ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1 ПРЕЗУМПЦІЇ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ 6
1.1 Передумови для розвитку безпроводової мережі зв’язку 6
1.2 Еволюція розвитку безпроводових технологій 7
Висновки 17
РОЗДІЛ 2 18
ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖІ 5G: ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ, ПИТАННЯ ЩОДО ПЛАНУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ 18
2.1 Передумови для створення нового покоління мобільного безпроводового зв’зку 5G 18
2.2 Зовнішнє то внутрішнє обладнання мережі, як основна концепція для розвитку стільникової 5G архітектури 20
2.3 Мережа 5G: проблеми, принципи реалізації та дизайну 24
2.3.1 Ємність системи та швидкість передачі даних 26
2.3.2 Кінцевий час затримки 28
2.3.3 Масова кількість з'єднань 30
2.3.4 Вартість 31
2.3.5 Якість досвіду 32
2.4 Бачення архітектури мобільної мережі 5G 33
2.4.1 Логічні рівні мережі: радіомережа та мережа хмари 35
2.4.2 Динамічне розгортання та масштабування мережевих функцій із SDN та NFV 36
2.4.3 Lean стек протоколів 37
2.4.4 Дані, керовані мережевим інтелектом 39
2.5 Використання малих стільникі для збільшення пропускної здатності та підтримки мобільності користувачів 40
Висновки 44
РОЗДІЛ 3 46
ДОСЛЕДЖЕНЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ У КОНЦЕПЦІЇ 5G CLOUD МЕРЕЖІ 46
3.1 Основи віртуалізації мережі 46

3.1.1 Технічні питання NFV 48
3.2 Роль віртуалізації у сучасній мобільній мережі 51
3.3 Віртуалізація комунікаційної інфраструктури 51
3.4 Віртуалізована функція малих стільників 52
3.5 Технологічні тенденції в малих стільниках.....55
Висновки 57
РОЗДІЛ 4 59
ТЕХНОЛОГІЯ МАЛИХ ВІРТУАЛЬНИХ СТІЛЬНИКІВ У МЕРЕЖАХ П’ЯТОГО ПОКОЛІННЯ 5G.....59
4.1 Опис технології формування малих віртуальних стільників 59
4.2 Формування віртуальних малих стільників, аналіз. 61
Висновки 69
ВИСНОВКИ.....71

ВСТУП

Наприкінці 70-х років, з моменту свого заснування, мобільний безпроводовий зв'язок пройшов шлях від аналогових голосових дзвінків до сучасних технологій, які допомагають забезпечити високоякісні послуги мобільного широкосмугового доступу з швидкістю передачі даних між кінцевими користувачами в декілька мегабіт на секунду на широких територіях, і десятках або навіть сотні мегабіт на секунду локально. Значні покращення потенціалу мереж мобільного зв'язку, а також ініціювання нових типів мобільних пристроїв, таких як смартфони та планшети, спричинили виверження нових додатків, які будуть використовуватися у мобільному зв'язку та, як наслідок, впливати на експоненційне зростання мережевого трафіку.

Актуальними тенденціями розвитку телекомунікацій є перехід до мереж майбутнього покоління FGN (Future Generation Network). Рекомендується, що проектування, експлуатацію та розробку мереж майбутнього потрібно здійснювати таким чином, щоб забезпечити надійність, безпечність, а також живучість для надання можливості системі своєчасно виконувати свою роль – забезпечувати належний рівень обслуговування. Головною проблемою традиційних мереж є те, що вони занадто статичні і, тому не відповідають динаміці, властивої сучасному бізнесу, на відміну від серверів з технологіями віртуалізації.

Безпроводова технологія 5G забезпечує революцію у майбутніх всеосяжних мережах, безпроводових додатках та якісному досвіді користувачів. Щоб реалізувати свій потенціал, мережа 5G має забезпечити набагато більшу ємність мережі, забезпечити масове з'єднання пристроїв із зменшеною затримкою та вартістю та досягти значної економії енергії у порівнянні з існуючими бездротовими технологіями.

Віртуалізація відіграє основну роль у розвитку телекомунікаційних послуг та інфраструктури, змушуючи переосмислити деякі традиційні парадигми дизайну мобільної мережі та надавати ті функції, необхідні для підтримки нових складних екосистем, де багато учасників можуть брати участь у динамічному та безпечному середовищі.

На сьогоднішній день, основні наукові дослідження з теми віртуалізації мереж 5-го покоління можна умовно поділити на:

- Централізовані безпроводові мережі з радіодоступом (C-RAN), які стануть попередниками хмарних мереж радіодоступу.
- Віртуалізація мережевих функцій (NFV), яка спрямовує процес розробки нової базової мережевої архітектури, що дозволяє спростити розгортання нових послуг.
- Стільникова віртуалізація, що дозволить розширити концепцію віртуалізації за межами базової мережевої архітектури до радіохвиль.
- Віртуалізація сервісів, яка відображає потребу мереж 5G підтримувати додатки з різними налаштуваннями.

Основною перевагою віртуалізації стільників – є можливість значного збільшення ємності мережі. Окрім цього, оператори зв’язку можуть впливати на віртуалізацію для впровадження нових бізнес-моделей. Важливою новизною, яку уможливлює багатомережність, є можливість відокремлення ролей та функцій операторів мобільної мережі (MNO) між кількома операторами: такими як постачальники послуг, постачальники інфраструктури та постачальник послуг мережі. Окрім MNO, нові ланки постачальників послуг віртуальних мережевих операторів (MVNO) та Over-The-Top (OTT) уходять в ланцюжок вартості. Наприклад, оператори малих стільників можуть скористатися цією структурою для надання існуючим MNOs доступу до мережевих ресурсів, виступаючи в ролі нейтрального хоста. Власники

територій, компанії з нерухомості, муніципалітети тощо можуть стати операторами Small Cell шляхом розгортання відповідної інфраструктури доступу до малих стільникових мереж та надання нових послуг, особливо в умовах високого трафіку, а також з високими тарифами на обмежені потреби кінцевих користувачів, таких як офіси, щільні міські райони, стадіони, торгові центри та концертні площадки.

Отже, мережа 5G разом з технологією віртуализації породжують нові принципи та підходи, які можуть покращити сучасні показники мережі, збільшити масштабованість, зробити мережу більш гнучкою до змін та впровадження нових технологій.

РОЗДІЛ 1
ПРЕЗУМПЦІЇ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Передумови для розвитку безпроводової мережі зв’язку

У найближчому майбутньому, тобто за межами 4G, деякі з головних завдань або вимог, які потрібно вирішити, - це збільшення пропускної спроможності, покращена швидкість передачі даних, зниження затримки та поліпшення якості обслуговування. Для задоволення цих вимог необхідно зробити кардинальні поліпшення в архітектурі стільникової мережі. Окрім цього, деякі з нових технологій, включають в себе управління інтерференцією, спектральний зв'язок з когнітивним радіо, ультра щільні мережі, асоціацію технологій мультиадресного доступу, повнодуплексні радіостанції, рішення міліметрових хвиль для стільникових мереж 5G та Cloud Технології для мереж радіозв'язку 5G та програмно визначених мереж (SDN).

Щоб реалізувати презумпції та виклики найближчого майбутнього, сучасні мережі безпроводового зв'язку повинні просуватися по-різному. Нові технології, такі як високошвидкісний пакетний доступ (HSPA) і LTE, будуть запущені як сегмент покращення поточних безпроводових технологій. Тим не менше, допоміжні компоненти можуть також стати майбутніми новими безпроводовими технологіями, які можуть додатково впливати на розвинені технології. Зразком цих нових компонентів технології є різні способи доступу до спектру та значно вищі частотні діапазони, нав'язування масивних антенних конфігурацій, прямий зв’язок пристрій-пристрій, та ультра-щільні розгортання.

Уява найближчого майбутнього - це мережеве суспільство з необмеженим доступом до інформації та обміну даними, доступне скрізь і завжди, для кожного та будь-що. Щоб усвідомити цю уяву, потрібно вивчити нові технологічні компоненти для розвитку існуючих безпроводових

технологій. Сучасні технології безпроводового зв'язку, такі як технології LTE, 3GPP, HSPA та Wi-Fi, будуть включати в себе нові технологічні компоненти, які допоможуть задовольнити потреби майбутнього. Тим не менше, можуть існувати певні сценарії, які не можуть бути належним чином розглянуті разом з розвитком поточних існуючих технологій. Народження абсолютно нових безпроводових технологій буде доповнювати поточні технології, необхідні для довготривалої реалізації мережевого суспільства.

1.2 Еволюція розвитку безпроводових технологій

Гульєльмо Марконі, італійський винахідник, відкрив шлях безпроводового зв'язку, передаючи букву "S" на відстані 3 кілометрів у вигляді триточкового коду Морзе за допомогою електромагнітних хвиль. Після цього, безпроводові зв'язки стали важливою частиною сучасного суспільства. Оскільки супутниковий зв'язок, телебачення та радіопередача стали поширюватися на мобільні телефон, безпроводовий зв'язок перетворив стиль, в якому працює суспільство.

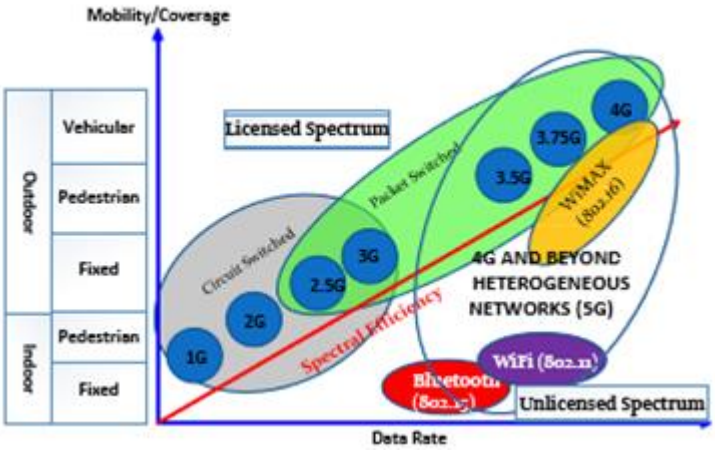

Рис.1.1 Еволюція безпроводового зв’язку

Еволюція безпроводового зв'язку показана на рисунку 1.1. На ньому зображено, як розвивалися покоління безпроводових технологій з точки зору швидкості передачі даних, мобільності, покриття та спектральної

ефективності. Оскільки попит на безпроводові технології зростає, швидкість передачі даних, мобільність, покриття та спектральна ефективність також покращуються. На рисунку зображено, що технології 1G та 2G використовують технологію комутації каналів, 2.5G і 3G використовують комутації як каналів, так і пакетів, а наступні покоління від 3.5G до теперішнього часу, тобто 5G використовують тількі пакетні комутації. Окрім цих факторів, він також розрізняє ліцензований спектр та неліцензійний спектр. Усі покоління, що розвиваються, використовують ліцензований спектр, а Wi-Fi, Bluetooth та WiMAX використовують неліцензійний спектр. Нижче наведено огляд технологій, що розвиваються:

A. 1G

Перше покоління було оголошено на початку 1980-х років. Воно мало швидкість передачі даних до 2,4 кбіт/сек. Основними абонентами були передові мобільні телефони (AMPS), Nordic Mobile Telephone (NMT) та система зв'язку Total Access (TACS). Перше покоління має багато недоліків, таких як низька пропускна спроможність, непродумана передача послуг, слабка голосова асоціація та відсутність захисту, оскільки голосові дзвінки зберігалися та відтворювалися в радіомачтах, внаслідок чого була висока вразливість дзвінків від небажоного підслуховування третьої сторони.

B. 2G

Друге покоління було введено в кінці 1990-х років. Цифрові технології почали використовуватися в мобільних телефонах другого покоління. Глобальні системи для мобільного зв'язку (GSM) - це перша система 2-го покоління, що використовується переважно для голосового зв'язку та передачі даних до 64 Кбіт / с. 2G-акумулятори для мобільних телефонів мають більшьий запас роботи за часом, оскільки радіосигнали мають низьку потужність. Він також надає послуги, як короткі повідомлення (SMS) та електронну пошту.

Найважливішими технологіями були GSM, Code Division Multiple Access (CDMA) та IS-95 .

C. 2.5G

Це покоління можна охарактеризувати як стільникову мережу 2-го покоління, об'єднану з техннологією передачі данних GPRS, та інших переваг, що не надавалися в мережах 2G або 1G. Система 2.5G зазвичай використовує системні рамки 2G, але застосовує пакетну комутація разом із комутацією каналів. За допомогою цього досягається швидкість передачі даних до 144 кбіт/сек. Основними технологіями 2.5G були GPRS, покращена швидкість передачі даних для GSM Evolution (EDGE) і CDMA 2000.

D. 3G

Третє покоління було створено наприкінці 2000 року. Воно забезпечує швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с. Системи третього покоління (3G) об'єднують високошвидкісний мобільний доступ до послуг на основі Інтернет-протоколу (IP). Окрім швидкості передачі, для збереження QoS було зроблено нестандартне вдосконалення. Додаткові зручності, такі як глобальний роумінг і покращена якість передачі голосу, зробили 3G чудовим поколінням. Основним недоліком для телефонів 3G є те, що вони вимагають більшої потужності, ніж більшість моделей 2G. Разом з цим тарифні плани на мережі 3G є дорожчими, ніж 2G. Оскільки 3G включає в себе впровадження та використання технології WCDMA, UMTS та CDMA 2000 такі технології, як HSUPA/HSDPA та EVDO зробили проміжне покоління безпроводових мереж від 3G та 4G, названих як 3.5G з покращеною швидкістю передачі даних 5-30 Мбіт/с.

E. 3.75G

Технології LTE та WIMAX - це майбутнє послуг мобільної передачі даних. LTE та Fixed WIMAX мають потенціал для покращення можливостей мережі та надають значній кількості користувачів можливість доступу до широкого спектру високошвидкісних послуг, таких як відео за запитом, сумісне використання файлів та складні веб-сервіси. Поряд з цим доступний додатковий спектр, який дозволяє операторам належним чином керувати своєю мережею та забезпечувати краще покриття з підвищенням продуктивності за меншу вартість.

F. 4G

4G зазвичай називають нащадком стандартів 3G і 2G. Проект 3GPP наразі стандартизує технологію LTE Advanced як майбутній стандарт 4G разом із WIMAX. Система 4G переважає існуючі мережі зв'язку, надаючи повне та надійне рішення на основі IP. Переваги, такі як голос, дані та мультимедіа, будуть передаватися користувачам кожного разу і скрізь, і при досить високих швидкостях передачі даних, як це стосується попередніх поколінь. Додатки, що використовуються для використання мережі 4G, - це служби мультимедійних повідомлень (MMS), цифрові відео трансляції (DVB), відеочат та мобільне телебачення.

G. 5G

З експоненціальним зростанням попиту користувачів, тепер 4G буде легко замінено на 5G з використанням передової технології доступу, що називається BDMA та квазі-ортогональний або FBMC множинний доступ. З використанням цієї технології для кожної мобільної станції виділяється ортогональний пучок, і технологія BDMA розподілить цей пучок антени відповідно до розташувань мобільних станцій для надання багаторазових доступів до мобільних станцій, що відповідно збільшує пропускну спроможність системи. Передбачається, що 5G мережа повинна вирішувати

шість задач, які не ефективно вирішуються з 4G, а саме: впровадження більш високої ємності, більш високої швидкості передачі даних, меншою затримки між користувачами, масивним підключенням пристроїв, зменшенням вартості та послідовності забезпечення якості досвіду. Нещодавно введені стандарти IEEE 802.11ac, 802.11ad та 802.11af дуже корисні та служать будівельними блоками на шляху до 5G. Технічне порівняння між цими стандартами наведено в таблиці 1 та детальне порівняння безпроводових поколінь наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Еволюція безпроводових технологій

Покоління	Технологія доступу	Швидкість передачі даних	Частотний діапазон	Пропускна здатність	Попередня помилка корекції	Комутація	Застосунки
1G	Advanced Mobile Phone Service (AMPS) (Frequency Division Multiple Access (FDMA))	2.4 kbps	800 MHz	30 KHz	Немає	Канальна	Голос
2G	Global Systems for Mobile communications (GSM) (Time Division Multiple Access (TDMA))	10 kbps	850/900/1800/1900 Mhz	200 KHz	Немає	Канальна	Голос+Дата

	Code Division Multiple Access (CDMA)	10 kbps		1.25 MHz			
2,5G	General Packet Radio Service (GPRS)	50 kbps		200 KHz		Канальна/Пакетна	
	Enhanced Data Rate for GSM Evolution (EDGE)	200 kbps		200 KHz			
3G	Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) / Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS)	384 kbps	800/850/900/1800/1900/2100 Mhz	5 MHz	Турбо код	Канальна/Пакетна	Голос+Дата+Відео дзвінки
	Code Division Multiple Access (CDMA) 2000	384 kbps		1,25 MHz		Канальна/Пакетна	

3,5G	High Speed Uplink / Downlink Packet Access (HSUPA / HSDPA)	5-30 Mbps		5 MHz		Пакетна	
	Evolution-Data Optimized (EVDO)	5-30 Mbps		1,25 MHz		Пакетна	
3,75G	Long Term Evolution (LTE) (Orthogonal / Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (OFDMA / SC-FDMA)	100-200 Mbps	1,8 Ghz 2,6Ghz	1,4 MHz to 20 MHz	Каскадний код	Пакетна	Онлайн ігри + Високоясне телебачення
	Worldwide Interoperability for Microwave Access / Fixed WiMAX	100-200 Mbps	3,5 GHz and 3,8 GHz initially	3,5 MHz and 7 MHz in 3,5 GHz band; 10 MHz in			

	(WiMAX)(Scalable SOFDMA)				5,8 GHz band			
4G	Long Term Evolution Advanced (LTE-A) (Orthogonal / Single Carrier Frequency Division Multiple Access) (OFDMA / SCFDMA)		DL 3Gbps UL 1.5Gbps	1,8 Ghz 2,6Ghz	1,4MHz to 20 MHz	Турбо код	Пакетна	Онлайн ігри + Високоясне телебачення
	Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)(Scalable Orthogonal Frequency	Mobile WiMAX	100-200 Mbps	2,3 GHz, 2,5 GHz and 3,5 GHz initially	3,5 MHz, 7 MHz, 5 MHz, 10 MHz, and 8,75 MHz initially			

	Division Multiple Access(SOFDMA))							
5G	Beam Division Multiple Access (BDMA) and Non- and quasi-orthogonal or Filter Bank multi carrier (FBMC) multiple access		10-50 Gbps (expected	2.6 GHz and expected 30-300 GHz	60 Ghz	Коди перевірки паритету низької щільності (LDPC)	Пакетна	Відео надвисокої якості + Застосунки віртуальної реальності

Висновки

Нові стандарти безпроводових мереж пропонують нові можливості для користувачів, в той час як нові додатки то сервісі роблять очікування користувачів вищим за існуючі можливості мереж. Розвиток безпроводових технологій супроводжується покращенням якості зв’язку, збільшненням пропускної спроможності та показниками мобільності. Але в той же час, нові стандарти вимагають операторів зв’язку адаптуватися до вимог та нової архітектури, що впливає на швидкість масштабування майбутньої мережі. Очевидно, що мережа 5G повинна запропонувати новий підхід до формування архітектури мережі, у якому б покращення мережі та введення нових технологій могло б супроводжуватися без значної зміни архітектури. В той же час, оператори зв’язку зацікавлення у використанні нових технологій лише на той час, та в тому місті, де це є необхідним згідно попите користувачів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖІ 5G: ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ, ПИТАННЯ ЩОДО ПЛАНУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ

2.1 Передумови для створення нового покоління мобільного безпроводового зв’зку 5G

Незважаючи на досягнення, що є у розробці стільникових мереж четвертого покоління, нові вимоги, що виникають у зв'язку з новими потребами зв'язку, потребують створення мобільної мережі п'ятого покоління (5G). Нові приклади використання, такі як потокове передавання відео високої якості, сенсорний Інтернет, безпека дорожнього руху, віддалений контроль та управління в реальному часі містять нові вимоги, пов'язані з пропускною спроможністю, затримкою між кінцевими користувачами (E2E) та надійністю в мережі. Крім того, послуги передбачають надання періодичного або постійного зв'язку для комунікацій машинного типу (MTC), що охоплює різноманітні послуги, такі як підключені до зв’язку автомобілі, будинки, рухомі роботи та датчики, які повинні підтримуватися ефективним та масштабованим способомам. Більш того, деякі нові тенденції, такі як «розумні» пристрої, технології 3D занурення та віртуальна реальність, впливають на поведінку кінцевих користувачів і безпосередньо впливають на вимоги, що висуваються до мережі. У той же час, ультра-щільні розгортання малих стільників та нові технології, такі як масивні MIMO, програмно-мережеві мережі (SDN) та віртуалізація мережевих функцій (NFV), дають імпульс для переосмислення основних принципів проектування мережі 5G.

Для того, щоб впоратися з такими зростаючими вимогами, оператори постійно інвестують кошти для підвищення можливостей мережі та оптимізації її використання. Оператори розгортають більш локалізовану потужність у вигляді малих стільників (наприклад, піко- і фемто- стільників та

віддалених радіоточок, які підключені до централізованих підсилювачів під оптичним волокном) для підвищення можливостей. Крім того, широко поширене завантаження трафіку до фіксованих мереж за допомогою технологій локального використання, таких як Wi-Fi у неліцензованих частотних діапазонах. Щоб оптимізувати використання мережі для кращого QoE справедливим способом, мобільні мережі також інтегрують більше функцій, таких як глибока перевірка пакетів (DPI), кешування та перекодування. Проте всі ці поліпшення призводять до значних капітальних та експлуатаційних витрат.

Із зростаючою складністю та пов'язаними витратами, декілька концепцій та технологій, які виявилися корисними для сектора інформаційних технологій (IT), стають актуальними і для стільникових мереж. Наприклад, галузева специфікаційна група (ISG), створена під егідою Європейського інституту стандартів телекомунікацій (ETSI ISG NFV), в даний час працює над визначенням вимог та архітектури для віртуалізації мережевих функцій та вирішення виявлених технічних проблем. Аналогічним чином, Фонд Відкритої мережі затвердив Робочу групу з Безпроводової та Мобільної мережі в листопаді 2013 р. Для ідентифікації випадків використання в безпроводовому та мобільному областях, які можуть скористатися SDN на основі OpenFlow.

Для того, щоб зараз розглянути мережу 5G на ринку, очевидно, що технології багаторазового доступу в мережі вимагають різкого поліпшення. Поточні технології, такі як OFDMA, працюватимуть як мінімум протягом наступних 50 років. Крім того, немає потреби в змінах налаштувань безпроводової мережі, що мали місце від 1G до 4G. Як альтернатива, може існувати тільки додавання додатків або покращення, виконане в основній мережі, щоб задовольнити потреби користувачів. Це спровокує провайдерів пакетів переходити на мережі 5G оскільки, 4G вже є комерційно налаштованим.

2.2 Зовнішнє то внутрішнє обладнання мережі, як основна концепція для розвитку стільникової 5G архітектури

Для задоволення потреб користувачів та подолання викликів, висунутих у системі 5G, необхідна суттєва зміна стратегії проектування безпроводової стільникової архітектури 5G. Загальне спостереження дослідників показало в , що більшість безпроводових користувачів залишаються всередині приблизно в 80 відсотків часу і за її межами приблизно в 20 відсотків часу. У сучасній безпроводовій стільниковій архітектурі, для того, щоб мобільний користувач спілкувався всередині або зовні, зовнішня базова станція, присутня у середині стільника, допомагає у спілкуванні. Таким чином, щоб внутрішні користувачі могли спілкуватися з зовнішньою базовою станцією, сигнали повинні проходити через стіни приміщень, і це призведе до дуже високої втрати проникнення, що відповідно призводить до зниження спектральної ефективності, швидкості передачі даних та енергоефективності безпроводового зв'язу. Щоб подолати цей виклик, нова ідея або технологія проектування, яка з'явилася для побудови 5G-стільникової архітектури, полягає у відокремленні зовнішніх та внутрішніх установок. За допомогою цієї технології проектування, втрата проникнення через стіни будівлі буде трохи зменшена. Ця ідея буде підтримуватися за допомогою масивної технології MIMO, в якій розгорнуто географічно розподілений антенний масив, який має десятки або сотні антенних пристроїв. Оскільки сучасні системи MIMO використовують дві або чотири антени, ідея масивних систем MIMO висунула ідею використання переваг великих масивних антенних елементів з точки зору великих збережень потужності.

Щоб побудувати велику масивну мережу MIMO, по-перше, зовнішні базові станції будуть оснащені великими антенними масивами, серед яких деякі розсіюються навколо гексагонального стільника і з'єднані з базовою

станцією через оптичні кабелі, що підтримуються масивними технологіями MIMO. Мобільні користувачі, які знаходяться на вулиці, зазвичай оснащені певною кількістю антенних пристроїв, але за допомогою співпраці можна побудувати великий віртуальний антенний масив, який разом з антенними масивами базової станції утворює віртуальні масивні MIMO-лінії. По-друге, кожна будівля буде встановлюватися з великими антенними масивами зовні, для зв'язку з відкритими базовими станціями за допомогою лінії зіркових компонентів. Точки безпроводового доступу всередині будівлі з'єднані з великими антенними масивами через кабелі для зв'язку з користувачами в приміщенні. Це значно покращить енергоефективність, середню пропускну здатність стільників, швидкість передачі даних та спектральну ефективність стільникової системи, але за рахунок збільшення вартості інфраструктури. З введенням такої архітектури внутрішнім користувачам доведеться з'єднуватися або спілкуватися лише з внутрішніми точками безпроводового доступу, тоді як великі антенні масиви залишаться встановленими поза приміщеннями. Для внутрішнього зв'язку певні технології, такі як Wi-Fi, малі стільники, передачі сигналів у мілітровому,ультра широкосмуговому діапазоні та світлові передача даних, корисні для комунікацій з малим діапазоном зв’язку та мають великі швидкості передачі даних. Але такі технології, як: міліметрові хвилі та світлова передача даних, використовують більш високі частоти, які традиційно не використовуються для стільникового зв'язку. Але використання високочастатних хвиль для зовшнішних та дальніх застосувань не є ефективною ідеєю, оскільки ці хвилі не проникатимуть крізь щільні матеріалів ефективно і можуть легко розсіятися крапельками дощу, газами та флорою. Тим не менш, технології міліметрової хвилі та світлової передачі даних можуть підвищити швидкість передачі даних для внутрішніх установок, оскільки вони мають велику пропускну здатність. Поряд із введенням нового спектру, який традиційно не використовується для

безпроводового зв'язку, існує ще один спосіб вирішення проблеми нестачі спектру за допомогою когнітивних радіосигналів (CR).

Загальна архітектура 5G стільникової мережі зображена на рисунку 2.1. Вона описує взаємозв'язок між різними новими технологіями, такими як Massive MIMO, Cognitive Radio, мобільними та статичними мережами малих стільників. Ця архітектура також пояснює роль мережевої віртуалізації функцій (NFV) в архітектурі 5G стільникової мережі. Концепція зв'язку Device-to-Device (D2D), точок доступу до малих клітин та Інтернет речей (IoT) також була включена в цю загальну 5G стільникову мережеву архітектуру. Загалом, ця запропонована 5G стільникова мережа може забезпечити гарну платформу для майбутньої мережі стандартизації 5G.

Але існують кілька проблем, які потребують вирішення, з метою реалізації архітектури безпроводової мережі, зокрема, і мереж 5G в цілому. Деякі з цих питань те методи їх вирішення розглянуто у наступному розділі.

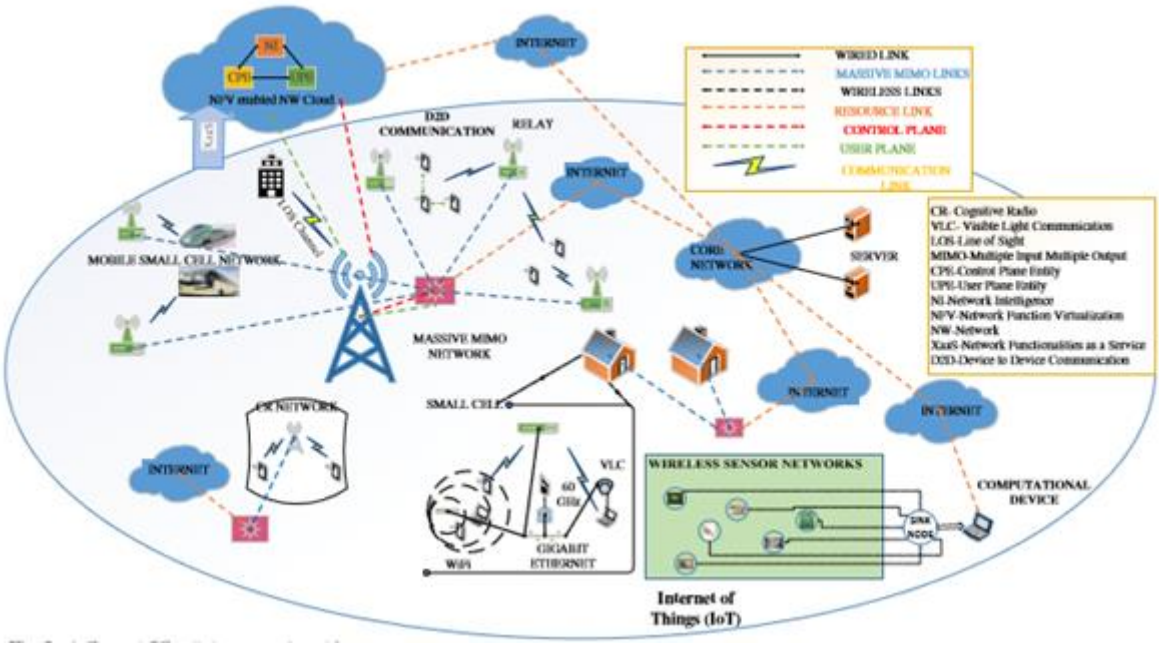

Рисунок 2.1 Загальна архітектура стільникової мережі 5G

2.3 Мережа 5G: проблеми, принципи реалізації та дизайну

Виходячи з поточних тенденцій, загальновизнано, що 5G мобільна мережа має вирішувати шість викликів, які недостатньо обгрунтовані сучасними розгорнутими мережами (Long Term Evolution-Advanced): збільшення ємності, збільшення швидкісті передачі даних , зменшення часу затримки між кініевими користувачами, масове з'єднання пристроїв, зменшення капітальних та операційних витрат та послідовне забезпечення QoE. Ці проблеми коротко обговорюються нижче разом з деякими потенційними можливостями для їх вирішення. На малюнку 1 наведено огляд проблем, впливів, та відповідних принципів розробки для 5G. Слід зазначити, що наведені на малюнку 1 можливості для впровадження також вводять власний комплекс завдань та відповідні основні показники ефективності (KPI). Деякі з цих проблем обговорюються у відповідних розділах. Тим не менш, детальне обговорення відповідних KPI виходить за рамки магістреської роботи

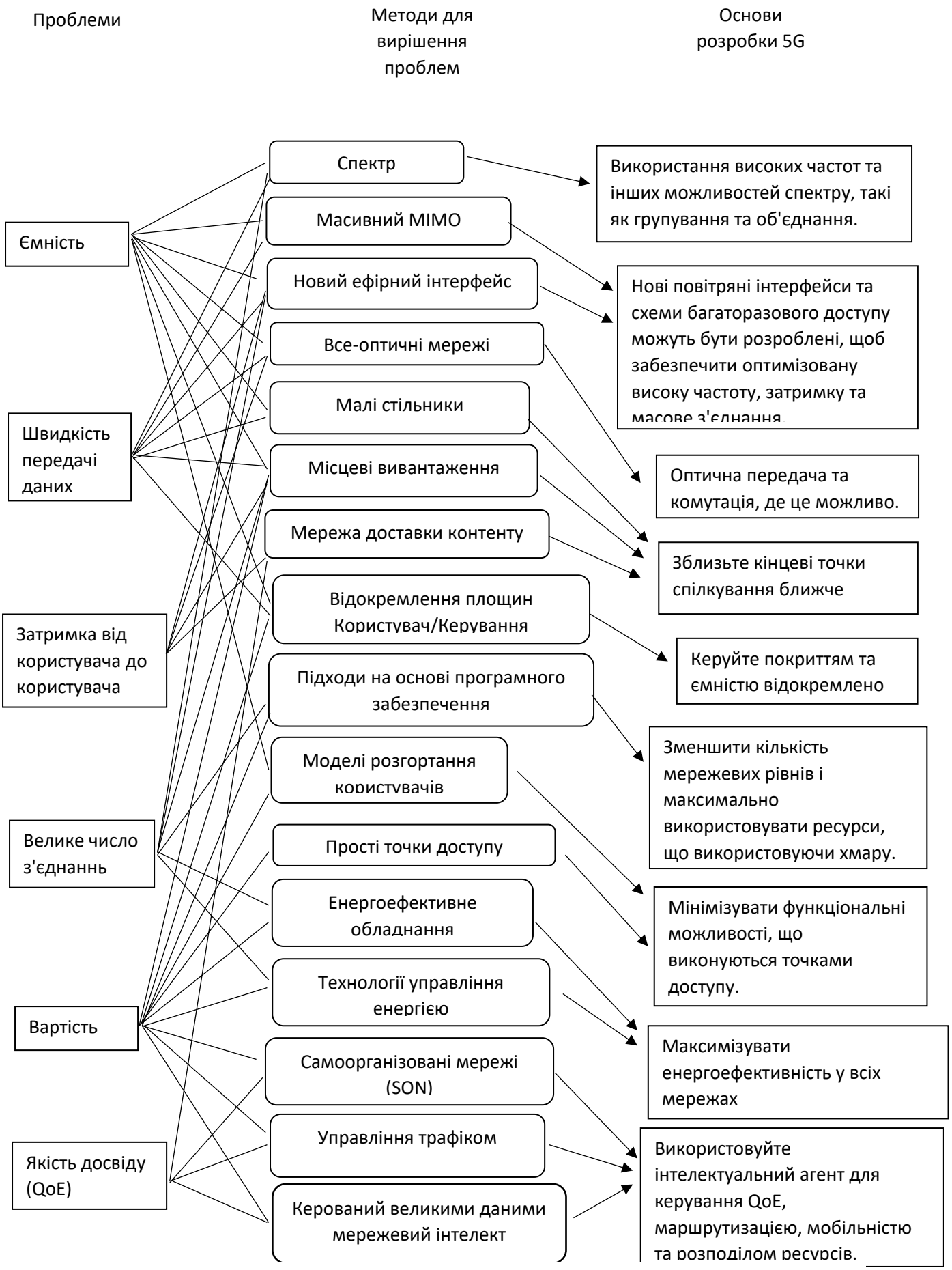

Рис.2. Мережа 5G: проблеми, методи їх вирішення та основи розробки

2.3.1 Ємність системи та швидкість передачі даних

Після 2020 року мобільні мережі повинні підтримувати 1000-кратне збільшення трафіку у порівнянні з рівнями 2010 року та 10-100-кратне збільшення швидкості передачі даних навіть при підвищеній мобільності та у переповнених областях, якщо поточні тенденції будуть продовжуватися. Це вимагає не тільки більшої ємності в мережі радіодоступу (RAN), але і настільки ж важливо в транспортній мережі та комунікаціяї між БС. Системи ціноутворення можуть бути використані для управління та потенційного прискорення збільшення споживання даних, як це вже продемонстрували оператори на ринку. Однак, оскільки клієнти готові заплатити за надане обслуговування, а не за обсяг даних, моделі ціноутворення можуть бути неефективними для утримання трафіку в майбутньому.

Поточний консенсус полягає в тому, що поєднання більшого спектра, підвищення ефективності спектру, ущільнення мережі та розвантаження - необхідні для вирішення цих проблем в RAN. Можливості для більшої кількості спектрів включають смуги більш високої частоти (наприклад, міліметрові хвилі), неліцензійний спектр та агрегацію фрагментованих ресурсів спектру за допомогою методів агрегації носіїв. Подвійне підключення терміналів до декількох базових станцій може використовувати агрегований спосіб використання спектра, що розгортається на різних базових станціях. Крім доступної пропускної здатності, високочастотні смуги також дозволяють використовувати масивні MIMO з використанням антенних масивів з малими форм-факторами, що може забезпечити збільшення потужності в 10 разів порівняно з традиційними одноантенними системами. Тим не менш, високочастотні смуги страждають від втрат загасання високих шляхів і обмежуються лініями зору (LOS) та середовищами, що не мають LOS на коротких відстанях. Масивні MIMO можуть бути використані для поширення

охоплення смуг високих частот, спираючись на досягнення формування променя.

Розширені методи фізичного рівня, такі як схеми модуляції та кодування (MCS) більш високого порядку, такі як 256-квадратурна амплітудна модуляція (QAM), збільшують спектральну ефективність і можуть бути об'єднані з масивними MIMO для збільшення пропускної здатності системи. Додаючи деякий інтелект на передавач і приймач, потенційні перешкоди можуть бути скоординовані та скасовані на приймачі для збільшення пропускної здатності системи. За допомогою таких методів для поліпшення спектральної ефективності можуть бути використані нові схеми, такі як неортогональний багаторазовий доступ (NOMA), багатоканальний фільтр банку (FBMC) та рідкий кодований множинний доступ (SCMA). Наприклад, NOMA з послідовними приймачами відштовхоючі перешкоду (SIC), як показують, покращує загальну пропускну здатність макростільників порівняно з ортогональними схемами багаторазового доступу до 30 відсотків, навіть для високошвидкісних терміналів, з додатковими перевагами, очікуваними при підвищеному керуванні потужністю.

Ущільнення мережі означає щільне розміщення великої кількості малих стільників. Високі несучі частоти добре підходять для малих стільників. Великі загасання, від яких вони страждають, більше не розглядаються як недолік, а скоріше як засіб для забезпечення ефективного поділу та пом'якшення перешкод між щільно розміщеними малими стільниками. Щоб забезпечити ефективне підвищення потужності в критичних місцях, бажано, щоб охоплення та потенціал було вирішено самостійно. Це може бути здійснено через архітектуру, в якій розподілені контрольні (C) та користувацькі дані (U) у різних стільниках. Перевага такого підходу полягає в тому, що ресурси U-площини можна масштабувати незалежно від ресурсів C-площини. Це дозволяє забезпечити більшу пропускну здатність U-площини у критичних

областях, де це необхідно, без необхідності також надавати розміщені функціональні можливості C-площини. Таким чином, може бути реалізовано більш гнучке розгортання при менших витратах. У такій роздільнії архітектурі C / U-площин макросоти можуть забезпечити покриття (C + U), а мали стільники можуть забезпечувати локалізовану ємність (U).

Методи, такі як масивні MIMO і MCS вищого порядку, можуть використовуватися в малих стільниках для підвищення пропускної здатності. Масивне MIMO має підвищений ризик відмови зв'язку через вузьке формування променів, але це можна пом'якшити, використовуючи надійні методи, такі як подвійне підключення, що завжди забезпечує безперебійне відставання до рівня покриття. Крім того, локальне вивантаження за допомогою таких методів, як мережеве керування пристроєм до пристрою (D2D), може ще більше збільшити пропускну спроможність системи. Прогрес у оптичних мережах, включаючи оптичне перемикання, може бути здатним вирішувати вимоги до ємності в магістральних комунікаціях, та комуникації між стільниками. Крім того, масивний MIMO може бути використаний для забезпечення високопродуктивних безпроводових магістральних та міжстільникових ліній зв'язку в умовах LOS.

2.3.2 Кінцевий час затримки

Кінцевий час затримки має вирішальне значення для нових додатків у реальному часі. Наприклад, робота з дистанційним керуванням для медичних, рятувальних та промислових застосувань потребують швидких циклів управління зворотним зв'язком, щоб добре функціонувати. Безпеко критично-важливі програми для автомобілів та людей, що мають зв’язок типу автомобіль-автомобіль (V2V) та автомобіль-інфрастуктура (V2I), також потрубують дуже швидкі цикли відповіді на запити та відгуки з високою доступністю та надійністю. Додатки та програми для віртуальної реальності

(наприклад, занурювані дисплеї та середовища) вимагають дуже швидких циклів «запитів-відповідей» для зменшення кібер-помилок . Для реалізації цих програм, мережі повинні мати можливість підтримувати ціль у 1 мс затримки між кінцевими користувачами із високою надійністю. Інновації в повітряному інтерфейсі, обладнання, стеки протоколів, магістралі та зворотний зв’язок (всеоптична передача та комутація), а також архітектура мережі можуть допомогти вирішити це завдання. Новий повітряний інтерфейс з новими нумераціями, такими як коротший часовий проміжок передачі (TTI), може знизити час затримки вдвічі до декількох сотень мікросекунд. Короткі TTI вимагають високої доступної пропускної здатності, але це може бути підтримане використанням смуг високих частот. Зауважте, що така нова нумерологія спирається на суттєві покращення апаратного забезпечення приймача (наприклад, потужність обробки та розмір буфера).

Крім того, затримка E2E може бути зменшена завдяки удосконаленнюпротоколів вищих рівнів (наприклад, використання алгоритмів керування доступом/перенагрузки для заміни повільного запуску TCP), зближенні кінцевих точок обміну (наприклад, через D2D та ультра-щільне розгортання малих стілньиків з локальним виходом) та при додаванні додаткової інформації на краю мережі. Останнє реалізується за допомогою методів кешування та попереднього завантаження, залежно від сервісу розташування протоколів C-площини та оркестровки. Наприклад, протоколи C-площини, необхідні для критично-важливих послуг затримки, можуть бути розподілені на краю мережі, тоді як протоколи C-площини, необхідні для послуг з більш невисокими вимогами до затримки, можуть бути розташовані в центральному об’єкті. Ефективний дизайн рівню без доступу (NAS) також може допомогти зменшити затримку E2E. Наприклад, інтеграція NAS та рівня доступу (AS) може зменшити керуючу сигналізацію, необхідну для встановлення та підтримки з'єднання даних, що може зменшити затримку E2E.

Як альтернатива, розробка протоколів NAS, які краще адаптовані до нових випадків використання, також може принести аналогічний результат.

2.3.3 Масова кількість з'єднань

Станом на 2020 рік очікуєтья збільшення підключених пристроїв до 10-100 разів. Вони варіюватимуться від пристроїв з обмеженими ресурсами, які вимагають лише періодичних з'єднань для звітування (наприклад, датчиків) для пристроїв, що вимагають постійного підключення для контролю та/або відстеження (наприклад, камери безпеки, транспортний парк). Окрім великої кількості підключених пристроїв, завдання полягає у підтримці різноманітності пристроїв та вимог до обслуговування в масштабованому та ефективному режимі. Поєднання досягнень у дизайні повітряного інтерфейсу, оптимізації сигналізації та інтелектуальних методів кластеризації та ретрансляції може сприяти підтримці гіперзв'язності. Наприклад, використання одного пристрою, як шлюзу або ретранслятора для об'єднання трафіку з декількох пристроїв може зменшити навантаження сигналу в мережі. Більш ефективні протоколи, які поєднують AS та NAS, також зменшують навантаження на сигналізацію. Крім того, процедури доступу на основі суперечностей та безпроводового доступу можуть бути використані для ефективної підтримки прикладних програм МТС, що вимагають простого підключення для передачі невеликих пакетів.

Не всі пристрої можуть бути обладнані високоточними приладами, які можуть справлятися, наприклад, з тісною синхронізацією, щоб підтримувати ортогональність сигналів у середовищі багаторазового доступу, коли нова нумерологія вводиться для зменшення латентності. Щоб пом'якшити це, можна дослідити нові форми сигналів, такі як FBMC, які можуть придушувати позадіапазонну емісію для зменшення перешкод в асинхронному середовищі. FBMC також має потенціал, щоб краще справлятися з OFDM з подвійно

диспергуючими каналами, коли обидва передавальні та прийомні кінцеві точки рухаються (наприклад, у додатку V2V). Крім того, підтримуючі пристрої з обмеженими ресурсами, такими як датчики, вимагатимуть прогресу у використанні технологій збору та зарядки акумуляторів, а також ефективних протоколів передачі сигналів та передачі даних. Наприклад, можна дослідити надійні методи доступу до середовища, що поєднують як контроль, так і передачу даних.

2.3.4 Вартість

Підключення до спектру послуг розглядається як важливий інструмент соціально-економічного розвитку. Тому важливо знизити вартість інфраструктури, а також витрати, пов'язані з їх розміщенням, обслуговуванням, управлінням та експлуатацією, щоб зробити зв'язок доступним та стабільним. Виклик для дизайну 5G полягає в тому, що необхідні великі поліпшення для вирішення нових вимог, але клієнти не бажають платити пропорційно. По суті, 5G повинна бути мережею (RAN, ядро, магістральні маршрутизатори та зворотний зв’язок), яка відповідає всім новим вимогам за вартістю, що зробить обслуговування стабільним.

Вирішення проблем із потужністю та швидкістю передачі даних при ущільненні мережі може бути дуже дорогим з точки зору обладнання, технічного обслуговування та операцій. Одним із способів зменшення вартості обладнання є мінімізація кількості функцій на базовій станції - може бути здійснено шляхом реалізації лише функцій рівня 1/2 (L1 / L2) у базовій станції та переміщення функцій високого рівня до мережевої хмари, яка обслуговує багато базових станцій. Скорочення кількості функцій призводить до спрощення базових станцій, які можуть бути розгорнуті користувачами, і віддалено або автономно вдалося зменшити витрати на розгортання та експлуатацію.

Енергоспоживання є значним драйвером операційних витрат, а RAN, за оцінками, споживає 70-80% енергетичних потреб. Тому інтелектуальні технології управління енергією, особливо в RAN, могли б стати життєздатним засобом зниження загальних витрат на мережевих операцій. Енергозберігаюче обладнання, низькоенергетичний зворотний зв'язок та технології інтелектуального управління енергією, особливо в ультра щільних мережах, для того, щоб базова станція спала, коли вона не використовується – все це може сприяти зниженню вартості експлуатації мережі 5G.

NFV та SDN також є життєздатними засобами для зниження витрат. NFV відокремлює мережеву функціональність від виділеного обладнання та сприяє впровадженню функціональних можливостей у програмне забезпечення на загальноприйнятому IT-апараті, що працює за моделлю хмари. SDN відокремлює C-та U-площини від мережевих пристроїв і забезпечує логічно централізований режим перегляду та керування мережею, що полегшує оптимізацію транспортної мережі. Ці технології роблять мережу більш гнучкою, оскільки нові функції можуть бути впроваджені за допомогою простого оновлення програмного забезпечення, а більш складні алгоритми можуть бути використані для управління мережею з цілісної точки зору. Більш того, об'єднані апаратні ресурси можна розділити між кількома функціями, тим самим усвідомлюючи прибуток мультиплексування та зменшуючи обсяг необхідного обладнання. Гнучкість, що вмикається NFV і SDN, може зробити мережу швидко розгортаємою та адаптованішою, а також скоротити час для виходу на ринок для нових послуг.

2.3.5 Якість досвіду

Якість досвіду описує суб'єктивне сприйняття користувачем того, наскільки добре працює програма або послуга, яке є високодоступним і конкретним для користувача, і не може бути узагальненим. Наприклад, QoE

відеоприкладних програм залежить від якості закодованого та доставленого відео в контексті дисплея, на якому відображається відео. Доставка програми з надто низьким рівнем QoE призводить до невдоволення користувача, тоді як занадто високий QoE без необхідності виснажує ресурси як для користувача (наприклад, акумулятора пристрою), так і для оператора (наприклад, ресурсу радіо та транспортної мережі, потужності базової станції). Отже, завданням для 5G є підтримка додатків і послуг з оптимальним та рівномірним рівнем QoE будь-де та будь-коли.

Незважаючи на різноманітність вимог до QoE, забезпечення низької затримки та високої пропускної здатності загалом покращує QoE. Таким чином, більшість згаданих раніше засобів можуть покращити QoE. Крім того, способи оптимізації трафіку можуть використовуватися для задоволення очікувань QoE. Також, встановлення кеш-пам'яті та обчислювальних ресурсів на краю мережі дозволяє оператору розміщувати вміст і послуги близько до кінцевого користувача. Це може забезпечити дуже низьку затримку і високу QoE для критично важливих інтерактивних сервісів, таких як редагування відео та додаткова реальність.

Створюються більш кращі моделі, що описують взаємозв'язок QoE з вимірюваними параметрами мережі (напр., пропускною спроможністю, затримкою) та контекстними параметрами (наприклад, пристроєм, користувачем та середовищем). Великі дані, включаючи інформацію від датчиків (наприклад, на пристрої) та статистичні дані користувачів, можуть бути використані розумно з використанням таких моделей, щоб більш точно оцінити очікуваний користувачем QoE та визначити оптимальні ресурси для використання для задоволення передбачуваного QoE. SDN може бути використана для гнучкого забезпечення необхідних ресурсів.

2.4 Бачення архітектури мобільної мережі 5G

На рисунку 2.4 показана архітектура мобільної мережі 5G, яка використовує обговорювані раніше засоби. Основні елементи в архітектурі наведено нижче:

- Дві логічні мережеві рівні, радіостанція (RN), яка забезпечує лише мінімальний набір функцій L1/L2 та мережева хмари, яка забезпечує всі функції верхнього рівня.
- Динамічне розгортання та масштабування функцій в мережевому обладнанні через SDN та NFV.
- Стійкий протокол, який досягається за рахунок усунення надлишкових функцій та інтеграції AS та NAS.
- Відокремлене забезпечення покриття та потужності в радіомережі за допомогою розбитої архітектури C/U-площин та різних діапазонів частот для покриття та потужності.
- Передача та вкладання (підключення пристроїв з обмеженими ресурсами, не прозорими до мережі через один або декілька пристроїв, що мають більше ресурсів) для підтримки декількох пристроїв, групової мобільності та переміщаючихся точок доступу.
- Безпроводовий та розв'язувальний доступ з новими сигналами для асинхронного доступу масивного числа пристроїв МТС.
- Мережевий інтелект, керований даними для оптимізації використання та планування ресурсів мережі.

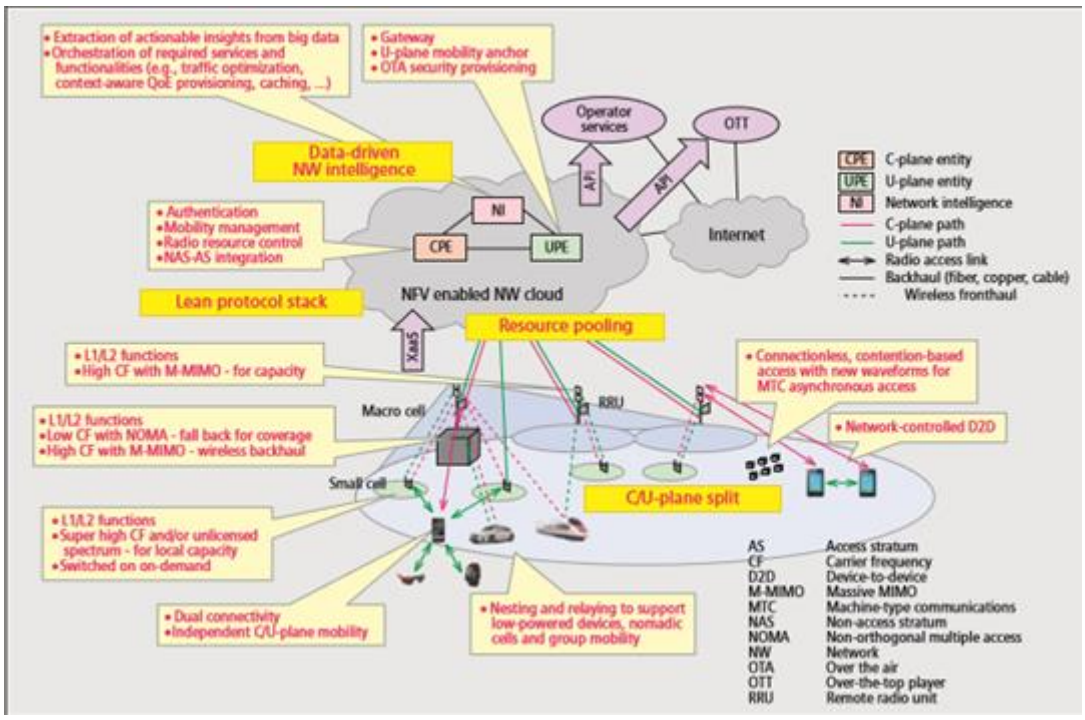

Рис. 2.4 Бачення архітектури 5G та потенційні використовуванні технології

2.4.1 Логічні рівні мережі: радіомережа та мережа хмари

Архітектура мережі складається з двох логічних рівнів: радіосистеми та мережевої хмари. Радіо мережа складає різні типи базових станцій та передавачів, що виконують мінімальний набір функцій L1/L2. Мережева хмара складається з об'єкта U-площини (UPE) та об'єкта C-площини (CPE), яка виконує функції більш високого рівня, пов'язані з U-і C-площиною відповідно (рис.2). Як показано на рисунку 3, фізична реалізація мережевої хмари може бути адаптована до різних показників ефективності. Наприклад, UPEs та CPEs можуть бути розташовані поруч з базовами станціями та передавачами, щоб задовольнити потреби латентних циклічних служб. Наприклад, для підтримки критично важливих служб, може бути краще підключити RRU3 до невеликого сусіднього центру обробки даних (центр обробки даних 3), а не до далекого великого центру обробки даних (дата-центр 2). З іншого боку, RRU1 може бути підключено до великого центру обробки даних, розташованого далі (дата-центр 2), а не поблизу невеликого центру обробки даних (центр обробки

даних 1), якщо підтримка нестабільних послуг не потрібна. Така гнучкість дозволяє оператору розміщувати як великі, так і малі центри обробки даних для підтримки конкретних потреб в сервісах.

Така архітектура спрощує мережу та полегшує швидке, гнучке впровадження та керування. Базові станції стануть простішими та споживають менше енергії через зменшені функціональні можливості, що робить їх доступним для розгортання та експлуатації. Крім того, мережева хмара дозволяє об'єднувати ресурси, зменшуючи перевизначення та недостатнє використання мережевих ресурсів.

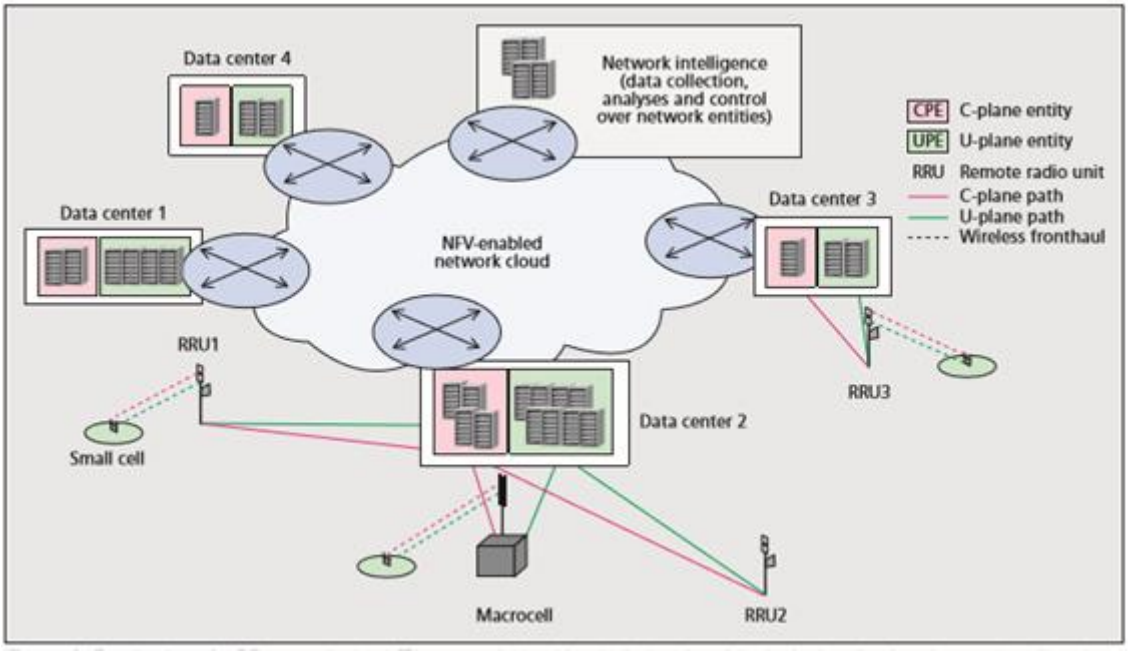

Рис. 2.4.2 Реалізація мережевої хмари 5G

2.4.2 Динамічне розгортання та масштабування мережевих функцій із SDN та NFV

CPE та UPE функції у мережевій хмарі можуть бути швидко розгорнуті, організовані та масштабовані за запитом, використовуючи засоби SDN та NFV,. Наприклад, коли локальний центр обробки даних не в змозі впоратись з флеш-натовпом (наприклад, через місцеву катастрофу), додаткові можливості можуть швидко запозичуватись з інших центрів обробки даних. Крім того,

ресурси в центрі обробки даних можуть бути швидко перенесені на підтримку популярних програм, просто додаючи додаткові екземпляри потрібного програмного забезпечення.

Окрім цієї гнучкості на програмному рівні , використання хмарної інфраструктури також забезпечує гнучкість щодо доступної ємності. Запасні ресурси хмар можуть бути виділені, коли попит є низьким, тоді як додаткові ресурси можна орендувати через бізнес-моделі інфраструктури як служби (IaaS) у пікові години. Крім того, може також передбачатися широкий спектр бізнес-моделей "як сервіс", що базуються на наданні конкретних функцій мережі як послуги (наприклад, XaaS). Повні або певні частини мережі можуть бути надані клієнтам (наприклад, операторам мережі, OTT-програвачам, підприємствам), які мають особливі вимоги, наприклад, в "мобільній мережі як службі" або моделі "мережа радіостанцій як сервіс". Також можна передбачити моделі "UPE /CPE /NI як сервіс", де можуть бути передбачені певні основні функціональні можливості (рис.2) мобільної мережі, що надається як послуга. До того ж, але не менш важливо, частини платформи можуть бути орендовані третім особам, таким як гравці OTT, для надання послуг та програм, які потребують надзвичайно низької затримки для кінцевих користувачів. Окрім бізнес-моделей XaaS, які можна було б полегшити, гнучкість хмари у поєднанні з технологіями SDN та NFV також робить розгортання та керування мережею більш простим, швидким та дешевшим.

2.4.3 Lean стек протоколів

За допомогою віртуалізації інтерфейси між функціями мережі стають інтерфейсами між програмним забезпеченням. Два окремих протоколи для площини C можуть більше не мати значення, якщо протоколи NAS та AS можуть бути віртуалізовані. Під уніфікованою парадигмою хмар, протоколи NAS та AS можуть бути інтегровані в єдиний протокол, видаляючи надлишкові

функції. Наприклад, в поточному LTE, повідомлення служби NAS ServiceRequest та RRC ConnectionRequest об'єднуються, але їх можна об'єднати в одне повідомлення в майбутній мережі хмарних та віртуалізованих мереж. Аналогічно, деякі процедури, пов'язані з управлінням мобільністю, керуванням сеансами та безпекою, потенційно можуть бути вилучені. Як приклад, процедуру встановлення з'єднання можна суттєво спростити, вимагаючи привітання лише між однорівневими об'єктами одного протоколу, і цеу свою чергу, приведе до швидшого встановлення зв'язку. Управління QoS на основі носіїв може також бути замінено простим маркуванням IP, з відповідними механізмами, щоб запобігти маркуванням всіх пакетів найвищим класом QoS.

Аналогічно для U-площини можна розглянути злиття функціональних можливостей функцій RAN L2 та шлюзів у поточній базовій мережі (CN). Віртуалізація U-площини, як правило, вважається складнішою, ніж у площині C, внаслідок простого обсягу оброблюваних даних. Віртуалізація протоколів RAN L2 може потребувати значної потужності обробки, оскільки протоколи L2 підтримують різні функції, які мають динамічний характер, наприклад, розмір динамічного транспортного блоку (відповідно до розподілу ресурсів та миттєвого стан радіостанції), сегментація та об'єднання пакетів та гібридний автоматичний повтор запитів (ARQ). Функціональність радіостанції та додаткові функції, такі як mMIMO, вимагають точної інформації про стан каналу (CSI). Отже, якщо такі функції повинні бути віртуалізовані, CSI також потрібно доставити до віртуалізованого об'єкта, що потенційно може призвести до значних накладних витрат. Проте з достатніми досягненнями в технології та ретельним вибором функціональних можливостей деякі послуги, надані L2, можуть бути реалізовані для віртуалізації приблизно в 2020 році. В принципі, це дозволяє об'єднати функціональні можливості, що надаються різними протоколами RAN і CN, і єдиним U- що забезпечує послуги

радіоперевезення та функціональні можливості шлюзу. Тим не менш, ретельне вивчення необхідне для того, щоб визначити, для яких шарів така інтеграція може відбутися.

Одна з функцій, яка потенційно може бути вилучена зі складу U-площини, - це шифрування, оскільки це все більше впроваджується через безпеку транспортного рівня (TLS) по IP. Як правило, рішення E2E більш ефективні, ніж шифрування сегментів вздовж шляху. Проте, шифрування E2E не передбачає видимості трафіку вздовж шляху та ускладнює управління трафіком у мережах. У багатьох операторських мережах сьогодні використовуються інтелектуальні механізми, такі як глибоке інспектування пакетів (DPI) та кешування, щоб оптимізувати використання ресурсів та покращувати QoE. Кінцеве шифрування зробить ці розумні механізми дисфункціональними. Оскільки безпека сигналів, що надсилаються по повітрю, є важливою, через широкомасштабний характер радіосигналів - важливим питанням є завершення шифрування в мережі.

2.4.4 Дані, керовані мережевим інтелектом

Архітектура дозволяє мережевій хмарі збирати різні типи даних, орієнтованих на користувачів, орієнтованих на мережу та контекстні дані. Мережева хмара використовує інтелектуальні алгоритми, що забезпечують в реальному часі ідеї ефективного управління ресурсами, управління мобільністю, рішення локального розвантаження (наприклад, керування мережею D2D), керування QoE, маршрутизацію трафіку та контекстне надання послуг . Крім того, сукупні дані можуть бути корисними для планування мережі. Забезпечуючи програмний інтерфейс (API) для мережевої хмари, зібрані дані можуть бути використані в різних формах для корисної публіки (наприклад, міського планування) та комерційних цілей. Наприклад, API можна використовувати для полегшення нових бізнесів, виходячи з продажу

знань про умови мережі як служби для гравців OTT, що дозволяє їм забезпечувати незмінну якість обслуговування кінцевих користувачів.

2.5 Використання малих стільникі для збільшення пропускної здатності та підтримки мобільності користувачів

Оскільки архітектура стільникової мережі 5G неоднорідна, вона повинна включати макростільники, мікростільники, малі стільники та ретрансляції. Мобільна концепція малих стільників є невід'ємною частиною безпроводової стільникової мережі 5G і частково складається з мобільних ретрансляцій та концепцій малих стільників. Вона впроваджується для забезпечення високої мобільності користувачів, які знаходяться всередині автомобілів та швидкісних поїздів. Мобільні малі стільники розташовані всередині рухомих автомобілів для спілкування з користувачами всередині автомобіля, тоді як масивний блок MIMO, що складається з великих антенних масивів, розміщений за межами автомобіля для зв'язку з зовнішньою базовою станцією. Згідно з думкою користувача, малий стільник реалізується як звичайна базова станція, і її споріднені користувачі спостерігаються як окремі пристрої для базової станції, що підтверджує вищезазначену ідею розподілу внутрішніх і зовнішніх установок. Малі стільники мають високу швидкість передачі даних з значно зменшеними накладними витратама сигналів. 5G безпроводова стільникова мережа складається з двох логічних рівнів: радіосистеми та мережевої хмари. Різноманітні типи компонентів, що виконують різні функції, складають радіо мережу. Область віртуалізації мережевої функції (NFV) складається з об'єкта площини користувача (UPE) та об'єкта площини керування (CPE), які виконують функції верхнього рівня, що відносяться до площин користувача та користування, відповідно. Спеціальна мережева функціональність як служба (XaaS) надаватиме послуги за

потребою, одна з прикладів - об'єднання ресурсів. XaaS - це зв'язок між радіо мережею та мережею хмари.

Таблиця 3. Варіанти та особливості малих стільників

	Налаштування оператора	Налаштування користувача
Ліцензійний спектр	*Позитивні* • Стільникові сайти керовані оператором. • Легше забезпечити якість досвіду • Реалізація додаткових методів розподілу ресурсів виявляється легшою *Негативні* • Збільшення вартості на обладнання, налаштування та експлуатацію • Обмежений спектр • Плата за ліцензію на спектри	*Позитивні* • Зниження вартості на обладнання, налаштування та експлуатацію *Негативні* • Для подальшого обслуговування клієнтів, необхідні додаткові операційні витрати
	Особливості	*Особливості*

	• Забезпечення транспортної мережі	• Питання моніторингу • Публічний або приватний контроль доступу • Забезпечення якості досвіду • Вплив різних транспортних мереж на вдосконалені методи розподілу ресурсів • Забезпечення безпеки повітря
Неліцензійний спектр	*Позитивні* • Стільникові сайти керовані оператором. • Оператори мають додатковий спектр для експлуатації	*Позитивні* • Зниження вартості на обладнання, налаштування та експлуатації
	Негативні • Збільшення вартості на обладнання, налаштування та експлуатацію	*Негативні* • Відсутність погоджень

- Відсутність погоджень щодо якості досвіду

щодо якості досвіду

Особливості

- Механізми забезпечення незалежної роботи
- Поєднання Wi-Fi, Bluetooth та ін.
- Забезпечення транспортної мережі

Особливості

- Управління доступом
- Механізми забезпечення незалежної роботи
- Поєднання Wi-Fi, Bluetooth та ін.
- Вплив різних типів транспортних мереж на вдосконалені методи розподілу ресурсів
- Забезпечення безпеки повітря

Висновки

Основні концепції до формування архітектури мережі 5G можна підсумувати наступним чином:

- Ультра-щільне розгортання малих стільників у ліцензованому та неліцензованому спектрі, в рамках розподіленної архітектури C/U площини, для вирішення проблем із потужністю та швидкістю передачі даних;
- NFV і SDN для забезпечення гнучкого розгортання та експлуатації мережі з вбудованими функціями AS та NAS;
- Інтелектуальне використання мережевих даних для полегшення оптимального використання мережевих ресурсів для забезпечення та планування QoE.

Початкові аналізи дослідженя свідчить про те, що збільшення пропускної здатності можна отримати більш ніж у 1000 разів, порівняно з макропотужним розгортанням LTE Release 8. Це можна досягти шляхом поєднання щільного розгортання малих стільників, використовуючи великі смуги пропускання в більш високих частотних діапазонах і ,використовуючи техніку масивних MIMO у малих стіьниках. Тим не менше, деякі компоненти, виділені в концепції системи, мають взаємні конфлікти, коли деталі розглядаються. Отже, як збалансувати плюси і мінуси кожного аспекту, потрібно уважно вивчити.

Як можно побачити з таблиці, технології малих стільників мають багато вагомих перевах як для операторів, так і для користувачів. Однак такий негативний фактор як збільшення вартості на обладнання, а саме капітальних витрат на обладнання, налаштування та експлуатацію може вплинути на швидкість реалізації технології 5G операторами зв’язку. Тому виникає гостре питання, які шляхи можна запропонувати операторам зв’язку, щоб їх витрати

були рівномірно розподілені. Одним з варіантів вирішення даного питання може бути використання технології віртуалізації у мережі 5G.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛЕДЖЕНЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ У КОНЦЕПЦІЇ 5G CLOUD МЕРЕЖІ

3.1 Основи віртуалізації мережі

У найпростіших випадках основи мережевої віртуалізації (NFV) використовується для перенесення телекомунікаційного обладнання з спеціалізованої платформи на універсальні комерційні сервери (COTS). Поточні телекомунікаційні мережеві пристрої розгортаються на приватних платформах, у межах яких всі елементи мережі є закриті, і не можуть взаємно використовувати ресурси апаратного забезпечення. Тому розширення можливостей кожного пристрою залежить від додаткового обладнання, а апаратні ресурси залишаються вільними після зменшення потужності, що вимагає досить тривалих витрат при поганій еластичності та високій вартості. Через NFV всі елементи мережі перетворюються на незалежні програми, які можуть бути легко інтегровані на уніфікованій платформі на основі стандартного сервера, сховища та механізму обміну. Як показано на Рис.2.1, з відокремленим програмним та апаратним забезпеченням ємність кожної програми доступна для швидкого розширення за рахунок збільшення віртуальних ресурсів, і навпаки, що значно підвищило еластичність мережі.

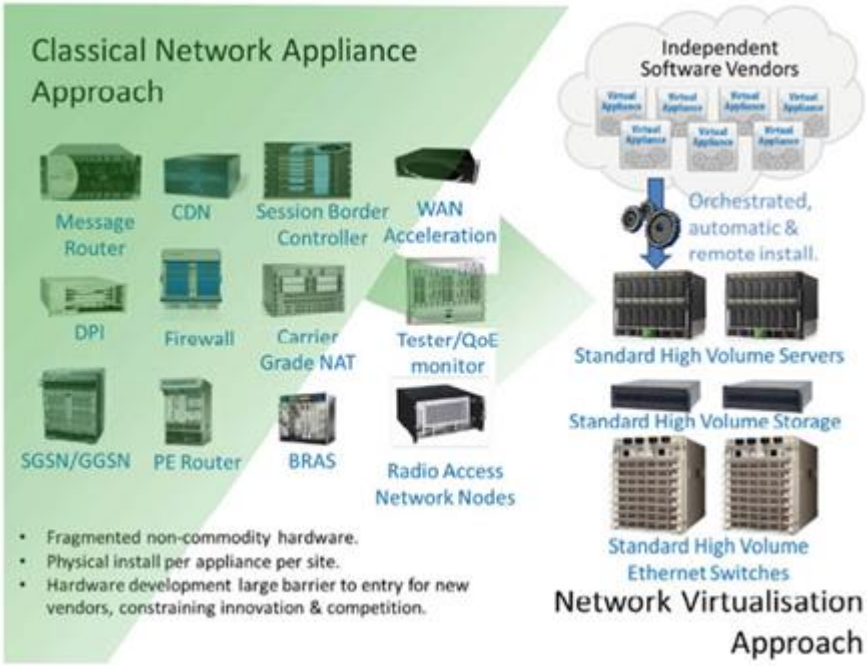

Рис. 3.1 Бачення віртуалізації мережі

Технологічною основою NFV є технології хмарних обчислень та віртуалізації в галузі інформаційних технологій (IT). За допомогою методів віртуалізації універсальні ресурси обчислень та зберігання, що надаються COSTS, можуть розкладатись на різні віртуальні ресурси для використання завнішніх програм. У той же час прикладна програма та апаратне забезпечення відокремлюються за допомогою технологій віртуалізації, тоді як швидкість передачі ресурсів скорочується від декількох днів до декількох хвилин. Завдяки технології хмарних обчислень, гнучке розширення та скорочення додатків здійснюється для сприяння узгодженню ресурсів та бізнес-навантаження, що не тільки покращує швидкість використання ресурсів, але й забезпечує швидкість відповіді системи. Зокрема, встановлення NFV дає такі переваги:

- Знижуються витрати операторів на придбання, експлуатацію, технічне обслуговування та енергоспоживання.
- Розгортання бізнесу прискорюється, а інноваційний цикл зменшується. Зокрема, ефективність випробувань та інтеграції

покращується, розробка зменшується, а традиційні системи постійно змінюються за допомогою швидкого встановлення програмного забезпечення.

- Мережеві додатки підтримують багато версій та є багаторівневими, щоб дозволити різним програмам та користувачам обмінюватися уніфікованою платформою, тому можливий обмін мережами.
- Індивідуальний сервіс різних фізичних доменів та груп користувачів доступний, а сервісні модулі можна швидко розширити.
- Мережа відкрита, а інновації бізнесу здатні викликати новий потенційний зріст прибутку.

3.1.1 Технічні питання NFV

Незважаючи на те, що критерій, визначений NFV, є технічно здійсненним, існує ще довгий шлях реалізації його комерційного застосування з наступними відкритими питаннями:

Час розвитку: через надто велику ціль, після першого етапу було завершено лише чотири специфікації, тоді як багато відповідних специфікацій, визначених іншими групами, ще оцінюються для завершення. Багато проблем було перенесено на другий етап, тому існує ще довгий шлях до досягнення свого зрілого стандарту.

Сумісність: архітектура, визначена NFV, є досить великою з багатьма новими інтерфейсами, розподіляючи виробників закритого телекомунікаційного обладнання на декілька рівнів: постачальників устаткування, постачальників програмного забезпечення для віртуалізації, постачальників програмного забезпечення для віртуалізації, постачальників програмного забезпечення NFV Orchestrator (NFVO), системного інтегратора NFV тощо. Таким чином, телекомунікаційна мережа передається від інтеграції апаратного та програмного забезпечення, що управляється одним

виробництвом, до серійної інтеграції апаратного та програмного забезпечення, керованого декількома виробниками, тому складність значно збільшується. Проте, NFV визначає лише рівні архітектури, а детальне визначення та реалізація відповідних інтерфейсів повинні координуватися іншими технічними організаціями. Тому, порівняно з існуючим стандартом, технічні стандарти не настільки суворі. Це великий виклик забезпечити сумісність обладнання між різними виробниками у майбутньому.

Гнучкість: технологія Самоорганізації мережі (SON) впливає на розширення та зменшення рівня обслуговування. Згідно з архітектурою NFV, хоча необхідні ресурси нового VNF автоматично розгортаються MANO, операційна структура своєї бізнес-мережі все ще спирається на традиційний механізм EMS/NMS, і зв'язок між VNF і маршрутизацією трафіку все ще розгортається вручну, а VNF пристрій підключення та відтворення недоступний.

Надійність: Традиційні телекомунікаційні додатки часто вимагають надійності 99,999%, тому її не слід зменшувати після їх віртуалізації. Завдяки спеціальному дизайну, вимоги до надійності традиційної телекомунікаційної техніки відносно високі. Проте надійність устаткування COTS, прийнятого віртуалізацією, є відносно нижчою, вимагаючи компенсації шляхом підвищення надійності програмного забезпечення.

Інтеграція: поточне телекомунікаційне обладнання часто використовує спеціальні мікросхеми для реалізації користувальницької площини. З огляду на накладання пакетів, x86 має меншу вартість. Тому його віртуалізація призведе до зменшення інтеграції обладнання. Наразі існує декілька способів вирішення цієї проблеми: вбудована SDN, яка відокремлює контроль та роботу обладнання на площині користувача та переміщує переадресований пакет до перемикача SDN; Інтелектуальна Ethernet-карта, що включає модуль

обробки пакетів, реалізована для виконання навантаження на обробку пакунків.

Віртуалізація: порівняно з віртуалізацією обчислень та зберігання, технологія віртуалізації в мережі є відносно відсталою. Хоча існуюча технологія віртуалізації в мережі має різні типи, це важлива проблема для інтеграції їх у NFVI. Телекомунікаційна мережа зазвичай є розподільною мережею, яка потребує достатніх мережевих ресурсів, які розкладаються на локальний мережевий ресурс в центрі обробки даних, ресурсів носія між центром обробки даних, ресурсу носія між службою та мережею доступу тощо. Виділення ресурсів на пред'явника може спричинити розподіл ресурсів транспортної мережі, що потребує віртуалізації та автоматизації. В даний час розподіл все-таки потрібно виконувати через мережу носіїв і управління транспортною мережею, що дає шлях до автоматизації.

Систематичність: NFV, як очікується, вирішить проблему автоматичного розгортання бізнес-мережі, яка є гігантським інтеграційним проектом з інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) з точки зору архітектури. NFV може бути розбита на інтеграцію NFVI, інтеграцію VNF та інтеграцію бізнес-мереж, що включає в себе ряд систем, виробництв, областей та інтерфейсів, що робить інженерну діяльність більш важкою, ніж поточна публічна/приватна хмара. Незважаючи на автоматичне розгортання, кожна ланка установки телекомунікаційної мережі (планування, реалізація, тестування, оновлення, оптимізація, операції тощо) є задіяною та разгорнутою. Тому питання впровадження розгортання в майбутньому є відкритим, оскільки технічні вимоги для інтегратора є дуже високими. Після впровадження архітектури NFV, автоматичне керування та оперативність телекомунікаційної мережі має суттєво піднятися. Цикл розгортання телекомунікаційного пристрою зменшується від декількох місяців до декількох годин, цикл розширення зменшується від декількох тижнів до

декількох хвилин, а новий цикл розгортання бізнесу телекомунікаційної мережі зменшується з кількох місяців до кілька тижнів.

3.2 Роль віртуалізації у сучасній мобільній мережі

Віртуалізація є основою для ефективного та експлуатаційного розгортання обчислювальних можливостей для передової мобільної мережі, що дозволяє управляти та оркеструвати мережеві сервіси від різних постачальників послуг в умовах сценаріїв щільних малих стільників та різних випадків використання.

Підходи до хмарних обчислень, такі як Infrastructure-as-a-Service (IaaS), можуть бути прийняті для полегшення роз'єднання між постачальниками та їх ролями: тобто постачальник послуг, постачальник інфраструктури та постачальник послуг мережі.

Для досягнення відображення звичайних телекомунікаційних послуг новій інфраструктурі з підтримкою Cloud, можна застосувати технічні схеми обслуговування. Механізми мережевого програмного забезпечення (SDN) для послідовності функціональних функцій (SFC) є найвидатнішими кандидатами для забезпечення руху через трафік за допомогою логічного мережевого графу та для досягнення певної функціональності служб серед віртуалізованих компонентів. Розширення концепції SFC у контексті екосистеми 5G вимагає глибшого розуміння концепцій NFV в такому сценарії. Обережне виявлення вимог конкретної установки важливо для вибору найбільш підходящих механізмів та протоколів для встановлення бажаної функціональності.

3.3 Віртуалізація комунікаційної інфраструктури

Віртуалізація інфраструктури зв'язку, наприклад мережевих елементів ядра та точок доступу/макростільників, знаходить своє застосування в сценаріях малих малих стільників та малих стільників як сервіс (SCaaS). Якщо

ми розглядаємо мобільні мережі, існує декілька віртуалізованих розгортань від загальних функціональних блоків LTE, таких як EPC, BSS, HSS, RAN тощо.

Управління щільними мережами малих стільників передбачає пом'якшення перешкод і динамічне присвоєння ресурсів. Установка малих стільників є ефективним способом досягнення більшої продуктивності та потужності як у приміщенні, так і на відкритому повітрі, але це ускладнює роботу. Для того, щоб розділити мережі малих стільників між кількома операторами, необхідно логічне розбиття мережі малих стільників на кілька ізольованих фрагментів. Віртуалізація частини функціональних можливостей RAN дозволяє розділити розміри малих стільників між кількома орендарями. Функція віртуалізації функцій малих стільників забезпечує покращені можливості та оперативність для управління щільними мережами малих стільників, наприклад. пом'якшуючи перешкоди і призначаючи ресурси динамічно.

3.4 Віртуалізована функція малих стілньиків

Використання віртуалізованих малих стільників включає в себе додатки та послуги платформи в межах малого стільнику разом із функціями управління малими стілньиками, як показано на малюнку 2-4. Це включає в себе наступні апаратні елементи:

- Крипто-прискорення зворотного тракту
- Генератори справжніх чисел
- Вбудовані мережеві інтерфейси

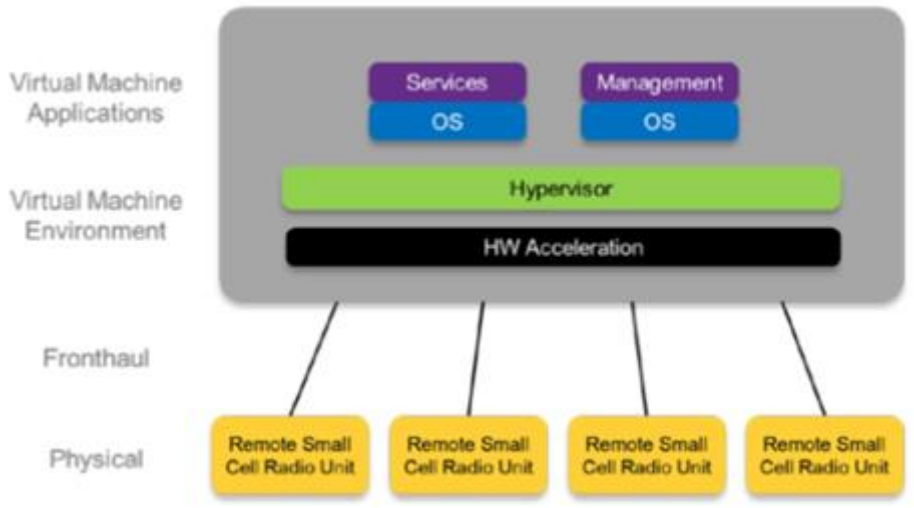

Рис. 3.2 Функцій віртуальних малих стільників для випадку обслуговування

Як і у віртуальних службах, можна застосувати централізований алгоритм SON. Ще більша оптимізація можлива, оскільки звіти про вимірювання, передані RRC, переносяться в місце розташування алгоритму SON, а рішення, прийняті RRC, можуть бути оптимізовані за допомогою дрібнозернистого контролю.

Додаткові функції та процедури можуть бути реалізовані в віртуалізованому RRC та використовувати інтерфейс контрольної площини для віддаленого малого стільника:

- Конфігурація стільників та радіосигналів
- Управління міжстільниковими радіоресурсами (RRM) для підтримки динамічного повторного використання частоти
- Централізоване управління мобільністю з'єднання, звіт про вимірювання та тригер керування передачею
- Контроль ефективності вимірювань

Для додатків віртуалізація може використовуватися для всіх служб, раніше визначених Small Cell Forum. Деякі з цих служб, наприклад, кешування вмісту, можуть стати ще більш вигідними, якщо декілька центральних малих стільників віртуалізуються в одному спільному розташуванні, оскільки

окремий примірник VM може надавати сервіс усім малим стільникам. Крім того, деякі нормативні вимоги, які могли заважати прийняттю малих стільників, які тісно інтегрують служби, можуть благотворно впливати віртуалізації малих стільників, наприклад, видалення необхідності перехоплення трафіку на віддаленій радіостанції малих стільників.

Послуги безпроводової платформи - це функції, які можуть бути надані як один примірник у центральному малому стільнику, але надають сервіс всім розташованим в центральній частині малим стільникам. Ці послуги можуть включати в себе такі терміни, як NTP або PTP, такі функції управління, як TR-196 та функції безпроводового інтерфейсу, такі як RRM та SON.

Потенційною віртуалізованою послугою інтересів є SON, який є важливим компонентом у будь-якій мережі малих стільників. Віртуалізований малий стілньик дає додатковий архітектурний вибір, де сервіс SON у центральному малому стільнику має низький латентний доступ до інформації з декількома малими стільниками. Окрім того, оскільки SON є спеціалізованим компонентом, його може надавати інший постачальник для функцій стека LTE, в той час віртуалізація може забезпечити ізоляцію між різними постачальниками програмного забезпечення.

Для віртуалізованих служб потрібен фреймфорк для підтримки платформи, що складається з декількох віртуальних машин. Проте це не специфічне для служб, але його можна розглядати як вимогу для малого стільника, що включає будь-який аспект віртуалізації. Робоча програма ETSI та їх віртуалізація мережевих функцій (NFV) створила архітектурну структуру, яка також може застосовуватися до малих стільників. Ця структура вводить функцію оркестру та управління, де функція управління складається з двох компонентів; управління конкретними віртуальними машинами, наприклад, менеджер L1, та управління віртуалізованою системою, включаючи

інвентаризацію обладнання, запам'ятовування та ресурсів вводу-виводу, доступних для віртуальних машин, та розподіл віртуальних машин на ці ресурси. Оркестатор подає відповідні правила до функцій управління та збирає інформацію про статус, пов'язаний з фреймворком віртуалізації.

3.5 Технологічні тенденції в малих стільниках.

Деякі технологічні тенденції, які можна ідентифікувати для малих стільників, увімкнуті за допомогою можливостей віртуалізації інфраструктури:

Функціональний розподіл у малих стільниках. Функціональний розподіл визначає які з функцій, ща зазвичай працюють у eNodeB, можуть бути виконані у хмарі. The Small Cell Forum (SCF) визнав декілька функціональних розподілів мережевих шарів малих стільників для різних випадків використання. На якій точці стека протоколів виконується функціональний розподіл, разом з рішенням про те, де виконувати віртуальні мережеві функції щодо фізичних функцій малих стільників, є два важливих аспекти віртуалізації малих стільників, що впливають на гнучкість та управління оптимізацією RAN.

Багаторазові можливості. Традиційні оператори мобільного зв'язку розгортають власну мережеву інфраструктуру в конкуренції з іншими. У багатомережевому підході, навпаки, інфраструктура та ресурси розподіляються між кількома операторами, заохочуючи більш динамічний та масштабований ринок: оператори можуть зосередити увагу на основному бізнесі та диференціювати свою пропозицію на основі переважно делегування обслуговування мережного підключення стороннім особам.

Спільний доступ до мережі радіозв'язку (RAN). Багаторазова оренда ставить перед власником спільного RAN безпрецедентні проблеми щодо планування мережі. Управлінню мереж може знадобитися різний попит на трафік мережі, наприклад, через агрегацію нових орендарів. Крім того, новий

агрегований трафік є специфічним для конкретної оренди, тобто деякі характеристики (наприклад, час зайнятості, тип послуг тощо) можуть суттєво відрізнятись від орендарів до орендарів, особливо якщо ці орендарі відповідають різним вертикальним секторам. З цих причин густина є надзвичайно важливою для ефективного та економічно ефективного впровадження багаторазового використання. Існує декілька підходів для “розрізання” RAN стосовно різних аспектів, таких як ступінь ізоляції, яку можна досягти між орендарями або ступенем індивідуалізації, що впливає на здатність налаштовувати функції RRM/ Self-X на основі орендарів.

Cloud-Enabled Small Cell. Наявність обчислювальних можливостей в межах мережі дозволяє провайдерам знаходити служби ближче до мобільних абонентів, таким чином, забезпечуючи прискорені послуги, вміст та застосування. Ці можливості можуть розгортатися між мобільним стільником та мережею радіодоступу (RAN). Типові служби, які можуть бути корисними для передових мобільних обчислень, включають Інтернет-речі, додаткову реальність та кешування даних.

Мережевий розподіл (Network slicing). Small Cell мережа розділена на кілька ізольованих фрагментів: віртуалізовані ресурси та ємність малих стільників розподіляються на слайси, нашалтовані за вимогою кількох вертикальних ринків.

Самоорганізована мережа (або функції Self-X). Складність ультра-щільних середовищ, де передбачається розгортання малих стільників, вимагає впровадження механізмів для зменшення або навіть усунення необхідності ручної роботи з оптимізації мережі, що дозволяє забезпечити автономні можливості мережі. Завдяки впровадженню функцій SON, мережева структура здатна динамічно налаштовувати глобальні операційні налаштування SC (наприклад, потужність передачі, пропускну здатність каналу, нахил

електричної антени), а також конкретні параметри, що відповідають функціям управління радіоресурсами (RRM) (наприклад, , пороговий контроль надходження, перемикання передачі обслуговування, планування ваги пакетів тощо). Розвиток Self-X-функцій виграє від наявної віртуалізованої платформи виконання, що постачається в RAN за допомогою технологій NFV та MEC. Впровадження архітектури SON має позитивний вплив на скорочення експлуатаційних витрат мережі шляхом мінімізації людських помилок.

Висновки

Отже, основні переваги віртуалізації масштабованості, гнучкості та ефективності однаково застосовуються до віртуалізованої мережі малих стільників. Ці переваги обумовлені багатьма чинниками, включаючи: консолідація робочого навантаження, що забезпечує балансування навантаження, в результаті чого використовується потужність, коли і де це потрібно, можливість динамічного додавання та видалення послуг, як того вимагає спільна апаратна частина, і, нарешті, легкість інтеграції функцій від різних постачальників на тій же платформі, але як ізольовано, так і безпечно.

Окрім загальних переваг віртуалізації, існують переваги віртуалізації, характерні для малого стільника:

- Функції прискорення малих стільників можуть бути масштабовані на основі середньої утилізації в усіх N-стільниках
- Процесори, DSP і прискорювачі можуть бути зменшені, щоб зменшити енергоспоживання
- Покращена мобільність через віддалені вузли в одному і тому ж центральному малому стільнику без необхідності пересилати або передавати сигнали міжміських даних, а також зменшення сигналізації до основної мережі.

- Синхронізація координації та управління кількома стільниками, що дозволяють використовувати розширені функції, такі як CoMP та ін
- Можливість отримання прибутку та посилення роботи користувачів із новими послугами
- Покращене керування перешкодами серед малих стільників у тій самій хмарі, з єдиним хмарним об'єктом SON, здатним приймати узгоджені рішення

Ключовим результатом аналізу використання випадків є те, що завдяки широким та можливим сценаріям розгортання малих стільників і, насамперед, їх відповідним транспортним характеристикам - один розмір, що підходить всім є малоймовірним. Натомість існує тісний взаємозв'язок між випадками використання та можливостями fronthaul транспортування. У наступному розділі буде розглянутий метод формування малих віртуальних стільників, в якому підмножина кваліфікованих користувачів обирається як базова станція віртуальних малих стільників, що зв'язують інших користувачів з базовою станцією макросоти. Показано, що, використовуючи запропоновану віртуальну технологію малих стільників, кількість підключень до базових станцій макросоти стає пропорційною логарифму щільності користувачів. Оскільки ці відносини є лінійними в звичайних стільникових мережах, використання віртуальних малих стільників може суттєво збільшити загальну ємність мережі.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЯ МАЛИХ ВІРТУАЛЬНИХ СТІЛЬНИКІВ У МЕРЕЖАХ П’ЯТОГО ПОКОЛІННЯ 5G.

4.1Опис технології формування малих віртуальних стільників

Ущільненя малих стільників є перспективною технікою у п'ятому поколінні (5G) мобільних мереж для підтримки очікуваного різкого збільшення швидкості передачі даних. У цій техніці макросота або гаряча точка з дуже високим попитом на трафік поділяються на менші стільники, в яких користувальницьке обладнання (UE), замість підключення до базових станцій макросоти (BS), підключений до BS малих стільників, які обслуговують менше UE, з меншою відстані, ніж у базової станції макросоти. Використовуючи цей підхід, доступна смуга пропускання може бути просторово повторно використана або нова пропускна здатність може використовуватися для внутрішніх повідомлень малих стільників. Цей результат у поєднанні зі збільшенням співвідношення сигнал/шум на рівні зв'язку призведе до суттєвого збільшення загальної ємності мережі.

Різні реалізації ущільнення малих стільників ожуть бути досягнуті, виходячи з того, чи поділений той самий спектр між макросотами та малими стільниками, або використовується інший спектр для внутрішніх комунікацій малих стільників. Крім того, нові технології, такі як mmWave або масивні MIMO, вводяться для подальшого просування трафіку до малих стільників. Проте реалізація малих стільників в основному досягається з використанням збільшення стільникової інфраструктури шляхом додавання численних безпроводових фронтальних апаратів, наприклад, віддалених радіостанцій або фіксованих терміналів. Окрім значних витрат і складності координації мережі,

такі статичні мережі не зможуть рентабельно стежити за динамічним трафіком малих стільників.

З іншого боку, комунікації між пристроями до пристрою (D2D) також пропонуються для мереж 5G або як кооперативні комунікації шляхом ретрансляції даних, або як дані розвантаження однорангових зв'язків. Проте, формування малих стільників на базі UE будучи практично безкоштовним, динамічним та готовим до використання рішенням в основному ігнорується в літературі.

В данії роботі ми досліджуємо створення віртуальних малих стільників, в яких група UE обслуговує інші UE як базова станція малого стільника. З цією метою, беручи до уваги просторовий розподіл UE як однорідний точковий процес Пуассона, група кваліфікованих UE перетворюється в режим BS з заданою ймовірністю, так, що відома фракція UE буде являти собою віртуальні малі стільники. Ми показуємо, що, використовуючи цей підхід, кількість зв'язків з базовою станцією макросоти зменшується і приблизно пропорційна логарифму щільності UE у оптимальному випадку. Це зменшення ліній зв'язку забезпечує багато користі для стільникової мережі, зокрема:

- Оскільки трафік UE згруповується у висхідній лінії зв'язку та розводіляється по низхідній лінії базової станції малих стільників, накладні витрати сигналізації, які є однією з основних проблем ущільнення малих стільників, витісняються з базової станції макросоти до базової станції малих стільників;
- Використання окремого спектру для внутрішніх комунікацій малих стільників (наприклад, Wi-Fi, Bluetooth або mmWave), спектр стільникової мережі випускається для зв'язку між макросотою до малих стільників;

- Оскільки смуга пропускання ділиться меншою кількістю комунікаційних зв'язків на рівні макросоти, розподіл та використання ресурсів можна зробити більш ефективним способом;
- Стиснення даних може використовуватися при комунікації між макросотою та малими стільниками для подальшого збільшення ємності мережі;
- Це може допомогти у зменшенні складності та вартості впровадження масивних систем MIMO, наприклад, шляхом зменшення кількості потрібних антен-передавачів на стороні базової станції макросоти або зменшення часу з отримання інформації про стан каналу.

Ми також аналізуємо ситуацію, коли вартість зв'язку для прямого зв'язку з базовою станцією макросоти та зовнішньою лінією від БС малих стільників до БС макросоти не є однакові. Слід зазначити, що всі UE, що обслуговуються в малих стільниках, не вимагатимуть високої швидкості передачі даних одночасно. Крім того, більшість доступних ресурсів виділяються на зовнішні зв'язки між кваліфікованими користувачами, що є базами малих стільників та базами макросот. Отже, ми припускаємо, що потужності зовнішньогу зв'язку достатньо для обробки трафіку малих стільників.

Підвищення продуктивності, досягнутої цією схемою, подібно до згаданих вище, залишається для майбутніх досліджень. Крім того, ми аналізуємо рандомізований метод виділення БС малих стільників; проте аналогічний аналіз може бути досягнутий, коли підмножина БС обирається на підставі критерію пріорітету.

4.2Формування віртуальних малих стільників, аналіз.

Ми припускаємо звичайну стільникову мережу, що складається з підмножини базових станцій макросоти, в якій UE розподіляються однорідний точковий процес Пуассона із щільністю λ. Також передбачається, що коли λ

перевищує порогове значення, макроелементи практично поділяються на малі стільники, в яких випадково виділений набір UE виконує роль підмножини базових станції малих стільників для інших UE-мереж. Потім всі UE-адреси в межах зони покриття підмножини БС малих стільників з'єднані з ними за допомогою методів короткохвильового зв'язку, а залишені ізольовані UE-компоненти підключаються безпосередньо до БС макросоти. Крім того, БС малих стільників буде безпосередньо зв'язуватися з БС макросоти, використовуючи зовнішні посилання. У цьому випадку кожна БС малого стільника агрегуватиме всі дані трафіку обслуговуючих UE у висхідній лінії зв'язку та розподілятиме отримані дані серед тих самих UE у низхідній лінії зв'язку.

Ми вважаємо, що кожен UE, незалежно від інших UE, переходить до режиму БС малих стільників з вірогідністю α. Тому, використовуючи кольорову теорему [12, с. 53], БС малих стільників і обслуговуючі UE в режимі користувача складають дві незалежні точки Пуассона з щільністю:

$\lambda_b = \alpha\lambda$ (1a)

Та

$\lambda_u = (1- \alpha)\lambda$ (1b)

Відповідно. Зверніть увагу, що α можна розкласти на два фактори: $\alpha = \alpha_c\alpha_r$, де α_c - це вірогідність того, що певна кількість кваліфикаційних обмежень, наприклад, доступна потужність акумулятора або хороший стан каналу для БС макросоти задовільні, а α_r - ймовірність фактору рандомізації, що контролює кількість БС малих стільників.

Канал між БС малого стільника та UE, підключеним до цієї БС, моделюється великомасштабними втратами траєкторії плюс малим масштабуванням затухання як:

$$P_r = P_0(\frac{R_0}{R})^{\beta}\Omega \quad (2)$$

Де P_r, P_0, R_0, β та Ω - це прийнята потужність на відстані R, опорна потужність, опорна відстань, показник втрати шляху та середній сигнал потужності затухання, відповідно. У цьому випадку, якщо P_{th} є мінімальною отриманою потужністю, необхідною для надійного зв'язку, і R_m є максимальним діапазоном зв'язку, у нас є:

$$\mathrm{E}\{R_m^2\} = R_0^2(\frac{P_0}{P_{th}})^{\frac{2}{\beta}}\,\mathrm{E}\left\{\Omega^{\frac{2}{\beta}}\right\} \quad (3)$$

де E {·} позначає оператора очікування. У цьому випадку середня площа зони покриття для БС малих стільників визначається як:

$$\overline{A} = \pi\mathrm{E}\{R_m^2\} \quad (4)$$

Слід зазначити, що ця середня площа не залежить від того, чи є обсяги зв'язку (наприклад, R_m) для будь-яких двох різних напрямків незалежними чи ні.

Як приклад згасаючого середовища, припускаючи, що моделювання зникання Накагамі-m [14, Sec. 2.2.1.4], використовуючи [14, рів. (2.23)], отримаємо

$$\overline{A} = \pi R_0^2(\frac{P_0}{P_{th}})^{\frac{2}{\beta}}\,\frac{\Gamma(m+\frac{2}{\beta})}{\Gamma(m)m^{\frac{2}{\beta}}} \quad (5)$$

де Г (·) - гамма-функція [15, рів. 6.1.1]. Область покриття $\overline{A}$ в (5) - монотонно зростаюча функція *m*. Отже, коли *m* стає більшим, що означає, що затухання стає менш потужним, площа зони покриття збільшується.

Область Пуассона БС малих стільників, в якій кожна BS пов'язана з незалежною випадковою зоною покриття з середньою площею $\overline{A}$, може розглядатися як процес покриття [16].

У цьому випадку, використовуючи [16, рів. (3.4)] UE у користувацькому режимі може бути підключено, принаймні, до однієї БС малого стільника з ймовірністю:

$$P_{con}(\alpha) = 1 - e^{-\lambda_b \overline{A}} = 1 - \exp\left(-\alpha\lambda\pi \mathrm{E}\{R_m^2\}\right). \quad (6)$$

Визначаючи:

$$\overline{n} = \lambda\pi \mathrm{E}\{R_m^2\} \quad (7)$$

як середню кількість підключених користувачів до BS малого стільника, ми маємо:

$$P_{con}(\alpha) = 1 - e^{-\alpha\overline{n}} \ . \quad (8)$$

Режим UE та його підключення до BS малого стільника є двома незалежними подіями. Таким чином, щільність сполучених користувачів через підмножину БС малих стільників, тобто користувачі з підключенням принаймні до однієї БС малого стільника, надається через

$$\Lambda_c(\alpha) = (1-\alpha)\lambda P_{con}(\alpha) = (1-\alpha)\lambda\left(1 - e^{-\alpha\overline{n}}\right). \quad (9)$$

Зауважимо, що для α = 0 та α = 1 в (9) ми маємо

$$\begin{cases} \Lambda_c(0) = 0 \\ \Lambda_c(1) = 0 \end{cases}. \quad (10)$$

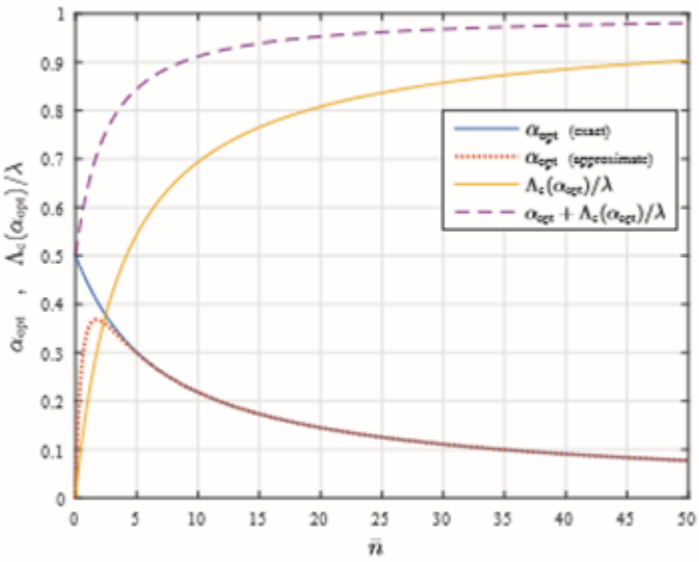

Рис. 4.1 Точне та ймовірне значення вибору БС, та оптимально нормалізована густина підключених UE через підмножину БС малого стільника при різних n.

Крім того, використовуючи (9), одержимо $\Lambda_c(\alpha) > 0$ при $0 < \alpha < 1$. Отже, як показано на малюнку 1, є щонайменше один $\alpha \in (0,1)$, який максимізує $\Lambda_c(\alpha)$. Тут ми знаходимо це оптимальне значення, максимізуючи щільність підключених користувачів через піжмножину БС малих стільників. Отримавши похідну $\Lambda_u(\alpha)$ по α і прирівнюючи його до нуля, отримаємо

$$\frac{d}{d\alpha}[\Lambda_c(\alpha)] = -\lambda\left(1 - e^{-\alpha\overline{n}}\right) + (1-\alpha)\lambda\overline{n}e^{-\alpha\overline{n}} = 0 \text{ . (11)}$$

Отже, після деяких спрощень та перебудов, α_{opt} є рішенням $e^{\overline{n}\alpha} = 1 + (1-\alpha)\overline{n}$ і дається [17, p. 5]

$$\alpha_{opt} = 1 + \frac{1}{\overline{n}} - \frac{1}{\overline{n}}W(e^{\overline{n}+1}) \quad (12)$$

де W (·) - функція Ламберта W [17]. Коли $\overline{n} \ll 1$, використовуючи $e^{\alpha\overline{n}} \approx 1 + \alpha\overline{n}$, отримаємо α_{opt} = 0.5. Крім того, при $\overline{n} \gg 1$, використовуючи наближення $W(x) \cong \ln(x) - \ln(\ln(x)) + \ln(\ln(x))/\ln(x)$, задані [17, рів. (4.18)], ми маємо

$$\alpha_{opt} \cong \frac{\ln(\overline{n}+1)}{\overline{n}+1} \text{ . } (13)$$

На рисунку 4.1 показані точні та приблизні оптимальні ймовірності вибору режиму BS з точки зору середньої кількості підключених UE до кожної БС малого стільника. Як показано на рисунку, приблизна величина αopt, яка дана в (13), дуже точна для $\overline{n} \geq 5$ (з відносною похибкою менше 0,7%). Крім того, на рисунку 2 показана оптимальна нормалізована щільність сполучених користувачів через підмножину БС малих стільників. Зверніть увагу, що оскільки кожен UE в режимі BS може також використовувати власну зовнішню лінію для зв'язку з БС макросоти, загальна нормалізована щільність підключених UE у малих малих стільниках, як у режимі BS, так і в режимі користувача, є α_{opt} +

$\Lambda_c(\alpha_{op})$ / λ. Наприклад, коли $\overline{n} = 5$, це значення виходить як 0.301 + 0.544 = 0.845.

Використовуючи ймовірність вибору оптимального режиму в (13) для щільної мережі ($\overline{n} \gg 1$), щільність малих стільників, яка дорівнює щільності підмножини БС малих стільників, дається шляхом

$$\lambda_{b.opt} = \alpha_{opt}\lambda = \frac{\ln(\overline{n}+1)}{\overline{n}+1}\lambda \cong \frac{\ln(1+\lambda\pi \mathrm{E}\{R_m^2\})}{\pi \mathrm{E}\{R_m^2\}}. \quad (14)$$

Це означає, що, асимптотично, кількість мілих стільників логарифмічно зростає з щільністю користувачів. Оскільки ізольовані UE з'єднуються безпосередньо з підмножиною БС макросоти, а кожен малий стільник підключений до макросоти з зовнішньою лінією, то щільність необхідних ліній до підмножини БС макросоти для того, щоб усі користувачі були пов’язані, дається:

$$\lambda_\iota = \lambda_{b.opt} + \left(\lambda - \lambda_{b.opt} - \Lambda_c(\alpha_{opt})\right) =$$

$$= \left[\frac{\ln(\overline{n}+1)}{\overline{n}+1} + \frac{1-\frac{\ln(\overline{n}+1)}{\overline{n}+1}}{(\overline{n}+1)^{\frac{\overline{n}}{\overline{n}+1}}}\right]\lambda \cong \frac{1+\ln(1+\lambda\pi \mathrm{E}\{R_m^2\})}{\pi \mathrm{E}\{R_m^2\}} \quad (15)$$

для $\overline{n} \gg 1$. Отже, коли кількість з'єднань до БС макросоти пропорційна λ без використання технології віртуальних малих стільників, це число пропорційно логарифму λ у високо щільних мережах, при викорсистанні технології малих віртуальних стільників. Як згадувалося раніше, для надзвичайно розрідженої мережі ($\overline{n} \ll 1$) кожен вузол повинен знаходитися в режимі користувача та БС з рівними імовірності (наприклад, α_{opt} = 0,5). Цю спостережувану поведінку можна пояснити, розглядаючи додаткове значення $\Lambda_u(\alpha)$, тобто

$$\overline{\Lambda}_c(\alpha) = \lambda - \Lambda_c(\alpha) = \lambda - (1-\alpha)\lambda P_{con}(\alpha) = \lambda\alpha + \lambda(1-\alpha)(1 - P_{con}(\alpha)). \quad (16)$$

Перший член сукупності в (16) - це щільність підмножини БС малих стільників, тобто щільність зовнішніх зв'язків. Другий термін сумарного значення - це щільність ізольованих користувачів, з'єднаних безпосередньо з підмножиною БС макросоти, тобто щільністю прямих зв’язків. Оскільки максимізація $\Lambda_c(\alpha)$ така ж, як мінімізація $\overline{\Lambda}_c(\alpha)$, то α_{opt} мінімізує суму щільностей зовнішніх зв'язків та прямих зв'язків з однаковою вагою. Іншими словами, αopt мінімізує кількість необхідних посилань до підмножини БС макросоти для підключення всіх UE. Отже, вартість зв'язку на наявність зовнішньої лінії зв'язку та вартість зв'язку для прямого зв'язку з підмножиною БС макросоти, вважаються однаковими. У надто розрідженій мережі вузол є або БС малого стільника, або ізольованим користувачем. Оскільки витрати на два випадки є однаковими, не існує жодної суттєвої різниці, пов'язаної з тим, що вони перебувають в жодному з цих двох режимів. Проте в цьому стані α_{opt} = 0,5 трохи краще, ніж інші значення α, оскільки це максимізує ймовірність підключення користувачів через малі стільники.

Залежно від специфікацій технічної мережі та рішень з управління мережею, припускаючи однакову вартість зв'язку для наявності зовнішнього зв'язку та наявності прямого зв'язку може мати або не мати сенсу.

Будучи як БС малих стільників, так і ізольованим користувачем, встановлюється вартість встановлення прямого зв’язку з БС макросоти; однак, вартість бенефіціара звичайного зв'язку та зовнішнього зв'язку може бути значно іншою.

Якщо вартість зв'язку на наявність БС малих стільників (зовнішні лінії) та вартість зв'язку на ізольованого користувача (прямий зв'язок) пропорційні θ і $1-\theta$ відповідно, то можна змінити (16), щоб отримати функцію вартості мережі в термінах θ як:

$$\overline{\Lambda}_{c,\theta}(\alpha) = 2\lambda\theta\alpha + 2\lambda(1-\theta)(1-\alpha)\big(1 - P_{con}(\alpha)\big) =$$

$$= 2\lambda\theta\alpha + 2\lambda(1-\theta)(1-\alpha)e^{-\overline{n}\alpha} \text{ . (17)}$$

Зрозуміло, що встановлюючи $\theta = \frac{1}{2}$, (17) зводиться до (16). Приймаючи першу похідну від $\overline{\Lambda}_{u,\theta}(\alpha)$ щодо α, знайдемо

$$\frac{d}{d\alpha}\left[\overline{\Lambda}_{c,\theta}(\alpha)\right] = 2\lambda\theta - 2\lambda(1-\theta)e^{-\overline{n}\alpha}(1+\overline{n}(1-\alpha)) \text{ . (18)}$$

Також легко продемонструвати, що друга похідна $\overline{\Lambda}_{c,\theta}(\alpha)$по відношенню до α невід'ємна при $0 \leq \theta, \alpha \leq 1$. Отже, для заданого $0 \leq \theta \leq 1$, $\overline{\Lambda}_{u,\theta}(\alpha)$ - це випукла функція α і має лише одне мінімальне значення для $0 \leq \alpha \leq 1$. Використовуючи $\frac{d}{d\alpha}\left[\overline{\Lambda}_{c,\theta}(\alpha)\right] = 0$ і розв'язок рівняння $a^x = x + b$ в умовах x, наведене в [17, стор. 5], отримаємо

$$\alpha^* = 1 + \frac{1}{\overline{n}} - \frac{1}{\overline{n}} W\left(\frac{\theta}{1-\theta} e^{\overline{n}+1}\right). \text{ (19)}$$

Коли значення α^* знаходиться в межах інтервалу [0,1], це оптимальне значення α. Коли α^* більше (менше) ніж 1, функція $\overline{\Lambda}_{c,\theta}(\alpha)$ монотонно знижує (збільшує) функцію α понад [0,1], а оптимальне значення α дорівнює одиниці (нулю). Підсумуючи, ми можемо написати:

$$\alpha_{opt} = \begin{cases} 0; & \alpha^* < 0 \\ \alpha^*, & 0 \leq \alpha^* \leq 1 \\ 1; & \alpha^* \geq 1 \end{cases} \text{ . (20)}$$

Використовуючи таке саме наближення для W (·), як і при виведенні (13), α_{opt} для $\overline{n} \gg 1$ отримуємо,

$$\alpha_{opt,\theta} \cong \frac{\ln\left(\overline{n}+1+\ln\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right)\right)}{\overline{n}+1+\mathrm{n}\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right)}\left(1 + \frac{\ln\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right)}{\overline{n}}\right) - \frac{\ln\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right)}{\overline{n}} \text{ . (21)}$$

На рис. 4.2 показана оптимальна ймовірність вибору режиму BS за умов середньої кількості підключених користувачів до БС малого стільника для різних значень θ. Як зазначено, для малих $\overline{n}$ всі UE повинні бути або в режимі користувача (для θ > 0,5) або в режимі БС (для θ <0,5), що означає, що

формування малих стільників практично неефективні для рідких мереж. З іншого боку, значення α_{opt} стають практично однаковими, якщо врахувати (21), коли $\overline{n}$ стає досить великим.

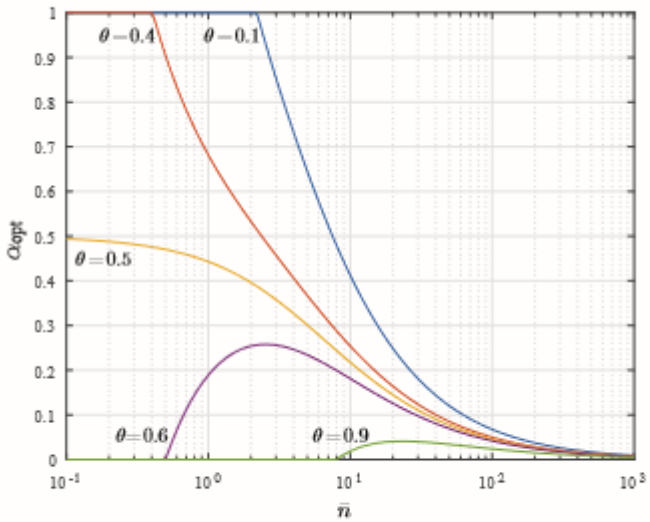

Fig. 3. Optimum BS mode selection probability in terms of the average number of connected UEs to a small cell BS, for different values of the weighting factor θ.

Висновки

Формування малих віртуальних стільників дозволяє розширити концепцію та переваги віртуалізації за межі апаратного забезпечення. Це забезпечує спосіб для операторів безпроводового зв’язку доставляти набагато більше можливостей на задану кількість спектру. Це, в свою чергу, позбавляє їх або необхідністі придбання дорогого додаткового спектру. Як і віртуалізація мережевих функцій (NFV), віртуалізація стільникових мереж також забезпечує динамічне та ефективне використання ресурсів де і коли це необхідно.

Ми проаналізували віртуальну схему формування малих стільників у стільникових мережах, в якій група окремих UE може відігравати роль малих підмножину БС малих стільників для інших UE. Для цієї схеми була отримана оптимальна щільність малих стільників, для якої кількість з'єднань зв'язку з підмножиною БС макросоти для підключення всіх користувачів безпосередньо

або через малі стільники мінімізується, і було показано, що це значення асимптотично пропорційно логарифму щільность мережі.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз розвитку безпроводових технологій доступу. Виявлено основні недоліки мереж минулих поколінь, та показники мережі 4G, що потребують покращення.

2. Розглянуто концепцію архітектури мережі 5G. Перераховано переваги використання даної архітектури. Дана концепція дозволяє використовувати технологію віртуалізації для своїх компонентів.

3. Проаналізовано основні проблеми, що можуть виникнути при реалізації архітектури мережі 5G. Запропоновано варіанти вирішення даних питань.

4. Розглянуто переваги та недоліки використання малих стільників у ліцензійному на неліцензійному спектрі. Основними перевагами для використання малих стільників є: зниження вартості на обладнання, налаштування та експлуатацію, а також можливість використання додаткового спектру для експлуатації.

5. Розглянуто основні концепції та переваги основ віртуалізації, що дозволяє операторам мережі прискорити швидкість введення нових технології, зменшити витрати на споживання та експлуатацію обладнання, а також дозволяє використовувати нові технології за можливістю підписки.

6. Запропоновано технологію формування малих віртуальних стільників у мережі 5G, що дозволяє отримати кількість підключень до базових станцій макросоти пропорційною логарифму щільності користувачів. Оскільки ці відносини є лінійними в звичайних стільникових мережах, використання віртуальних малих стільників може суттєво збільшити загальну ємність мережі.

7. Проведено апробацію запропонованого методу формування малих віртуальних стільників на 12-й міжнародній науково-технічній конференції "ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ".