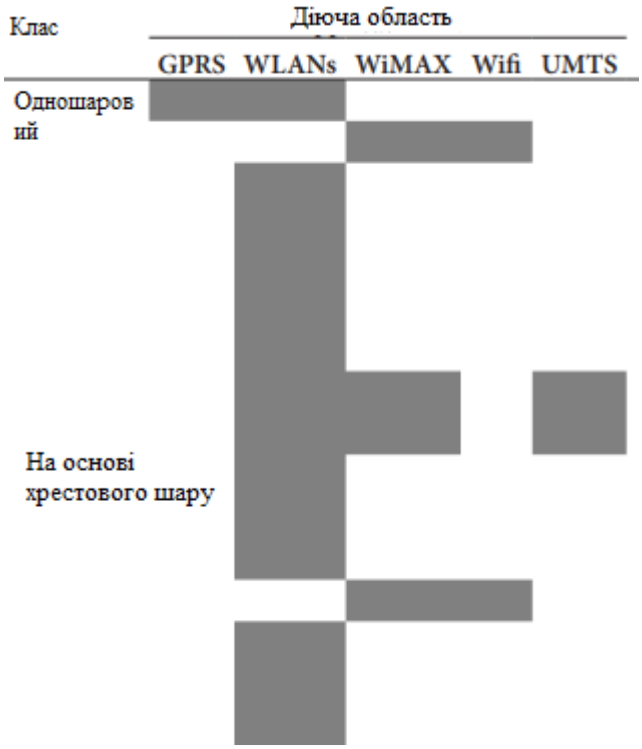
Користувальницькі стратегії в першу чергу стосуються задоволення користувачів, а не мережі. В цілому, ми ставимося до користувачів як до першої сторони, яка хвилює їх задоволення, і вони повинні вирішити самостійно компенсацію вартості QoS. Як видно з літератури, функції, орієнтовані на користувачів, пропонують критерії прийняття рішень щодо передачі та політики, які в основному орієнтовані на задоволення

користувачів та додатки в режимі реального часу. Вирішуючи найбільш підходящу мережу призначити передачу передачі так, щоб вона могла задовольнити задоволеність користувачів та ефективність мережі, необхідно враховувати ще кілька критеріїв, витягнутих з різних доступних мереж, а також більш досконалі методи. Деякі з цих методів пов'язані з уподобаннями користувачів з точки зору якості та вартості та можливостей терміналу.

2.4.2 Застосування домену

У таблиці 2.6 наведені технології, що застосовуються за допомогою різних механізмів. У цій таблиці наведено порівняння алгоритмів-кандидатів, які використовують UMTS, WiMAX, WiFi та Bluetooth в якості своїх технологій.

Таблиця 2.6. Застосування домену



Через обмеження 3G, такі як пропускна здатність, потреби в мультимедійних послугах, розподіл спектру та безперебійна мобільність,

недостатньо для підтримки майбутніх стратегій мобільного зв'язку; тому дослідження технологій 4G набрали обертів.

Існування різнорідних бездротових мереж для надання послуг у будь-якому місці в будь-який час є неминучою тенденцією розвитку мереж 4G. Тому існує значна необхідність у єдиному підході, який інтегрує та дозволяє мобільним терміналам безперешкодно переходити між мережами доступу.

Отже, більшість запропонованих схем зосереджена насамперед на оцінці існування VHO в WLAN. Більше того, мало досліджень зосередилось на оцінці VHO по Bluetooth. Серйозний недолік такого величезного різноманіття рішень полягає в тому, що жодне з них не пропонує єдиного однорідного підходу, який може бути адаптований до всіх наявних в даний час бездротових технологій. Науково-дослідницька спільнота, що відповідає конвергенції різних технологій бездротових мереж, зробила значні спроби. Наприклад, нещодавно обговорювались дослідники літератури про інтеграцію WLAN та стільникових 3G систем. Охоплення бездротовою мережею IEEE 802.11 поширюється на зони гарячих точок (наприклад, в офісах, готелях і на кампусах), здатних забезпечити більш широку пропускну здатність, але дешевше низьку мобільність; з іншого боку, у нас є стільникова мережа 3G, яка може перекривати мережу WLAN, вводячи більш дорогі низькі смуги пропускання з більшою мобільністю та ширшим покриттям. Отже, надмірно мережа, що складається з двох різних інтерфейсів, тобто WLAN та 3G стільникової мережі, може забезпечити оптимальне об'єднання більшої мобільності та більш широкої пропускної здатності.

2.5 Виконання передачі

Третя фаза процесу VHO зосереджена на виконанні. Виконання передачі даних, в основному, ґрунтується на заздалегідь запланованій процедурі, обов'язково враховує процедури впровадження та проблеми, щоб це могло мати найменші можливі перебої у відповідній інфраструктурі.

Після того, як інформація буде зібрана на першій фазі та оброблена на другій фазі шляхом вибору мережного кандидата, фаза виконання запустить оновлення зв'язування мережі. З цією метою цей етап стосується контролю, безпеки, сеансу та мобільності, серед інших питань, щоб здійснити безперебійну передачу даних.

2.6 Врахування користувача

Як видно, виходячи із запропонованої класифікації, усі дослідження зазвичай служать у неоднорідних бездротових середовищах, де мобільні користувачі відчувають різні мережеві умови. По суті, багатонавісний пристрій є критичною проблемою в неоднорідних бездротових середовищах, і ця проблема дуже добре адаптована за допомогою схем міжшарового рівня, де головна мета - сприяти мобільному користувачеві найкращим чином з точки зору QoS та QoE шляхом вибору мережі що найбільше відповідає його уподобанням. У таблиці 2.7 ми узагальнили наведені стратегії порівняно на основі різних характеристик, таких як гнучкість, врахування користувача, вибір кількох критеріїв та складність. За складністю одношарові механізми прийняття рішень дещо складні, оскільки їм потрібно зібрати та нормалізувати різні параметри мережі. Механізми прийняття рішень між шарами набагато простіші, ніж одношарові методи.

Вивчені механізми прийняття рішень щодо ВГО також порівнюються щодо їх гнучкості. Слід зазначити, що, схоже, впровадження методів міжшарових рівнів має високий рівень гнучкості у використанні політики VHO завдяки цьому класу, що демонструє більш широке використання та додаткові функціональні можливості. Крім того, цей клас намагається гарантувати високу гнучкість, необхідну в неоднорідному середовищі.

Крім того, врахування користувачів відіграє важливу роль у прийнятті рішень щодо VHO. Вподобання користувачів та задоволеність користувачів можуть бути сегментом розгляду користувача, і цей аспект явно тісно пов'язаний з класом перехресного рівня.

У таблиці 2.5 ми узагальнили задані стратегії, виходячи з їх застосовуваних методик. Надалі ми порівнюємо дані механізми на основі різних характеристик, таких як гнучкість, врахування користувача, вибір декількох критеріїв та складність. За складністю мережева розвідка та класи, що ґрунтуються на контексті, є складними, через те, що в мережевій розвідці та на основі контексту використовуються різні мережеві параметри, навпаки, класи на основі функціональних рішень є дещо складними, оскільки їм потрібно збирати та нормалізувати різні параметри мережі. Механізми прийняття рішень на основі QoS набагато простіші, ніж методи, засновані на розвідці, і можуть також мати справу з неточністю, оскільки вони мають глобальне бачення QoS, яке вже відчували попередні користувачі в різних мережах, і можуть передбачати подальшу поведінку відповідно до деякої контекстуальної інформації, наприклад як мобільне місцезнаходження та запущені програми.

Оскільки клас витрат або корисних функцій (функція прийняття рішення) відповідає більшій кількості параметрів або функціональних можливостей, цей клас може запропонувати високий рівень гнучкості. Крім того, контекстний клас намагається запропонувати високу гнучкість, необхідну в неоднорідному середовищі. Алгоритми на основі розвідки здаються найменш гнучкими. Однак, коли мова йде про додатки в режимі реального часу, орієнтовані на користування і деякі функції на основі функцій є менш надійними порівняно з іншими механізмами, такими як алгоритми на основі інтелекту. Що стосується розгляду користувачем, більшість вивчених алгоритмів враховують переваги користувачів, але цей аспект асоціюється з контекстним класом. Крім того, користувацькі налаштування та задоволеність користувачів можуть бути розділом розгляду користувачів.

По суті, багатокритеріальна характеристика відіграє найважливішу роль під час прийняття рішень щодо VHO. У деяких випадках стратегії

базуються лише на одному заході (тобто вимірювання RSS); в інших випадках, таких як класи, засновані на функціях прийняття рішень, або на основі мережевої розвідки або на основі контексту, стратегії можуть бути розроблені за вибором багатокритерій.

Для кращого розуміння продуктивності різноманітних алгоритмів VHO пропонується кількісне порівняння алгоритмів на основі показників продуктивності, обговорених у наступному розділі. Однак різні параметри продуктивності враховуються в запропонованих алгоритмах, прямі порівняння неможливі.

Відповідно до параметричних оцінок, представлених у таблиці 2.7, ми помітили, що алгоритми прийняття рішення VHO на різних одиночних шарах мають однаковий рівень затримки серед усіх категорій, але складність може впливати на затримку в класах на основі мережевої розвідки. На основі поперечного шару більшість підходів отримує менші затримки передачі через попередній вибір цільових мереж передачі та зазвичай очікувані передачі. У випадку втрати пакетів алгоритми на основі міжшарового рівня, як правило, отримують порівняно менші втрати пакетів, оскільки рішення базується на декількох критеріях, а мета залишається не тільки забезпечити підключення, але і задовольнити користувачів з точки зору QoS.

Таблиця 2.7. Порівняння запропонованих підходів щодо ВГД

Клас	Гнучкість	Розгляд користувача	Багатокритеріальні	Складність
На основі одношарових	Середня	Середня	Так	Складний
На основі поперечного шару	Висока	Висока	Так	Зазвичай складний

Для пропускної здатності класи на основі міжшарових рівнів здатні досягати більш високих рівнів пропускної здатності, ніж одношарові групи.

З точки зору вартості, на наш погляд, швидкість успішної передачі схем на основі шару рішення буде вищою, ніж в інших рішеннях, оскільки рішення про передачу базується на задоволеності користувача. Що стосується кількості передач, то на основі поперечного шару можна утримувати непотрібні передачі на низькому рівні за рахунок зменшення так званого ефекту пінг-понгу. Сьогодні використання найкращого алгоритму прийняття рішень VHO є важливою проблемою у бездротових мережах, спрямованих на задоволення потреб як користувачів, так і мережевих провайдерів. У літературі було запропоновано декілька методів, але ми виявили, що не існує стандартного та ефективного методу, який би задовольняв як QoS, так і потреби користувача та мережі. Крім того, ми зрозуміли, що VHO в неоднорідних бездротових мережах все ще стикається з труднощами на різних рівнях, включаючи архітектурну, прийняту рішення та протокольну сторону. Основні труднощі для прийняття рішень зумовлені відсутністю актуальної інформації в точках прийняття рішень. Розгляд спільних рішень (ігрових підходів) може бути корисним для прийняття кращих рішень.

Для покращення управління мобільністю для подальшого дослідження потрібна міжшарова оптимізація. Забезпечення інформації QoS між несуміжними рівнями протоколів вимагає конструкції міжшарового рівня. Отже, координаційна площина QoS повинна полегшувати передачу інформації QoS та координувати надання QoS на декількох шарах.

Висновок

З переходом до мереж нового покоління очікується інтеграція основних мереж на основі IP з неоднорідними бездротовими мережами. У цій роботі було представлено огляд схем передачі та алгоритмів, запропонованих для бездротових систем зв'язку в мобільних середовищах. Дотримуючись багатошарової точки зору, запропоновані схеми в цій галузі були класифіковані на дві групи та порівняні за параметрами, методами вибору мережі та їх особливостями. Виходячи з нашого аналізу, існуючі схеми

прийняття рішень або бракували адекватного відображення різних мережевих параметрів, або дослідження, що повідомляють про ці класи, були недостатніми для детального впровадження в реальному світі. Зі швидким розвитком мобільного Інтернету рішення керування передачею передач в архітектурах та протоколах мобільності нового покоління, безумовно, базуються на мобільному IP, який забезпечує плоску мережеву платформу. Для цього повинні бути розроблені нові механізми передачі та нові системи для того, щоб зробити передачу більш ефективною та надійною. У цьому дослідженні ми виявляємо, що міжшарова оптимізація управління мобільністю є важливою для майбутнього дослідження в гетерогенному середовищі.

3. 4G-5G взаємодія. Взаємодія на рівні RAN та CN

Для надання справжньої послуги 5G користувачам, 5G комірки будуть розгорнуті з повним покриттям, і UE (користувальницьке обладнання) зможе підключатися до мережі 5G скрізь. Однак на ранній стадії 5G-сервісів 5G комірки будуть частково розгорнуті, і там будуть отвори для покриття 5G. Початкова комерційна послуга 5G буде запущена з початку 2019 року, але початкові інвестиції в 5G-сервіс будуть обмежені через відсутність 5G UE. Отже, мережу 5G потрібно взаємодіяти з існуючою мережею LTE. Рішення для взаємодії може забезпечити безперебійне обслуговування користувачів. У цьому розділі представлені рішення для взаємодії 4G-5G та порівнюються рішення з точки зору продуктивності, особливостей та міграції до справжньої мережі обслуговування 5G.

3.1 4G-5G взаємодія

Якщо комірки 5G не розгорнуті з повним покриттям, безперебійний сервіс може бути наданий користувачам шляхом взаємодії з існуючою мережею LTE, яка вже розгорнута з повним покриттям. Коли мережа еволюціонувала від 3G до LTE, комірки LTE були розгорнуті частковим покриттям, коли LTE вперше був комерціалізований.

Щоб подолати дефіцит покриття, мережа LTE також забезпечила безперебійне обслуговування користувачів взаємодією з мережею 3G. Взаємодія між мережею 3G та мережею LTE була розроблена рішенням взаємодії на рівні базової мережі, в якому суб'єкт основної мережі 3G, SGSN (Обслуговуючий вузол підтримки GPRS), безпосередньо взаємодіє з суб'єктами базової мережі LTE, MME (Entity Management Entity) і S-GW (Обслуговуюча шлюза).

Для взаємодії 4G-5G в 3GPP обговорюються два типи рішень, взаємодія на рівні RAN та взаємодія на рівні CN.

3.1.1 Взаємодія на рівні RAN

Взаємодія на рівні RAN надає послугу взаємодії між LTE і 5G, використовуючи прямий інтерфейс між LTE eNB і 5G NB. Повідомлення протоколу управління (RRC) передається через радіоінтерфейс LTE, тому з'єднання та мобільність UE контролюються LTE eNB. Користувальницький трафік одночасно передається через LTE eNB та 5G NB (агрегація PDCP) або використовуючи лише 5G NB (CN-split-носій). Хоча повідомлення RRC може стабільно оброблятися LTE eNB, які забезпечують покриття більше 5G NB, радіоінтерфейс LTE завжди залишається на зв'язку, хоча трафік користувача передається через 5G радіоінтерфейс (NR). Взаємодія на рівні RAN необхідна в NSA (нестандартна архітектура), де 5G радіо (NR) не може використовуватися без LTE радіо. Дві різні основні мережі можуть бути використані для взаємодії на рівні RAN, як показано на Рис3.1.

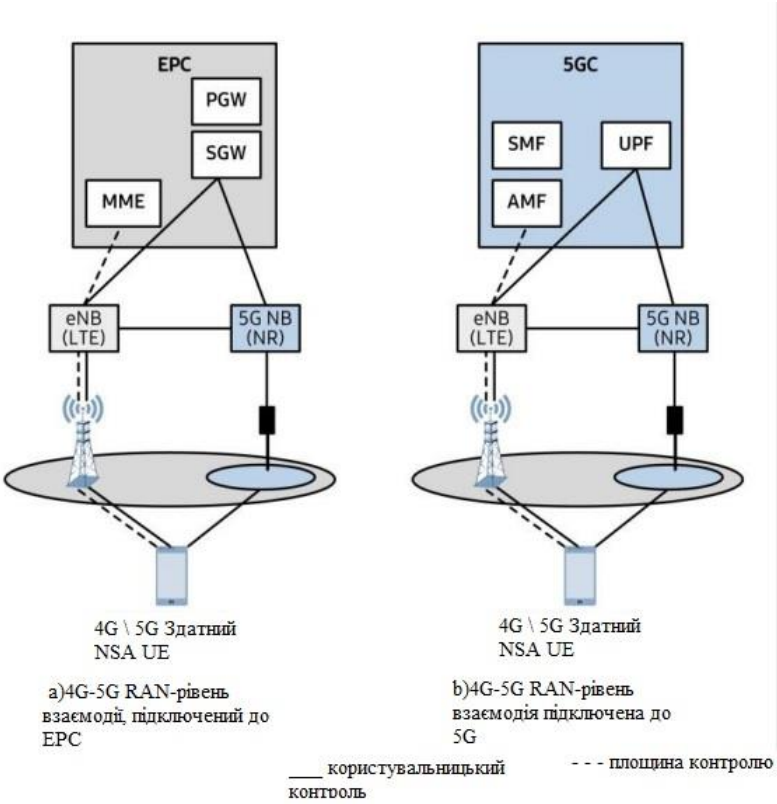


Рис3.1 Архітектура взаємодії на рівні RAN

Під час використання EPC (Evolved Packet Core) для існуючої мережі LTE, в основному може надаватися лише послуга на базі EPC, навіть незважаючи на те, що використовується радіотехніка 5G. Користувачам, що використовують технологію NR (New Radio), можна надати лише високошвидкісний сервіс передачі даних. Взаємодія LTE та 5G може бути досягнута за рахунок модернізації деяких LTE eNB, підключених до 5G NB, та збільшенням ємності шлюзу в EPC. Нова мережа 5G Core, яка називається 5GC (Core Generation Core), може бути представлена для підтримки рівня RAN взаємодія. У цьому рішенні є нові основні 5G-функції мережі, наприклад розрізання мережі, може підтримуватися і послугу 5G можна диференціювати від послуги LTE. Однак усі LTE eNB будуть оновлені до eLTE eNB, які можна підключити до 5GC.

3.1.2 Взаємодія на рівні CN

Для взаємодії на рівні CN не потрібен прямий інтерфейс між LTE eNB і 5G NB, але суб'єкт EPC підключений до об'єкта 5GC. UE управляє з'єднанням LTE та NR радіоінтерфейсу незалежно та може бути підключений до однієї мережі, або LTE, або 5G. Коли UE розташований у 5G покритті, він може підключатися лише до мережі 5G та отримувати 5G послуги. Коли UE виходить з покриття 5G, він випускає з'єднання NR радіоінтерфейсу та встановлює з'єднання радіоінтерфейсу LTE. Навіть незважаючи на те, що мережа, до якої UE підключається до змін, IP-адреса, призначена для UE, зберігається і користувачеві може надаватися безперебійна послуга. Співпраця на рівні CN необхідна в SA (автономна архітектура), де 5G Radio (NR) можна використовувати без LTE Radio. Для взаємодії на рівні CN можливе рішення єдиної реєстрації та рішення подвійної реєстрації, як показано на Рис3.2.

При єдиній реєстрації UE реєструється в будь-яку з мереж LTE або 5G в будь-який момент, і контекст UE може бути доставлений через інтерфейс управління між MME в EPC і AMF (функція управління доступом і

мобільністю) в 5GC при підключенні мережа для UE змінена. Для підтримки рішення єдиної реєстрації MME буде оновлено до підтримки інтерфейсу MME-AMF (Nx), а S-GW потрібно підключити до UPF в 5GC. LTE eNB також має бути вдосконалено для підтримки мобільності між LTE та 5G.

Рішення подвійної реєстрації - це спосіб дозволити UE реєструватися індивідуально в EPC та 5GC. Таким чином, не потрібно пересилати контекст UE між MME та AMF, а інтерфейс між MME та AMF не потрібен. Рух між LTE і 5G визначається UE. UE виконує звичайні процедури доступу після переміщення в іншу мережу. Тому рішення може підтримуватися LTE eNB без будь-яких або мінімальних змін. Також вплив на EPC для підтримки рішення подвійної реєстрації можна звести до мінімуму. Однак для підвищення ефективності мобільності між LTE та 5G необхідно тимчасово підтримувати подвійну радіопередачу при переміщенні в іншу мережу, хоча UE може підтримувати рішення подвійної реєстрації навіть з можливістю одинарної радіопередачі.

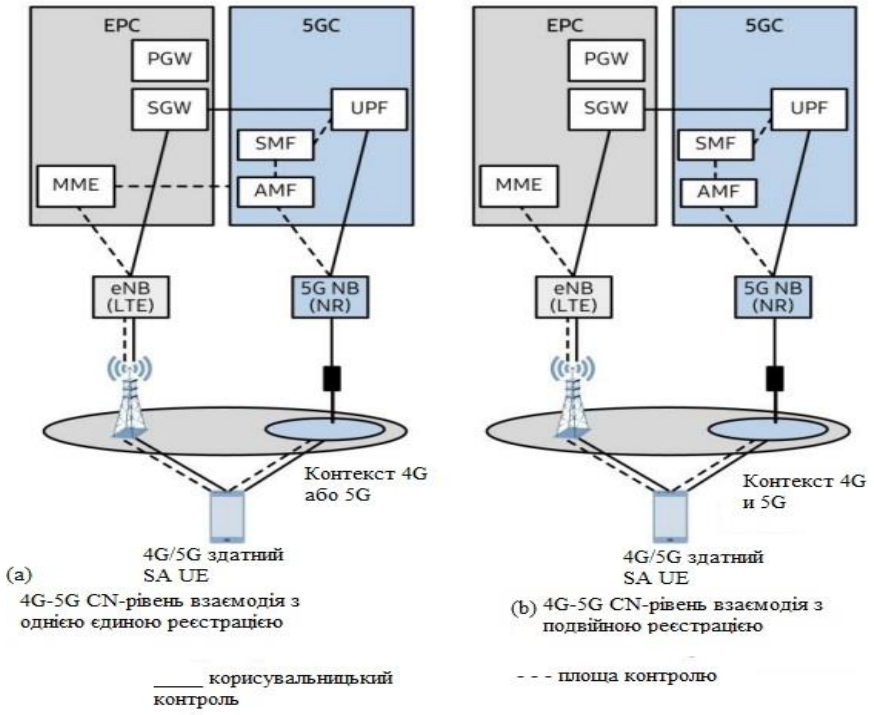


Рис 3.2. Архітектура взаємодії на рівні CN

3.2Порівняння продуктивності та особливостей

Аналіз ефективності

У цьому розділі проаналізовано продуктивність взаємодії 4G-5G для кожної архітектури взаємодії. Аналітичне дослідження використовується для пікової швидкості передачі даних, затримок управління / користувача / E2E та ефективності мобільності, а для аналізу енергоефективності проводиться моделювання.

3.2.1 Пікова швидкість передачі даних

Пікова швидкість передачі даних визначається як максимальна теоретична швидкість передачі даних, яка досяжна, коли всі радіоресурси присвоюються одному пристрою UE. Він також розраховується як добуток пікової спектральної ефективності та наявної пропускної здатності. Якщо доступна пропускна здатність для 5G діапазонів частот нижче 6 ГГц становить приблизно 80 МГц, а пікова спектральна ефективність - 15 біт / с / Гц, пікова швидкість передачі даних складе 1,2 Гбіт / с. З іншого боку, якщо наявна пропускна здатність смуг вище 6 ГГц становить 667 МГц, а пікова спектральна ефективність у діапазонах становить 30 біт / с / Гц, може бути досягнута пікова швидкість передачі даних 20 Гбіт / с.

Якщо комірка 5G агрегується з LTE eNB при взаємодії на рівні RAN, то пікові швидкості передачі даних LTE і 5G посилання можуть бути підсумовані, що призводить до максимальної швидкості піку близько 21 Гбіт / с. Для взаємодії на рівні CN один потік IP не може обслуговуватися через LTE та 5G посилання, що призводить до тієї ж пікової швидкості передачі даних, що і окремий випадок.

Таблиця 3.1. Порівняння пропускної здатності

Пункт	Взаємодія на рівні RAN		5G SA з взаємодією на рівні CN
	Агрегація RAN	CN-роздвоєний носій	
Макс.Пікова Швидкість	21 Гбіт / с	20 Гбіт / с	20 Гбіт / с

3.2.2 Затримка площини управління

Ефективність затримки системи аналізується як для площини управління, так і для площини користувача. У 3GPP TR 38.913 затримка площини управління визначається як "час переходу від ефективного стану акумулятора (наприклад, IDLE) до початку безперервної передачі даних" (наприклад, АКТИВНО). "Враховуючи домовленості, укладені під час фази дослідження NR, затримка площини управління може бути проаналізована як час переходу з неактивного стану в час для відправки першого пакету висхідної лінії зв'язку в неактивний стан. Хоча детальні процедури сигналізації ще не визначені для відновлення з'єднання, поточний виклик відновлення виклику LTE на Рис3.3 може бути використаний для цього аналізу, а кроки 1 - 5 в потоці виклику можуть розглядатися як компоненти затримки площини управління.

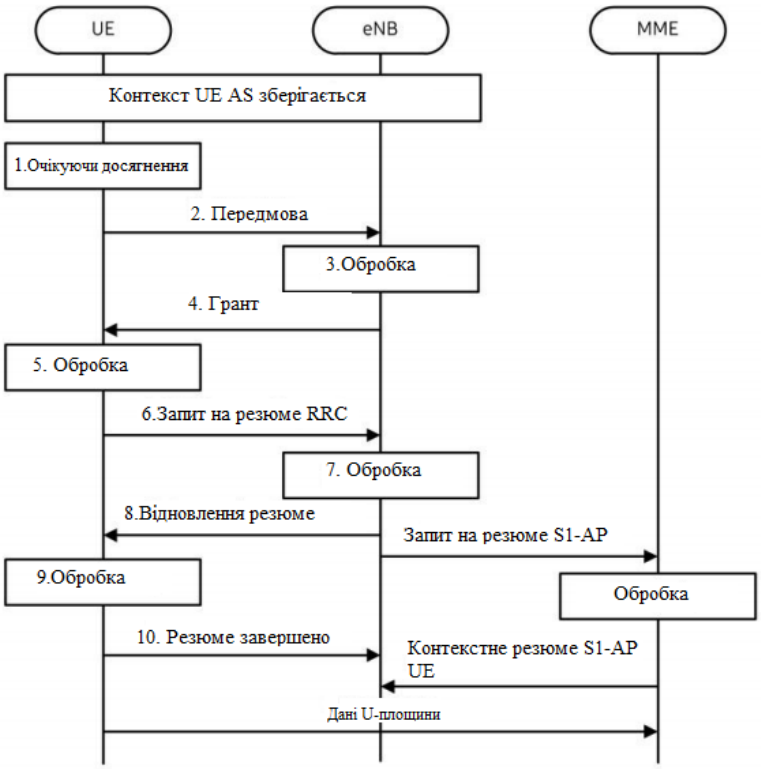


Рис 3.3. Порядок настройки опорного виклику для затримки контрольної площини

У таблиці 3.2 наведено обчислені затримки. Колонка LTE Rel.10 показує затримку з тією ж довжиною TTI (1 мс) та затримкою обробки, що і LTE. Аналіз на NR може повторно використовувати той же підхід, що і LTE, але з різними системними параметрами, такими як TTI та затримка обробки, завдяки підвищеній можливості апаратного забезпечення. Беручи до уваги постійну дискусію та стан у 3GPP, 2- символьний TTI (1/7 мс, припускаючи таку ж кількість символів, що і LTE в підкадрі 1 мс) здається прийнятним припущенням для міні-слота NR.

Для затримки обробки різні приклади, включаючи ту ж затримку, що і LTE, і на 50% менше або на 33% меншу затримку обробки, можуть розглядатися для прикладів. У решті стовпців таблиці 3.2 показані обчислені затримки площини управління та загальні затримки для повної відновлення з'єднання, що відповідають припущенням затримки обробки.

Таблиця 3.2. Затримка площини управління та загальна затримка для відновлення повного з'єднання

Компонент	Опис	LTE Rel.10	NR-1 (1/7 мс TTI)	NR-2 (1/7 мс TTI, 1/2 затримки обробки)	NR-2 (1/7 мс TTI, 1/3 затримки обробки)
1	Середня затримка через період планування RACH (цикл RACH 1 мс)	0.5	1/14	1/14	1/14
2	Преамбула RACH	1	1/7	1/7	1/7
3-4	Виявлення в преамбулі та передача відповіді RA (час між кінцевою передачею RACH та отриманням UE графіка плану та коригуванням часу)	3(2+1)	2+1/7	1+1/7	2/3+1/7
5	Затримка обробки UE	5	5	2.5	5/

	(декодування графіка планування, вирівнювання часу та призначення C-RNTI + кодування L1 запиту на з'єднання RRC)				3
6	Передачі РКР відновити запит на підключення	1	1/7	1/7	1/7
7	Затримка обробки в eNB (L2 та RRC)	4	4	2	4/3
8	Передачі РКР відновити з'єднання (і грант UL)	1	1/7	1/7	1/7
9	Затримка обробки в UE (L2 і RRC)	15	15	7.5	5
10	Передача з'єднання RRC Резюме завершено	1	1/7	1/7	1/7
Повна затримка для повного відновлення	-	31.5 мс	26.8 мс	13.8 мс	9.5 мс
	(Залежна затримка TTI)	5.5 мс	0.8 мс	0.8 мс	0.8 мс
	(Обробка залежної затримки)	26 мс	26 мс	13 мс	8.7 мс

Якщо 5G NB інтегровано з LTE eNB, а протокол управління (тобто RRC) розташований в LTE eNB, затримка площини управління буде такою ж, як у випадку LTE. Як результат, показаний у таблиці 3, затримка площини управління у випадку взаємодії на рівні CN становить майже 1/3 від випадку взаємодії на рівні RAN.

Таблиця 3.3. Порівняння затримок контрольної площини

	Взаємодія на рівні RAN	5G SA з взаємодією на рівні CN
Затримка площини управління	31,5 мс	9,5 мс

3.2.3 Затримка в площині користувача

У 3GPP TR 38.913 затримка площини користувача визначається як "час для успішної доставки пакета / повідомлення рівня додатка з рівня радіопротокольного рівня 2/3 точки входу SDU до рівня виходу радіопротоколу 2/3 SDU через радіоінтерфейс і в напрямках висхідної, і в низхідній лінії зв'язку, коли ні DRX, ні прийом базової станції не обмежується DRX. "Іншими словами, затримка площини користувача аналізується як затримка радіоінтерфейсу з моменту, коли передавач PDCP отримує пакет IP до часу, коли приймач PDCP успішно приймає IP-пакет (і доставляє пакет до верхнього шару).

На Рис3.4 показано моделювання, що використовується для аналізу затримок площин LTE користувача в структурах кадру FDD і TDD. [TR 36.912] Цю модель можна повторно використовувати для аналізу затримок площин 5G користувача, оскільки модель належним чином є загальною.

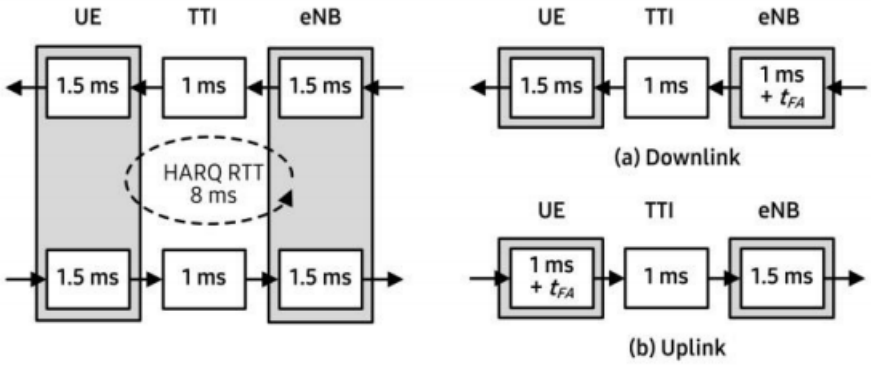


Рис3.4. Затримка площини LTE користувача для FDD (ліворуч) та TDD (праворуч) рамної структури

Для FDD прийняті наступні параметри для обчислення затримки площини користувача. У 3GPP RAN WG1 вже є деякі угоди щодо інтервалу між піднесучими (15 кГц x 2 ^ n) та кількості символів для міні-слота (2 символи). Той самий підхід, що використовується для LTE, може бути повторно використаний у затримці обробки передавача та приймача, тобто як TTI. HARQ RTT потребує подальшого обговорення. Однак можуть бути

розглянуті приклади, що використовують HARQ RTT як той самий, що і LTE і як трохи зменшений.

- Інтервал між піднесучими: 15 кГц, 30 кГц, 60 кГц тощо.

- OFDM символи на TTI: 2 для міні-слота

- Затримка обробки передавача: те саме, що і TTI

- TTI: залежно від інтервалу піднесучої та кількості символів на TTI

- Затримка обробки приймача: те саме, що і TTI

- HARQ RTT: 6 або 8 TTI (при умові 3 або 4 TTI для часу зворотного зв'язку HARQ)

У таблиці 3.4 показана загальна затримка площини користувача для LTE та дві обрані PHY конфігурації NR у структурі кадру FDD. Конфігурація NR-FDD-1 передбачає 15 кГц піднесучого інтервалу та 2-символьного TTI з 8 TTI HARQ RTT, що призводить до затримки площини 0,571 мс без повторної передачі HARQ та 0,685 мс з 10% HARQ BLER. Конфігурація NR-FDD-2 передбачає 60 кГц піднесучого інтервалу, 2-символьного TTI з 6 TTI HARQ RTT, що призводить до затримки в площині 0,1429 мс і 0,1643 мс із зануренням і без повторної передачі HARQ.

Для TDD конфігурацію DL / UL потрібно враховувати на додаток до параметрів, що використовуються для FDD. В якості прикладів може розглядатися конфігурація, така ж, як LTE та розширені конфігурації для підтримки меншої затримки, такі як повторні підкадри S-U. Кількість символів OFDM на TTI також потребує подальшого врахування, оскільки такий же (2-символьний міні-слот), який використовується для FDD, може бути не оптимальним для TDD, враховуючи додаткові накладні комутації DL / UL. Угода про скорочення затримки символів Rel.14-7 на TTI-може бути використана в якості вихідної точки.

• OFDM-символи на TTI: 7 (слот) або менше

• конфігурація DL / UL: те саме, що LTE, повторне S-U,тощо.

У таблиці 3.5 показана загальна затримка площини користувача для LTE та дві обрані конфігурації TDD, аналогічні таблиці 3.4. Конфігурація NR-TDD-1 передбачає 15 кГц піднесучого інтервалу та 7-символьної TTI з конфігурацією DL / UL, аналогічну конфігурації LTE TDD # 6, що призводить до 3,075 мс та 2,775 мс затримки площини користувача для низхідній лінії та висхідної лінії відповідно без повторної передачі HARQ, і 3,54 мс низхідної лінії зв'язку та 3,2575 мс висхідної лінії зв'язку з 10% HARQ BLER.

Конфігурація NR-TDD-2 передбачає 60 кГц піднесучого інтервалу, 4-символьний TTI з повторними підкадрами S / U, що призводить до затримки площини користувача 0,3124 мс і 0,355 мс з повторною передачею HARQ і без неї.

Таблиця 3.4. Затримка на площині користувача з и без повторної передачі HARQ для структури кадру FDD

	LTE Rel.10	NR-FDD-1	NR-FDD-2
Розміщення піднесучого	15 кГц	15 кГц	60 кГц
Символи OFDM на TTI	14	2	2
(1.1) Затримка обробки передавача	1 мс	0.143 мс	0.0357 мс
(1.2) Час вирівнювання кадру	0.5 мс	0.071 мс	0.0179 мс
(1.3) Час передачі (= TTI)	1 мс	0.143 мс	0.0357 мс
(1.4) Затримка обробки приймача	1.5 мс	1.214 мс	0.0536 мс
Затримка в одну сторону = (1,1) + (1,2) + (1,3) + (1,4)	4 мс	0.571 мс	0.1429 мс
HARQ RTT (час в обидва кінці)	8 мс (n +	1.142 мс	0.2143 мс

	4 NACK, n + 4 Re-Tx)	(n + 4 NACK, n + 4 Re-Tx)	(n + 3 NACK, n + 3 Re-Tx)
Затримка в площині користувача з 10% HARQ BLER 10% = (затримка в одну сторону) + 0,1 × (HARQ RTT)	4.8 мс	0.685 мс	0.1643 мс

Таблиця 3.5. Затримка на площині користувача з и без ретрансляції HARQ для структури кадрів TDD

	LTE Rel.10	NR-TDD-1	NR-TDD-2
Розміщення піднесучого	15 кГц	15 кГц	60 кГц
Символи OFDM на TTI	14	7	4
Конфігурація DL / UL	LTE конф. №6	LTE конф. №6	S-U повторився
(1.1) Затримка обробки передавача	1 мс	0.5 мс	0.07 14 мс
(1.2) Час вирівнювання кадру	1,4 мс (DL) / 1,4 мс (UL)	1.32 5 ms(DL)/ 1.025 ms (UL)	0.07 14 мс
(1.3) Час передачі (= TTI)	1 мс	0.5 мс	0.07 14 мс
(1.4) Затримка обробки приймача	1.5 мс	0.75 мс	0.10 71 мс
Затримка в одну сторону = (1,1) + (1,2) + (1,3) + (1,4)	4.9 мс (DL)/ 4.9 мс (UL)	3.07 5 мс (DL)/ 2.775 мс (UL)	0.31 24 мс
HARQ RTT (час в обидва кінці)	11.2 мс (DL)/ 11.5 мс (UL)	4.65 мс (DL)/ 4.825 мс	0.42 86 мс

		(UL)	
Затримка на площині користувача (HARQ BLER 10%)	6.02 мс (DL)/ 6.05 мс (UL)	3.54 мс (DL)/ 3.2575 мс (UL)	0.35 5 мс

Якщо комірка 5G агрегується з LTE eNB, а потік IP передається через LTE і повітряний інтерфейс 5G NR, затримка площини користувача обмежується затримкою LTE-ланки (тобто 6 мс в таблиці 3.6)

Таблиця 3.6. Порівняння затримок в площині користувача

	Взаємодія на рівні RAN	5G SA з взаємодією на рівні CN
Затримка в площині користувача	6 мс	0.35 мс

3.2.4 Мобільність

Продуктивність мобільності можна оцінити як час перерви під час передачі або під час зміни між RAT змін. Для взаємодії 4G-5G можна порівняти два сценарії для порівняння продуктивності. Перший сценарій - сценарій зміни NR to-NR, а другий - сценарій зміни NR-to LTE.

Коли використовується взаємодія на рівні RAN, існує два сценарії зміни NR-NR: Зміна NR-NR зі зміною якоря LTE або без нього. Якщо якір LTE не змінений, виконується лише процедура сигналізації зміни NR-NR, як показано на Рис3.5 (a). Час зміни подібний до звичайного часу передачі макросу і, як очікується, триватиме близько 45 мс. Але потрібно більше кроків процедури для одночасної зміни якоря LTE та NR комірки. Як показано на Рис3.5 (b), радіоресурс у вихідній ячейці NR вивільняється першим. Потім виконується передача LTE-LTE. Нарешті, цільовий ресурс клітинки 5G знову призначений. Отже, час зміни NR комірок зі зміною якоря LTE довше і може зайняти близько 75 мс. Навіть коли використовується

носій CN-спліт, процедури сигналізації між UE та NR / LTE майже однакові. Отже, час передачі буде таким самим, як і при використанні агрегації PDCP.

Коли використовується взаємодія на рівні RAN, існує два сценарії зміни NR-NR: Зміна NR-NR зі зміною якоря LTE або без нього. Якщо якір LTE не змінений, виконується лише процедура сигналізації зміни NR-NR, як показано на Рис3.5 (a). Час зміни подібний до звичайного часу передачі макросу і, як очікується, триватиме близько 45 мс. Але потрібно більше кроків процедури для одночасної зміни якоря LTE та NR комірки. Як показано на Рис3.5 (b), радіоресурс у вихідній ячейці NR вивільняється першим. Потім виконується передача LTE-LTE. Нарешті, цільовий ресурс клітинки 5G знову призначений. Отже, час зміни NR комірок зі зміною якоря LTE довше і може зайняти близько 75 мс. Навіть коли використовується носій CN-спліт, процедури сигналізації між UE та NR / LTE майже однакові. Отже, час передачі буде таким самим, як і при використанні агрегації PDCP.

Коли використовується взаємодія на рівні CN, передача NR-NR не залежить від передачі LTE. Крім того, для поліпшення продуктивності передачі, розробляється процедура передачі даних із багатозв'язним підключенням до вихідного та цільового NR. При застосуванні процедур передачі багатозв'язних передач передача NR-NR може бути виконана з майже нульовим часом переривання, як показано на Рис3.6.

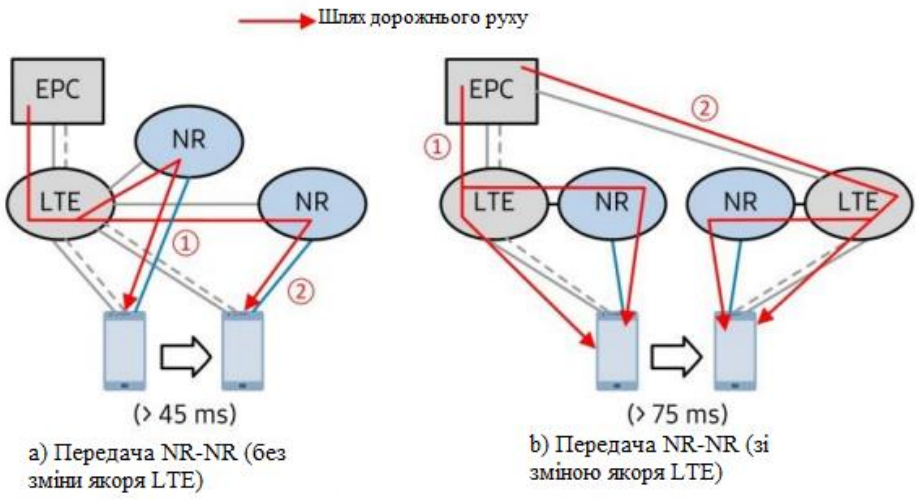


Рис3.5. Передача / комутація NR-NR у взаємодії на рівні RAN

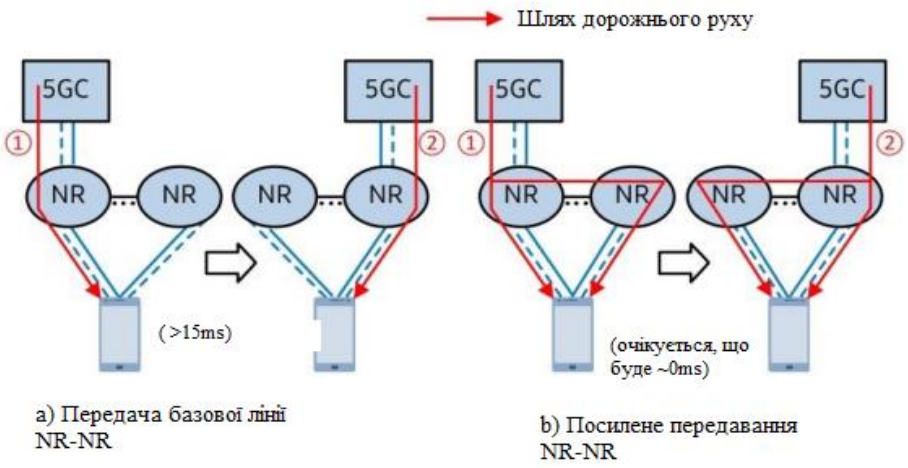


Рис3.6. Передача NR-NR у взаємодії на рівні CN

Коли радіозв'язок 5G раптово відпаде, користувальницьке обслуговування буде постійно надаватися LTE після комутації маршруту користувача NR-LTE. Для взаємодії на рівні RAN, інтерфейс радіозв'язку LTE може забезпечити надійне з'єднання та вирішити, який радіоінтерфейс слід використовувати для передачі трафіку користувача.

Коли трафік користувача може одночасно передаватися через LTE та NR радіоінтерфейси і агрегуватися на рівні PDCP, LTE eNB може негайно змінити шлях для трафіку користувача, якщо трафік користувача не може передаватися через NR радіоінтерфейс. Низька якість 5G зв'язку та час перемикання траси NR-LTE буде виявлено приблизно 20 мс, як показано на Рис3.7 (a). Якщо використовується носій з розділеним CN, UE потрібно вирішити проблему радіозв'язку 5G та виконати додаткову сигналізацію, щоб переключити шлях несучої з 5G NB на LTE eNB. Виявлення та перемикання здійснюватимуться за 140 мс, як показано на Рис3.7 (b).

Таблиця 3.7. Порівняння ефективності мобільності

	Взаємодія на рівні RAN		5G SA з взаємодією на рівні CN
	Агрегація PDCP	CN-роздвоєний носій	
Передача / комутація від NR до NR	> 45 мс (без LTE HO) > 75 мс (з / LTE HO)	> 45 мс (без LTE HO) > 75 мс (з / LTE HO)	> 15 мс (базовий рівень) > 0 мс (покращено)
Резервна переривання від NR до LTE	> 20 мс	> 140 мс	> 125 мс

Для взаємодії на рівні CN, UE має виявити проблему зв'язку 5G та ініціювати процедуру перемикання шляху передачі даних з NR на LTE. Час виявлення та перемикання займе близько 125 мс, як показано на Рис3.8.

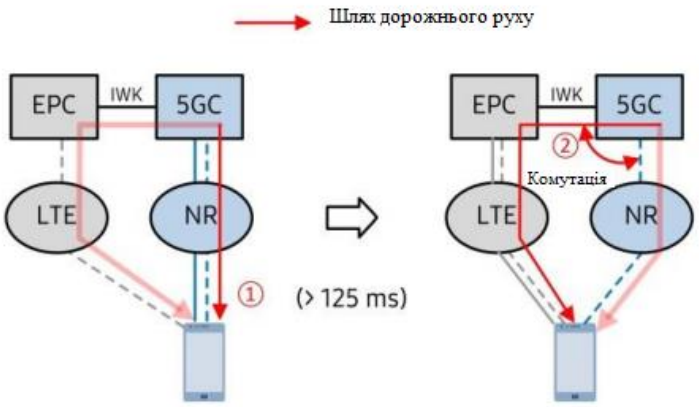


Рис3.8. Зворотний зв'язок від NR до LTE у взаємодії на рівні CN

Виходячи з аналізу передачі / процедури взаємодії на рівні RAN та взаємодії на рівні CN, ефективність мобільності порівнюється в таблиці 3.7. Продуктивність у разі звичайної передачі / перемикання майже однакова, але взаємодія на рівні RAN може довести кращі показники, коли радіозв'язок 5G раптово падає.

3.2.5 UE Енергоефективність

LTE має два стани RRC: стан підключення та стан очікування. Якщо немає даних для передачі / прийому, UE залишається в енергоефективному стані очікування. З іншого боку, підключений стан є енергоспоживаючим станом, оскільки UE потрібно постійно контролювати якість зв'язку обслуговуючої та сусідньої комірок і надавати періодичну інформацію про стан радіозв'язку. Частка часу, проведеного у підключеному та неактивному станах, залежить від ряду основних параметрів радіо, таких як таймер бездіяльності користувача та цикл DRX підкачки.

Таймер бездіяльності користувача визначає, як довго UE залишається у підключеному стані після отримання або передачі останнього пакету даних. Коли таймер закінчується, eNB звільняє RRC-з'єднання і UE негайно переходить у стан очікування. Чим коротший таймер бездіяльності користувача, тим довше буде тривати термін служби акумулятора. Однак якщо новий пакет надходить незабаром після переходу UE в режим очікування, в основній мережі необхідно передати UE мережею та радіо, що спричинить перехід додаткового сервісного сервісу до підключеного стану. Іншими словами, довжина таймера користувацької активності визначає компромісну точку між споживаною енергією UE та затримкою підключення / сигналом керування CN.

Як показано на Рис3.9, споживання енергії UE аналізується у двох основних сценаріях використання: очікування з фоновим трафіком та потокове відео. Потокове потокове відео 1080p Full HD з сервера YouTube вимірюється для аналізу потокового відео. Поведінка трафіку таких репрезентативних програм, як програми Google та китайські новини, відображається в комерційній LTE-телефоні для аналізу фонового трафіку.

Як показано на Рис3.10, потокове передавання YouTube складається з послідовних періодів прогресивного завантаження та простою.

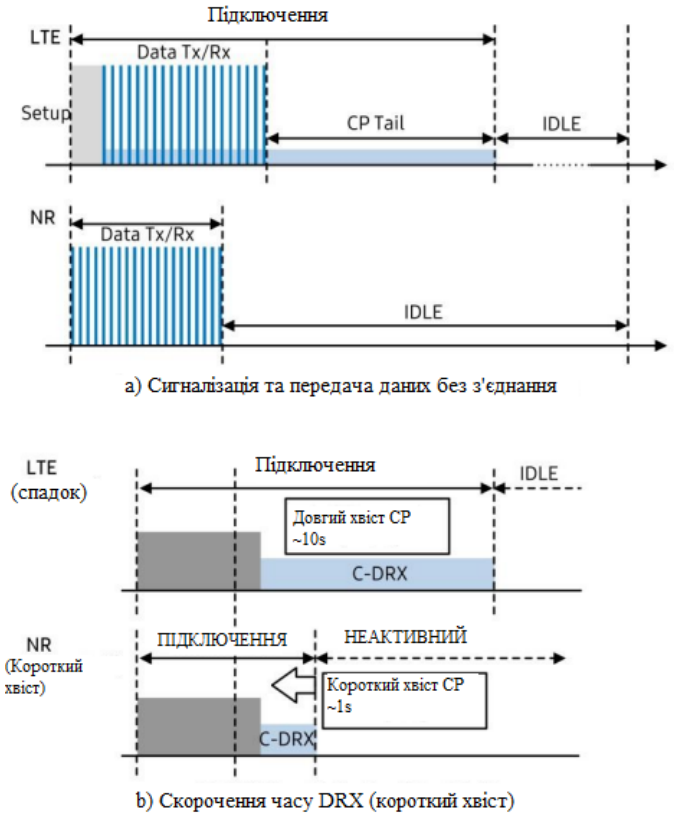


Рис3.9. Підвищення рівня 5G для енергоефективності

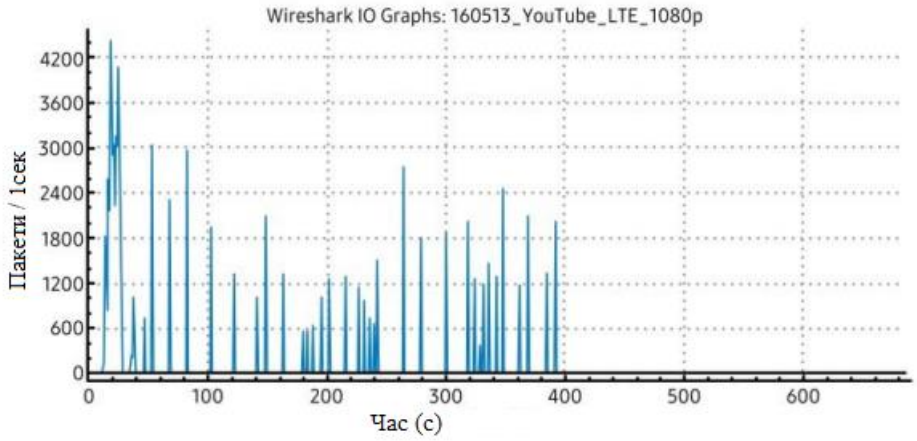


Рис3.10. Схема трафіку потокової передачі YouTube

Далі трафік класифікується на великі дані (понад 5 кб даних із сервера), малі дані (менше 5 кб даних із сервера), C-DRX та холостий хід з боку UE. Частка кожного стану, як показано в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. Співвідношення станів UE при відтворенні еталонного відеопотоку

Великі дані	Невеликі дані	C-DRX	холостий хід	загальна кількість
31,43 сек	9.74 сек	411.65 сек	222.81 сек	675.63 сек
5 %	1 %	61 %	33 %	100 %

Споживання енергії UE вимірюється на мобільному пристрої, випущеному у 2016 році під керуванням Android OS 6.0 та підключеному до мережі LTE-A. Виміряний рівень струму пристрою (включаючи енергоспоживання дисплея) становить 920 мА для періоду вибуху (потоку YouTube), 350 мА для періоду C-DRX і 230 мА для періоду очікування. Для споживання енергії модемом (без споживання електроенергії з інших компонентів) поточний рівень становить 300 мА для періоду вибуху, 85 мА для періоду C-DRX і 6,5 мА для періоду очікування. Одне споживання енергії передбачається як для LTE, так і для 5G модемів.

На Рис3.11 показано споживання струму UE з різними конфігураціями таймера, що неактивні користувачеві. Коли налаштований коротший таймер користувальницької роботи на 2 секунди [або 1 сек], споживаний струм UE-модему покращується на 43% [або 54%] порівняно з споживанням UE з більш тривалим таймером користувальницької активності на 10 сек. Крім того, загальний споживаний струм UE, включаючи дисплей, зменшується приблизно на 14% [або 17%], коли налаштований коротший таймер користувальницької роботи на 2 секунди [або 1 сек], порівняно з тим, що UE з більш тривалим таймером бездіяльності користувача на 10 сек.

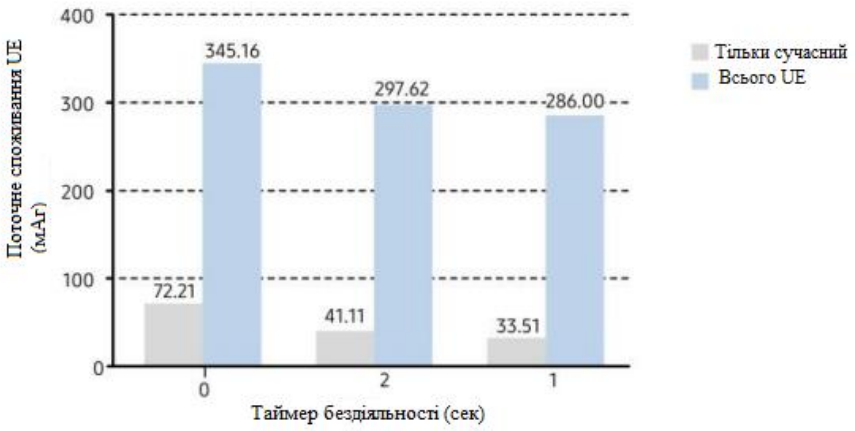


Рис3.11. Поточне споживання UE з різними конфігураціями таймера, що не користуються користувачем

У режимі очікування UE періодично передає та отримує невеликі обсяги даних - "повідомлення в режимі збереження" - для підтримки TCP-з'єднання з мережею або для перевірки / повідомлення про наявність UE.

Схема трафіку даних, що зберігаються в режимі "живого", сильно залежить від сервера та клієнтських додатків. На малюнку 12 показаний приклад постійного руху трафіку з програми Google. Середній час прибуття між вибухами становить приблизно 11 хвилин, а один вибух трафіку складається з 20 послідовних пакетів висхідної та низхідній лінії зв'язку. Загальний середній розмір пакета становить 240 байт: 120 байт для висхідної лінії зв'язку та 400 байт для низхідної лінії зв'язку відповідно.

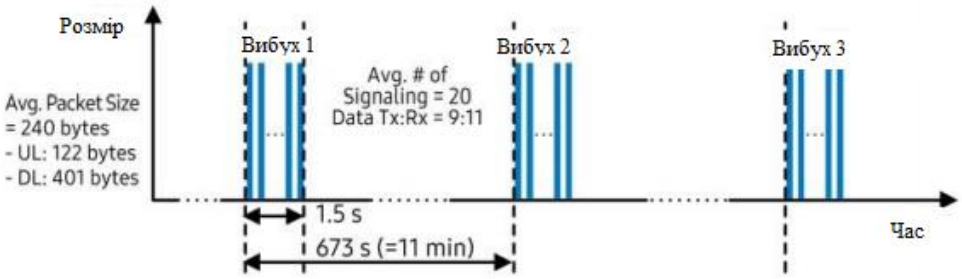


Рис3.12. Приклад моделі поточного споживання UE за пакетами "Keep-Alive"

Якщо дані, що зберігаються, передаються у підключеному стані, він вимагає переходу стану RRC з неактивного в підключений стан, що викликає тривалу тривалість C-DRX. Це не потрібно для малої передачі даних, таких як повідомлення в режимі "живі". Якщо пакети, що зберігаються, переходять у неактивний стан у рамках процедури відновлення RRC (крок 6 та крок 8 таблиці 2 для пакетів низхідній лінії зв'язку та висхідної лінії зв'язку), можна уникнути зайвого переходу стану RRC та тривалої тривалості C-DRX, запобігаючи UE витрата енергії.

Якщо невеликі пакети передаються без встановлення з'єднання, споживання енергії UE зменшується майже на 50% для додатків новин та приблизно на 20% для додатків Google, як показано на Рис3.13. Слід зазначити, що загальний коефіцієнт посилення в акумуляторі UE буде сукупністю всіх вигід, очікуваних для всіх додатків, встановлених в UE.

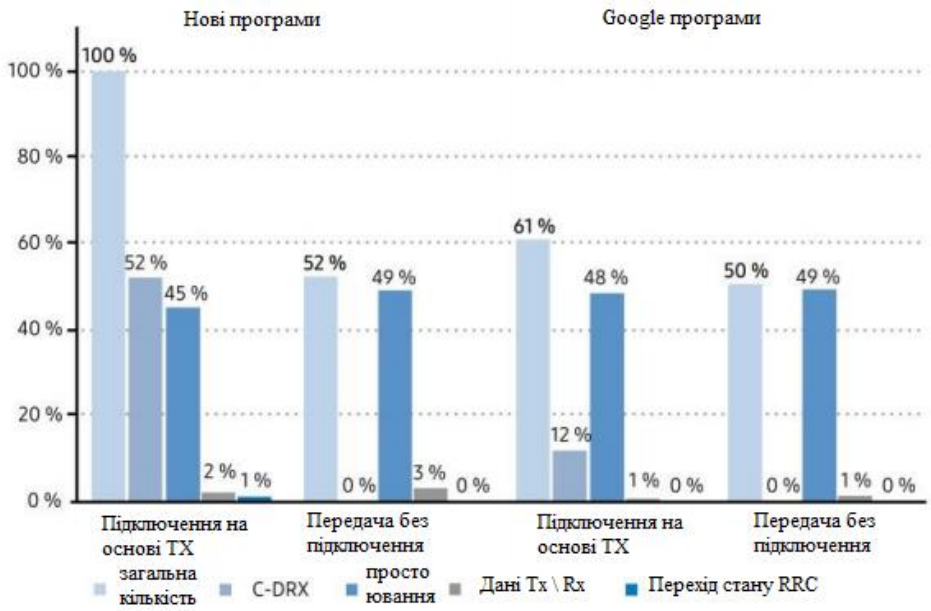


Рис3.13. Покращення споживання енергії UE при бездротовій передачі даних

Якщо осередок 5G агрегується з LTE eNB, і одночасно і LTE, і 5G NR повітряні інтерфейси потрібно активувати для обміну даними UE,

споживання енергії UE несамостійного 5G більш ніж удвічі порівняно з автономним 5G для потокової передачі відео, як показано в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Порівняння енергоефективності UE

	Взаємодія на рівні RAN	5G SA з взаємодією на рівні CN
Без руху (В режимі очікування)	Те саме, що LTE в режимі очікування	Те саме, що NR в режимі очікування
BG трафік (Підтримувати)	7,43 мАг	6,17 мАг (Без хвоста CDRX, на 17% менше)
VoD (YouTube)	89,3 мАг	33,5 мАг (Єдина посилання з коротким хвостом CDRX, на 61% менше)

3.2.6 Особливості мережі

Для підтримки різних 5G-сервісів, таких як MBB (мобільний широкосмуговий зв'язок), MTC (комунікація типу машини) та UR / LL (ультранадійний / низька затримка) в 5G, мережевий фрагмент вводиться, як показано на Рис3.14.

Це повна логічна мережа, що включає набір мережевих функцій та відповідних ресурсів, необхідних для забезпечення певних характеристик мережі. LTE має DCN (Dedicated Core Networks), який також забезпечує конкретні характеристики / функції для UE або абонентів (наприклад, абонентів M2M, абонентів, що належать до конкретного підприємства тощо).

Різниця між двома технологіями полягає в тому, що мережевий фрагмент підтримує сервісні мережі, але DCN підтримує мережі на основі пристроїв. Тому UE одночасно отримує декілька послуг з декількох фрагментів мережі в 5GC.

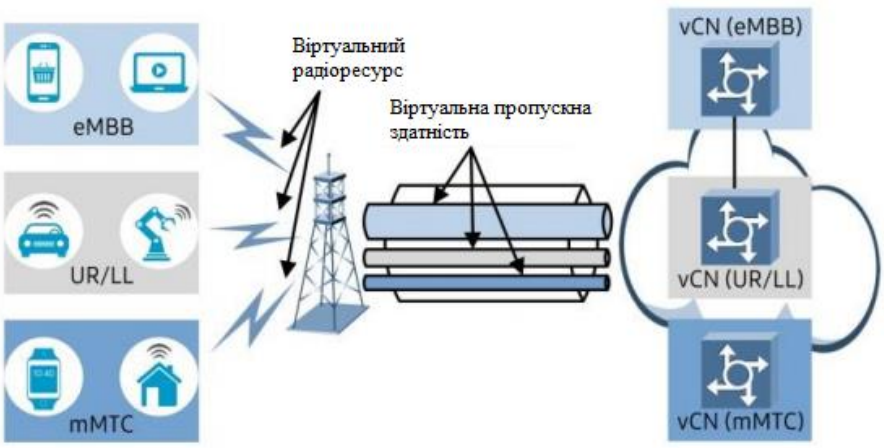


Рис3.14. Розрізання мережі

Управління сеансом 5G підтримує послугу підключення PDU, яка забезпечує обмін PDU між UE та мережею даних, включаючи тип сеансу IP PDU. У 5GC SMF відповідає за обробку процедур управління сесіями. Існує помітна різниця в управлінні сеансом між EPC і 5GC. В EPC весь сеанс підтримується одним NE (тобто MME) централізованим способом, так що шлях UP встановлюється через централізований PGW. Це призводить до концентрації зворотного руху на PGW.

Однак у 5GC різні сеанси PDU можуть підтримуватися можливо різними SMF, і їх путі до UP встановлюються за допомогою декількох UPF, як показано на Рис3.15. Це може розподілити зворотний трафік стільникового оператора в межах 5GC та зменшити сприйняті користувачем затримки.

Порівняно з базовою схемою QoS LTE, яка використовується на базі даних та використовує лише сигналізацію на площині C, система 5G приймає рамку на основі QoS Flow і використовує як C-площину, так і U-площину (тобто світловідбиваючу QoS), щоб задовольнити різні OTT Вимоги QoS. Рамка на основі QoS Flow дозволяє гнучко відображати потік QoS в DRB шляхом роз'єднання потоку QoS і радіоносія, що забезпечує більш гнучку конфігурацію QoS.

Коли використовується світловідбиваючий QoS, 5G UE може створити правило QoS для трафіку висхідної лінії зв'язку на основі прийнятого трафіку низхідній лінії зв'язку без генерації накладних сигналів на площині C, як показано на Рис3.16.

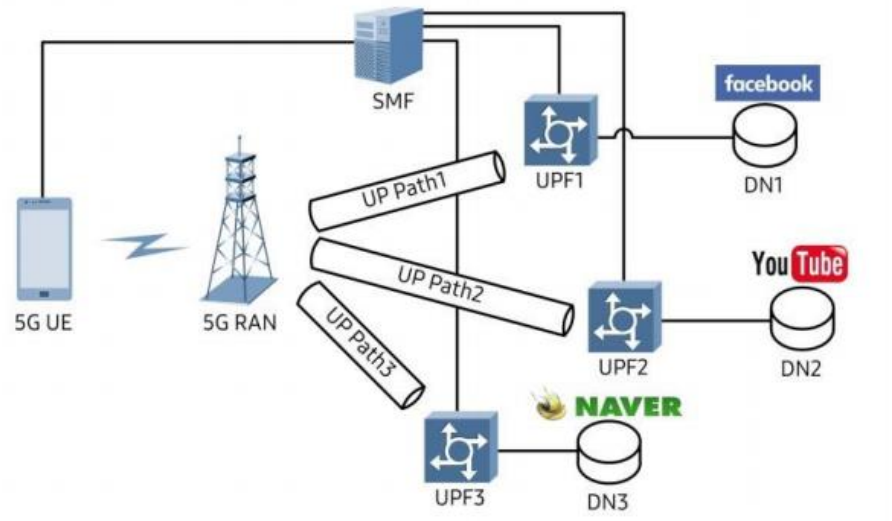


Рис3.15. Ілюстрація управління сесіями 5G

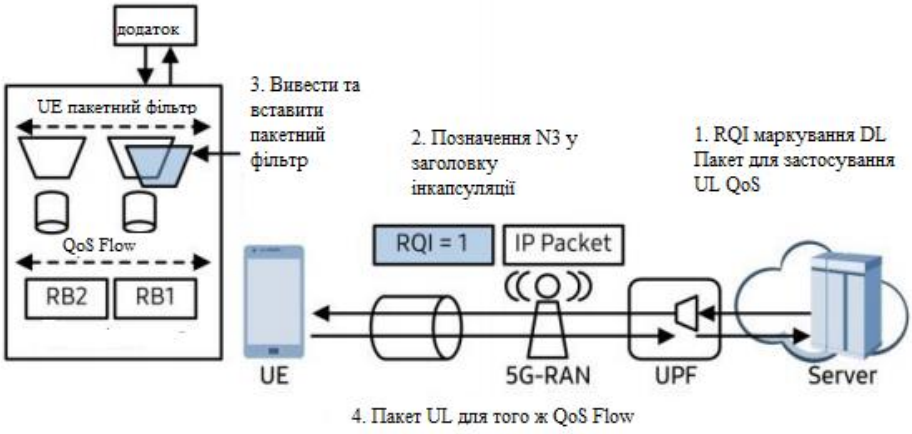


Рис3.16. Відбиваючий QoS в 5G

У таблиці 3.10 узагальнено функції мережі, які можна підтримувати у взаємодії на рівні RAN та взаємодії на рівні CN. Підтримувані функції диференціюються залежно від типу основної мережі, а не рішення взаємодії.

3.2.7 Гнучкість до розгортання

Коли розгорнуті нові базові станції 5G, планування стільникових 5G впливає на загальну продуктивність 5G та вартість установки. Тому гнучкість розгортання важлива для комерціалізації 5G.

Рішення взаємодії на рівні RAN працює з LTE як головний і 5G як вторинний.

Тому, коли відбувається передача між LTE eNB, 5G NB зміни також необхідні. Межі комірок 5G повинні бути вирівняні з межами комірок LTE, щоб підтримувати продуктивність під час передачі LTE. Якщо межі не вирівняні, на кордонах LTE можуть виникати отвори для покриття 5G, залежно від розгортання комірок 5G, або 5G комірки повинні бути накладені на межі комірок LTE.

Для взаємодії на рівні CN не потрібен інтерфейс між LTE eNB та 5G NB. Передача на LTE та 5G може бути виконана незалежно, тому навіть якщо передача даних відбувається між клітинами LTE, 5G комірки не потрібно міняти, і користувач може постійно відчувати послугу 5G. Тому оптимізоване планування клітин можливо лише з урахуванням покриття 5G.

Таблиця 3.10. Порівняння функцій мережі

	Взаємодія на рівні RAN		5G SA з EPC 5G C взаємодією на рівні CN
	з ЕПК	з 5GC	
Нарізка мережі	На пристрій (виділене ядро)	За послугу (Увімкнення сторонньої служби)	За послугу (Увімкнення сторонньої служби)
Управління сесіями	Обмежене та централізоване	Гнучка та розподілена (Низька вартість, нижча затримка)	Гнучка та розподілена (Низька вартість, нижча затримка)

QoS	• На одного пред'явника • NW-ініційований	• За потік • UE / NW-ініційований (динамічний QoS)	• За потік • UE / NW-ініційований (динамічний QoS)

На Рис3.17 показано вирівнювання покриття LTE / 5G порівняння між випадками взаємодії на рівні RAN та CN.

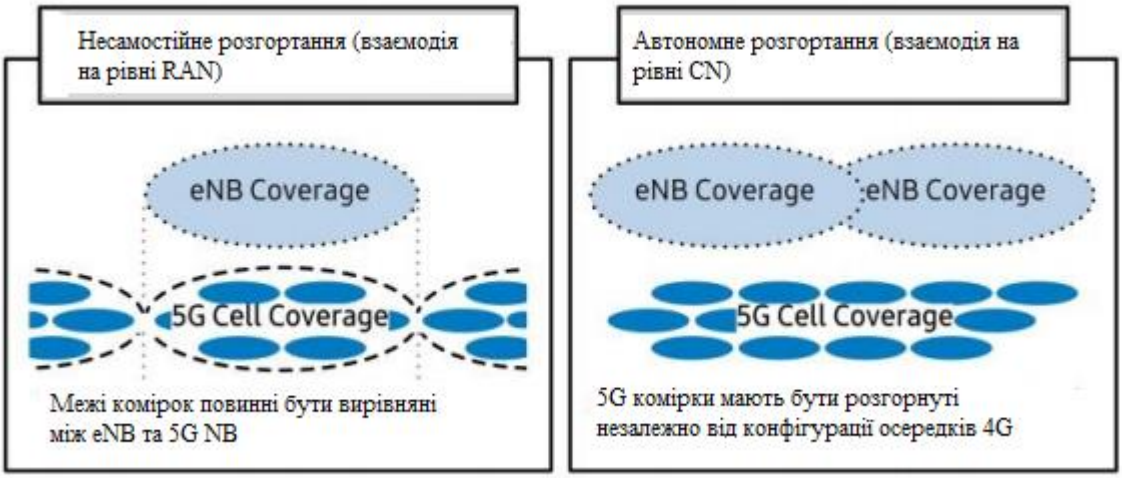


Рис3.17. Гнучкість розгортання

У таблиці 3.11 порівнюється, що слід враховувати при розгортанні комірок 5G для підтримки взаємодії на рівні RAN та взаємодії на рівні CN. Для взаємодії на рівні RAN слід забезпечити вирівнювання покриття LTE та 5G. Планування комірок 5G повинно здійснюватися на вбудований блок LTE / 5G, а також слід забезпечити сумісність між LTE eNB та 5G NB.

З іншого боку, для взаємодії на рівні CN можливе планування стільникового зв'язку 5G на одиницю доступу 5G, а сумісність між LTE eNB та 5G NB не потрібна. Таким чином, взаємодія на рівні CN - це порівняно простий спосіб впровадити RAN з декількома постачальниками та зменшує витрати на планування стільникового зв'язку через меншу кількість міркувань щодо розміщення.

Таблиця 3.11. Порівняння гнучкості розгортання

	Взаємодія на рівні RAN	5G SA з взаємодією на рівні CN
Вирівнювання покриття LTE / 5G	Вимагається	Не обов'язково
Масштабованість	На 4G / 5G інтегрованого NB	На блок доступу 5G
LTE eNB-5G NB Тест на сумісність	Необхідний	Не обов'язково

3.3 Перехід на справжню мережу 5G

Для надання 5G послуги 5G комірки слід розгорнути з повним покриттям. Однак, як описано вище, очікується, що покриття 5G буде частково забезпечене на ранніх етапах комерціалізації 5G послуг та взаємодія з LTE неминуче, щоб компенсувати недостатнє покриття 5G. Спочатку розгортаючи 5G, оператор може вибрати взаємодію на рівні RAN або взаємодію на рівні CNle.

Очікується, що взаємодія на рівні RAN будуватиметься головним чином як спосіб забезпечення швидкісних швидкостей передачі даних у гарячих точках. Очікується, що сервіс почне використовувати EPC, а LTE eNB буде оновлений до eLTE eNB шляхом впровадження 5GC. Після розширення покриття осередками 5G та встановлення повного покриття 5G, 5G NB модернізується для підтримки автономного доступу 5G. У взаємодії на рівні RAN управління повідомлення передається за допомогою радіоінтерфейсу LTE. З іншого боку, в автономних системах 5G повідомлення управління (RRC) передається за допомогою NR радіоінтерфейсу. Отже, оскільки інтерфейс UE на рівні RAN спочатку розгортається, підтримка 5GC та підтримка підключення лише для 5G можуть бути утрудненими або може знадобитися оновлення.

Коли взаємодія на рівні CN розгорнута на початковій стадії послуги 5G, очікується надання послуги 5G шляхом локальної розгортання комірок 5G в деяких зонах обслуговування 5G. У цьому випадку новий 5GC вводиться з самого початку.

Таблиця 3.12. Порівняння міграційних витрат

	Взаємодія на рівні RAN	5G SA з взаємодією на рівні CN
Початковий	Підтримка IWK рівня RAN за допомогою EPC - Розгортання NR - Збільшити потенціал EPC - Оновлення LTE (LTE-NR DC)	Підтримка IWK на рівні CN - NR - 5GC - Оновлення EPC (лише для однієї реєстрації) - Оновлення LTE (лише для однієї реєстрації)
Середній	Підтримка IWK рівня RAN з 5GC - Розгортання 5GC - Оновлення LTE (для підтримки eLTE) - Оновлення NR (для підтримки eLTE)	-
Остаточний	Підтримка True 5G - Розгортання NR - Розгортання 5GC - Збільшити потенціал EPC - Оновлення LTE (для підтримки eLTE) - Оновлення NR (для підтримки eLTE) - Оновлення NR (для підтримки автономної роботи)	Підтримка True 5G - NR - 5GC - Оновлення EPC (лише для однієї реєстрації) - Оновлення LTE (лише для однієї реєстрації)

Це може забезпечити послугу 5G NB та 5GC, мінімізуючи при цьому вплив існуючих LTE eNB. Якщо встановлено повне покриття 5G, послуга 5G буде надана без взаємодії між EPC та 5GC. UE, що підтримує взаємодію на рівні CN, може працювати лише як 4G або лише 5G. Навіть в автономній системі 5G UE можна використовувати без оновлень.

На Рис3.18 показані приклади сценарію міграції для взаємодії на рівні RAN та взаємодії на рівні CN. У таблиці 12 підсумовані витрати за міграційний етап кожного сценарію міграції.

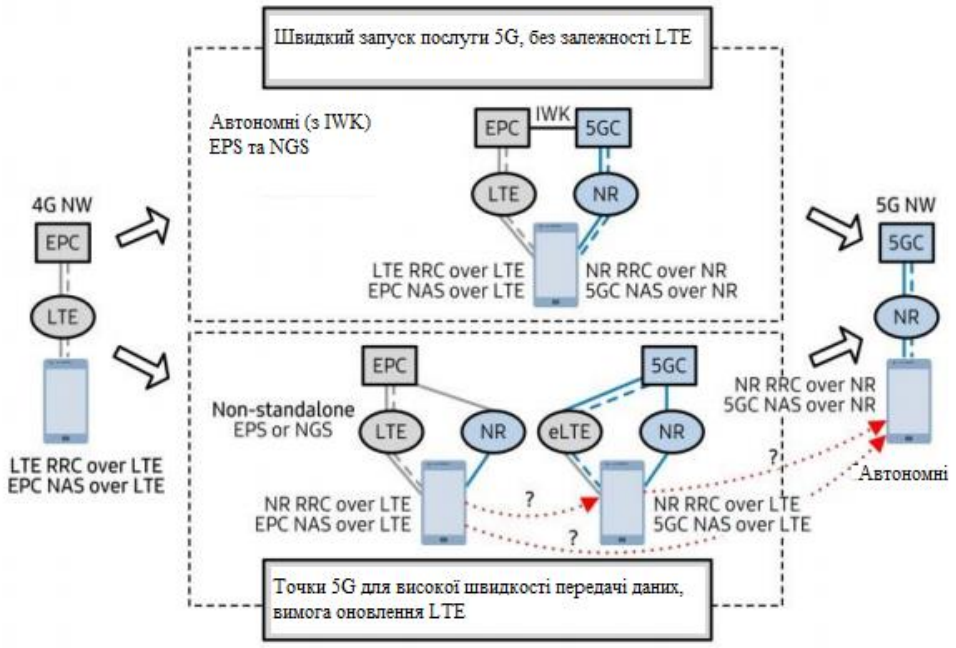


Рис3.18. Приклад сценарію міграції та сумісність знизу вгору

3.4 Розробка в Samsung

Samsung активно працює над стандартизацією 5G. У програмі 3GPP розробляються технічні характеристики для систем. Щоб покращити повноту стандарту 5G, Samsung вносить вклад в основні технології для 5G радіодоступної мережі та 5G базової мережі.

До завершення стандарту 5G в 3GPP, Samsung розробляє комерційні системи для послуг з фіксованим бездротовим доступом (FWA) з використанням основних технологій 5G. Samsung також розробляє термінали та системи для мобільної пробної служби 5G. Термінали і до цього часу системи підтримки комерційного обслуговування на базі стандартних стандартів будуть готові, і взаємодія на рівні RAN та взаємодія на рівні CN будуть підтримуватися.

Висновки

5G - це революційне покоління послуги мобільного зв'язку, яка може забезпечити багатогабаритну швидкість та високу якість користувальницького досвіду. Система 5G також надасть нові послуги, що призводять до зростання доходів для мобільних операторів на основі нових пристроїв. Справжнє обслуговування 5G досягається тоді, коли пристрої можуть отримати доступ до системи 5G в будь-який час і в будь-якому місці.

На практиці покриття 5G може бути обмежене при первинному розгортанні, а взаємодія зі застарілою мережею LTE неминуча, оскільки це вивчається на міграції LTE з 3G. Для підтримки взаємодії між 4G-5G, 3GPP розробляє рішення для взаємодії на рівні RAN та CN. Перша характеризується несамостійною архітектурою (NSA), тоді як остання має окрему (SA) архітектуру.

У даній роботі проаналізовано продуктивність взаємодії 4G-5G для кожної архітектури взаємодії. Аналітичне дослідження використовується для пікової швидкості передачі даних, затримок управління / користувача /ефективності мобільності, а для аналізу енергоефективності проводиться моделювання. Також детально викладені системні питання щодо методів передачі обслуговування в системах мобільного зв’язку 5G.

До завершення стандарту 5G в 3GPP, Samsung розробляє комерційні системи для послуг з фіксованим бездротовим доступом (FWA) з використанням основних технологій 5G і взаємодія на рівні RAN та взаємодія на рівні CN будуть підтримуватися.

Перелік посилань

1.Paul S, Pan J, Jain R. Architectures for the future networks and the next generation internet: A survey. Computer Communication. 2011; 34(1):2–42.

2. Ahmed A, et al. Enabling vertical handover decisions in heterogeneous wireless networks: A state-of the-art and a classification; 2014.

3. Talebi Fard P, Wong T, Leung VCM. Access and service convergence over the mobile internet - a survey. Computer Network. 2010; 54(4):545–57.

4. Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed co-ordination function. Selected Areas in Communications, IEEE Journal. 2000; 18:535–47.

5. Movahedi Z, Ayari M, Langar R, Pujolle G. A survey of autonomic network architectures and evaluation criteria, IEEE Communication. Surveys Tutorials. 2012; 14(2):464–90.

6. Vladimir B, Mishra A, Banerjee S. Eliminating handoff latencies in 802.11 WLANs using multiple radios: Applications, experience and evaluation. Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. CA, USA: USENIX Association; 2005.

7. Mrquez-Barja J, et al. An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools. Computer Communications. 2011; 34:985–997.

8. Chen LJ, et al. A smart decision model for vertical handoff. Proc ANWIRE. 2004; 4:1–5.

9. Salih YK, et al. A novel non cooperative game competing model using generalized simple additive weighting method to perform network selection in heterogeneous wireless networks. International Journal of Communication Systems; 2014.

10. Ormond O, Murphy J, Muntean G. Utility-based intelligent network selection in beyond 3G systems. Communications, 2006. ICC'06. IEEE International Conference. 2006; 4:1831–36.

11. Zekri M, Pokhrel J. Reputation for Vertical Handover decision making. Communications (APCC), 2011. 17th Asia-Pacific Conference; Kota Kinabalu Sabah; Malaysia: Oct 2011. p. 318–23.

12. Fu S, Atiquzzaman M. Sigma: A transport layer handover protocol for mobile terrestrial and space networks. In: Ascenso J, Vasiu L, Belo C, Saramago M, editors. Invited book chapter in e-Business and Telecommunication Networks. Springer; 2006. p. 41–52.

13. Stewart R, et al. Stream Control Transmission Protocol. RFC 2960; Oct 2000.

14.Matsumoto A, Kozuka M, Fujikawa K, Okabe Y. TCP Multi-Home Options, draft-arifumi-tcp-mh-00.txt. IETF Internet draft; Oct 2003.

15. Yi L, et al. D-PMIPv6: A distributed mobility management scheme supported by data and control plane separation. Mathematical and Computer Modelling. 2013; 58:1415–26.

16. Kim SE, John CA. TCP for seamless vertical handoff in hybrid mobile data networks. Global Telecommunications Conference 2003. GLOBECOM'03; SF, USA: IEEE; 2003. p. 2.

17. Nguyen-Vuong QT, et al. Terminal-controlled mobility management in heterogeneous wireless networks. Communications Magazine. IEEE. 2007; 45:122–29.

18. Emmelmann M, Tim L, Marcus S. System design and implementation of seamless handover support enabling real-time telemetry highly mobile users. Proceedings of the 6th ACM international symposium on Mobility management and wireless access. ACM; 2008.

19. Zhu Y, et al. Exploiting mobility patterns for inter-technology handover in mobile environments. Computer Communications. 2013; 36:203–10.

20. Dai Z, et al. Vertical handover criteria and algorithm in IEEE802. 11 and 802.16 hybrid networks. Communications, 2008. ICC'08. IEEE International Conference on; Beijing; China; IEEE: 2008.

21. Mohanty S, Akyildiz I. A cross-layer (layer 2 + 3) handoff management protocol for next-generation wireless systems, IEEE Trans. Mobile Computing; 2006.

22. Park S, et al. QoS-guaranteed Mobile IPTV service in heterogeneous access networks. Computer Networks. 2014; 69:66–81.

23. Alnas M, Irfan A, Holton DRW. Enhanced Mobile IP handoff using link layer information. Proceedings of the 11th International Conference on Information Integration and Web-based Applications Services; Kuala Lumpur, Malaysia: ACM; 2009.

24. Chang BJ, Chen JF. Cross-layer-based adaptive vertical handoff with predictive RSS in heterogeneous wireless networks. IEEE Transactions Vehicular Technology. 2008; 57(6):3679–3692.

25. Kim B-K, et al. Enhanced FMIPv4 horizontal handover with minimized channel scanning time based on Media Independent Handover (MIH). Network Operations and Management Symposium Workshops. 2008. NOMS Workshops 2008. IEEE; 2008.

26. Wang C, Lin P-C. A neural-network-based context-aware handoff algorithm for multimedia computing. ACM Trans. Multimedia-Computer Communication Appl. 2008; 4(3):17.

27. Kang J-M, et al. Autonomic personalized handover decisions for mobile services in heterogeneous wireless networks. Computer Networks. 2011; 55:1520–32.

28. Adiline Margie T, Anandha Kumar P. Mobility Management for Seamless Information flow in Heterogeneous Networks Using Hybrid Handover. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. 2010; 10(2).

29. Raisinghani VT, Iyer S. Cross-layer design optimizations in wireless protocol stacks. Computer Communications. 2004; 27:720–24.

30. Chamodrakas I, Martakos D. A utility-based fuzzy TOPSIS method for energy efficient network selection in heterogeneous wireless networks. Applied Soft Computing. 2012; 12: 1929–38.

31. Lee CW, Chen LM, Chen MC, Sun YS. A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile ipv6. IEEE J. Selected Areas Communication. 2005; 23(11):2118–28.

32. Lin CP, et al. A predictive handover scheme to improve service quality in the IEEE 802.21 network. Computers Electrical Engineering. 2012; 38:681–93.

33. Joe IW, Shin MC. A mobility-based prediction algorithm with dynamic lgd triggering for vertical handover. 2010 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC); 2010.

34. Roy, et al. QoS guaranteed integration methodology for a WLAN-WiMAX heterogeneous network. Computers Electrical Engineering. 2011; 37:261–274.

35. Zhu F, Nair JMc. Multiservice vertical handoff decision algorithms. EURASIP Journal on wireless communications and networking; 2006.

36. Tawil R, Salazar O, Pujolle G. Vertical handoff decision scheme using MADM for wireless networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'2008); Las Vegas, USA. 2008.

37. Kikilis A, Angelos R. Formulation of optimization problems for access selection in next generation wireless networks. Proceedings of the 3rd international

conference on Mobile multimedia communications. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering); Brussels; Belgium: 2007.

38. Ying W, et al. Vertical handover decision in an enhanced media independent handover framework. Wireless Communications and Networking Conference; Las Vegas; Nevada; USA; IEEE: 2008.

39. Chang B-J, Chen J-F. Cross-layer-based adaptive vertical handoff with predictive RSS in heterogeneous wireless networks. Vehicular Technology, IEEE Transactions. 2008; 57(6):36979–92.

40. Stevens-Navarro E, Wong VWS, Yuxia L. A vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks. Wireless Communications and Networking Conference; Hong Kong; China; IEEE: 2007.

41. Ning Z, et al. Markov-based vertical handoff decision algorithms in heterogeneous wireless networks. Computers and Electrical Engineering. 2014; 40(2):456–72.

42. Haddad M, et al. A nash-stackelberg fuzzy Q-learning decision approach in heterogeneous cognitive networks. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010); Miami, FL, USA. 2010.

43. Taenaka Y, et al. An implementation design of a cross-layer handover method with multi-path transmission for VoIP communication. Ad Hoc Networks. 2014; 13:462–75.

44. Koodli R. Fast handovers for mobile IPv6; 2005.

45. Shan L, et al. Predictive group handover scheme with channel borrowing for mobile relay systems. IEEE Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC’08); Crete, Greece. 2008.

46. Rehan M, Muhammad Y, Amir Q, Shahzad M. A cross-lay-er user centric vertical handover decision approach based on MIH local triggers. Wireless and Mobile Networking; Berlin Heidelberg: Springer; 2009; 308:359–69.

47. Trestian R, et al. Reputation-based network selection mechanism using game theory. Physical Communication. 2011; 4:156–71.

48. Giacomini D, Anjali A. Vertical handover decision making using QoS reputation and GM (1, 1) prediction. 2012 IEEE International Conference on Communications (ICC); 2012.

49. Akyildiz IF, et al. A survey of mobility management in nextgeneration all-IP-based wireless systems. IEEE Wireless Communications. 2004; 11:16–28.

50. Tsukamoto K, et al. Implementation design of handover management scheme for efficient multimodal communication. Networking and Communication. IEEE Internation al Conference on Wireless and Mobile Computing (WIMOB'08); Avignon; France. 2008.

51. Seigneur J-M, Xavier T, Tewfiq EM. Towards mobile/wearable device electrosmog reduction through careful network selection. Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference; New York, NY, USA: ACM. 2010.

52. Hassan WH, Ahmed M A-I. An IPv6 Test Bed for Mobility Support in Next Generation Wireless Networks. Digital Information and Communication Technology and Its Applications. Berlin Heidelberg: Springer; 2011. p. 9-20.

53. Eddy WM. At what layer does mobility belong? IEEE Communications Magazine. 2004; 42(10):155–59.

54. Kassar M, et al. An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. Computer Communications. 2008; 31:2607–20.