

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено
**В.о. завідувача
кафедри**

_____ Явіся В.С.
(підпис)
(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018_р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

спеціалізація Апаратно-програмні засоби електронних комунікацій

на тему: Рациональний вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності системи 5G

Виконала: студентка 2_ курсу, групи ТЗ-71мп
(шифр групи)

Гер Валерія Маратівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, Міночкін Д.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

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

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018_ рік

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень та термінів.....	5-7
Вступ.....	8-9
1. Аналіз технології 5G.....	10-16
1.1 Загальні відомості.....	16-17
1.1.1 Виділення діапазону частот для розвитку мобільних мереж 5G.....	17-18
1.1.2 Швидкість передачі даних та інші характеристики п'ятого покоління технологій мобільного зв'язку.....	18
1.2 Вимоги до бездротової мережі 5G.....	18-19
1.2.1 Покриття та швидкість передачі даних.....	19
1.2.2 Затримка.....	19
1.2.3 Підключені пристрої.....	19
1.2.4 Множинні RAT.....	19-20
1.2.5 Енергоефективність та економічність.....	20
1.3 Принципові відмінності між мережами п'ятого і попередніх поколінь.....	20-22
1.4 Тестування технології.....	22-25
1.5 Потенційні технології у стандарті 5G.....	25-27
1.6 Бездротова мережа 5G ще не була стандартизована.....	28
1.6.1 Стільниковий зв'язок і керування мобільністю.....	28-30
1.6.2 Зворотній дизайн.....	30
1.6.3 Низьковитратне придбання CSI і формування променя для масового MIMO.....	30-31
1.7 Проектування мереж архітектури 5G.....	31-34
1.7.1 Системна ємність і швидкість передачі даних.....	34-36
1.7.2 Зниження вартості капіталу та експлуатації.....	36-37
1.7.3 Архітектурне бачення мобільної мережі 5G.....	37-38
1.8 Вплив мереж 5-го покоління на світ.....	38-42
Висновки до розділу.....	43
2. Загальні положення про технологію MIMO та побудова мереж 5G на її основі.....	44
2.1 Загальні відомості.....	44-46
2.2 Класифікація систем MIMO.....	46

2.2.1 Класична система (SISO - Single Input SingleOutput).....	46-47
2.2.2 Рознесений прийом (SIMO - Single Input MultipleOutput).....	47-49
2.2.3 Рознесена передача (MISO - Multiple Input SingleOutput).....	49-50
2.2.4 Просторове ущільнення (MIMO - Multiple Input MultipleOutput).....	50-52
2.3 Користувачі технологією.....	52
2.3.1 Single User MIMO (SU-MIMO).....	52
2.3.2 Multi User MIMO (MU-MIMO).....	52-53
2.4 Антени MIMO.....	53-58
2.5 Галузь застосування технології MIMO.....	58-60
2.6 Побудова мереж 5G на основі використання масивних MIMO.....	61-65
2.7 Переваги та недоліки технології.....	66
2.7.1 Переваги.....	66-69
2.7.2 Недоліки.....	69-71
Висновки до розділу.....	72
3. Архітектура мережі 5G.....	73
3.1 Введення у архітектуру мережі 5G.....	73-77
3.2 Програмні модулі або мережеві функції мережі 5G.....	78
3.2.1 Функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function).....	78
3.2.2 Функція управління сесіями (SMF - Session Management Function).....	79
3.2.3 Функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function).....	79-80
3.2.4 Модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management).....	80-81
3.3 Система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function).....	81-82
3.3.1 Функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function).....	82
3.3.2 Функція управління політиками (PCF - Policy Control Function).....	82
3.3.3 Функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function).....	82-84
3.3.4 Сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function).....	84-86
3.3.5 CUPS (control and user plane separation).....	86
3.3.6 Network Slicing.....	87-88

3.4 PDU сесії.....	88-90
3.5 Ідентифікатори користувачів.....	90-93
Висновки до розділу.....	94
ВИСНОВОК.....	95
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

- AMPS – Advanced Mobile Phone Service(аналоговий стандарт стільникового зв'язку, що відноситься до мереж (1G));
- API – application programming interface (набір готових функцій, що надаються додатком);
- CDMA – Code Division Multiple Access(технологія зв'язку, при якій канали передачі мають загальну смугу частот,);
- CF NOMA – Carrier frequency Non-orthogonal multiple access (несуча частота неортогонального множинного доступу);
- CF MIMO – CarrierfrequencyMultiInputMultiOutput (несуча частота MIMO);
- CPE – Customer Premises Equipment,(обладнання в приміщенні клієнта);
- C/U – control and user data(керуючі дані і призначені для користувача дані);
- D2D – DEVICE TO DEVICE (прямий зв'язок між двома мобільними користувачами без перетину базової станції);
- E2E – End to end (протокол IP сигналізації, який швидко і надійно відкриває прямий канал зв'язку між двома (або більше) користувачами IP-послуг через Інтернет);
- FDMA – Frequency Division Multiple Access (спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному діапазоні знаходиться тільки один абонент, різні абоненти використовують різні частоти в межах стільника);
- GPRS – General Packet Radio Service(надбудова над технологією мобільного зв'язку GSM, що здійснює пакетну передачу даних);
- GSA – Global Mobile Suppliers Association(Глобальна асоціація постачальників мобільного обладнання.);
- GSM – Groupe Spécial Mobile (глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку);
- HSPA – High Speed Packet Access (технологія бездротового широкосмугового радіозв'язку, яка використовує пакетну передачу

даних);

- IMT – International Mobile Telecommunication system (Міжнародна система мобільних телекомунікацій);
- IoT – Internet of Things (концепція обчислювальної мережі фізичних предметів, оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем);
- LAN – Local areanetwork (комп'ютерна мережа, що покриває зазвичай відносно невелику територію або невелику групу будівель) ;
- LTE – Long-Term Evolution (стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів і інших терміналів, що працюють з даними);
- MCS – Modulation and coding scheme (Схеми модуляції і кодування, які використовуються в телекомунікаційній галузі для оптимізації трафіку);
- MIMO – Multiple Input Multiple Output (метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, в якому передача даних і отримання даних здійснюються системами з декількох антен);
- NFV – Network Functions Virtualization (це концепція мережевої архітектури, що пропонує використовувати технології віртуалізації для віртуалізації цілих класів функцій мережевих вузлів у вигляді складових елементів);
- NI – Network intelligence (мережа розвідки);
- NMT – Nordic Mobile Telephone(перша повністю автоматична система стільникового зв'язку);
- NW – Network (мережа);
- OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing (цифрова схема модуляції, яка використовує велику кількість близько розташованих ортогональних піднесучих);
- OTT – Over the Top (метод надання відеопослуг через Інтернет);

QAM	– Quadrature Amplitude Modulation (різновид амплітудної модуляції сигналу, яка є сумою двох несучих коливань зсунутих по фазі відносно один одного на 90 °);
QoS	– quality of service (ймовірність того, що мережа зв'язку відповідає заданій угоді про трафік);
RRU	– Remote radio unit (частина бездротової мережі);
SDN	– software-defined networking (мережа передачі даних, в якій рівень управління мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно);
TACS	– Total Access Communications System (аналогова стільникова система зв'язку загального доступу першого покоління);
TDMA	– Time Division Multiple Access (спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному інтервалі знаходяться кілька абонентів);
UMTS	– Universal Mobile Telecommunications System (технологія стільникового зв'язку, розроблена Європейським Інститутом Стандартів Телекомунікацій (ETSI) для впровадження 3G в Європі);
UPE	– U-plane entity (U- об'єкт площини);
WiMAX	– Worldwide Interoperability for Microwave Access (телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв);
WLAN	– Wireless Local Area Network (локальна мережа, побудована на основі бездротових технологій);
XaaS	– XaaS service (відноситься до збільшення кількості послуг, які надаються через Інтернет, а не передбачених локально або на місці, сутність хмарних обчислень.);
додатки AI	– технології штучного інтелекту.

ВСТУП

Актуальність. Дослідження технологій мереж бездротового зв'язку є дуже важливим завданням. Так як використання високоякісного та високошвидкісного зв'язку в сучасних умовах є необхідним.

Проблеми планування бездротових мереж виникли ще з початку підготовки до їх масового розгортання. Труднощі полягають у розрахунку теоретичного покриття території, а також прогнозування ступеню завантаження мережі і розподілення частот та врахування особливостей антенного обладнання. Тому дуже часто створені мережі працюють не оптимально і значення фактичних вимірювань якості значно відрізняються від теоретично розрахованих.

Для вирішення проблеми планування нових та оптимізації існуючих мереж впроваджуються з кожним новим поколінням все більше і більше нових технологій. Ці технології дозволяють проводити реалізацію для використання п'ятого і попередніх поколінь мобільних мереж. Одна з цих технологій - MIMO.

Перевагами використання такої технології є величезні можливості, які вона пропонує. Технологія дозволяє істотно поліпшити пропускну здатність сигналу, не розширюючи при цьому смугу. Використання цієї технології дозволяє роздавати одразу кілька потоків інформації всього по 1 каналу з подальшим проходженням їх через 2 або більше антен до того як потраплять в незалежні приймальні пристрої для трансляції радіохвиль. Також більше, ніж в 2 рази, збільшується швидкість трансляції та якість переданого сигналу, а також швидкість передачі даних стає кращою, бо технологія спочатку кодує дані, а потім їх відновлює на приймальній стороні. Усе це дає можливість говорити про те, що застосування вказаної технології являється досить перспективним. Тобто вирішується і проблема модифікації вже

існуючих мереж, і можливість задоволення потреб потенціальних користувачів мережею нових стандартів.

Метою роботи є визначення та дослідження основних можливостей технології MIMO під час планування бездротової мережі 5G.

Для досягнення поставленої мети треба виконати такі **завдання**:

- визначити основні параметри та характеристики бездротової технології 5G;
- визначити основні характеристики та можливості планування мереж 5G на базі технології MIMO;
- зробити загальний висновок щодо використання данної технології у мережі 5G.

Об'єктом дослідження є визначення та дослідження бездротової мережі 5G на базі технології MIMO.

Результатом дипломної роботи є рекомендації щодо вибору технології, що як найкраще задовольняє умови використання бездротової технологій та висновки щодо доцільності використання визначеної технології.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

1.1 Загальні відомості

5G – назва технології, яка слідує за 4G-мережами, що вже існують. Незважаючи на активне тестування, стандартизація очікується не раніше 2020 років. По суті, п'яте покоління – не один стандарт, а цілий комплекс технологій, які вже існують, так і абсолютно нових.

5G – це нова мережева система, яка має набагато вищі швидкості і потужності, і також значно вищу надійність, аніж у існуючих систем стільникового зв'язку. Технології, які будуть використовуватися в 5G все ще визначаються.

Мережі 5G будуть використовувати тип кодування OFDM, який схожий на кодування, що використовується у LTE. Покоління стільникового зв'язку змінюються кожні 10 років. Кожне із поколінь достатньо збільшує швидкість передачі даних. Таким чином з'являються нові послуги та нові формати контенту. Люди отримують нові розваги та нову якість життя.

П'яте покоління мобільних мереж обіцяє стати особливо проривним. Стверджують, що саме завдяки 5G інтернет речей, безпілотні авто та віртуальна реальність перейдуть зі сторінок технологічних медіа в нашу реальність.

Нові мережі будуть використовувати дуже високі частоти, які можуть передавати великі обсяги даних. Стандарт буде працювати від низьких частот до високих. Він стане максимально корисним на відміну від 4G на більш високих частотах. 5G може також передавати дані по неліцензійних частотах, що використовуються на даний момент для Wi-Fi, не створюючи конфліктів

існуючими мережами Wi-Fi. Це дуже схоже на технологію T-Mobile підназвою LTE-U.

Мережі 5G будуть мережами невеликих розмірів близьких до розміру домашніх маршрутизаторів, але не будуть величезними випромінюючими вежами великих відстаней. Скоріше за все це відбуватиметься через природу використовуваних частот, але багато що з цього є розширенням пропускної здатності мережі.

Отже, мережі 5G повинні бути більш розумними, ніж попередні системи. 5G матиме можливість збільшити пропускну спроможність в 4 рази більше, ніж в існуючих системах через використання більш широких смуг та передових технологій антен.

Мета полягає в тому, щоб мати достатньо доступними більш високі швидкості та набагато більшу високу пропускну здатність на сектор, аніж 4G.

Зазначимо, що 5G буде забезпечувати набагато швидшу передачу всіх даних, ніж 4G, а також надасть можливість набагато щільніше розташовувати пристрої та зробить можливим надання прямої взаємодії між різноманітними пристроями.

Також розробники вказаного стандарту намагаються зменшити затримки і скоротити використання електричної енергії. Це являється дуже важливим рішенням для мобільних девайсів та пристроїв типу «інтернет речей») у порівнянні з 4G.

Дослідження в області бездротових систем наступного покоління 5G, метою яких є вирішення декількох безпрецедентних технічних вимог і завдань, в останні роки викликали зростаючий інтерес як академічних кіл, так і промисловості. Понад 5 мільярдів пристроїв вимагають бездротових з'єднань, які використовують голосові, інформаційні та інші програми в сучасних бездротових мережах. Дослідження, проведене Wireless World Research Forum, передбачило, що 7 трильйонів бездротових пристроїв будуть обслуговуватися бездротовими мережами як для людських, так і машинних комунікацій у 2017 році.

Крім того, мобільний трафік даних різко збільшився протягом багатьох років, в основному за рахунок величезного попиту на пристрої, такі як смартфони та планшети, а також широкосмугові бездротові додатки, такі як мультимедійні, тривимірні (тривимірні) відеоігри, електронна охорона здоров'я та Car-to -X (Car2X) зв'язку. Ця тенденція буде тривати і очікується, що бездротова мережа 5G буде забезпечувати приблизно в 1000 разів більшу пропускну здатність, ніж нинішня система четвертого покоління (4G). Крім того, в мережі 5G очікується значне поліпшення QoS зв'язку.

Зокрема, підтримка в режимі реального часу буде ключовою вимогою для реалізації багатьох нових бездротових додатків. Фактично, реальний час є дуже суб'єктивним терміном і залежить від конкретного варіанту використання. Отже, послуга може бути визначена як реальний час, коли час реакції зв'язку (тобто час затримки в обидва кінці) швидше, ніж тимчасові константи додатків. Більш того, різні варіанти використання вимагають різних взаємодій в обох напрямках. Наприклад, вимога взаємодії для аудіосигналу становить близько 80 мс, що може підтримуватися поточною довгостроковою еволюцією (LTE), з типовою взаємодією в обидва кінці 25 мс. Хоча LTE-взаємодія достатня для більшості сучасних служб і очікується, що кількість нових варіантів використання, які потребують дуже малої затримки, буде збільшуватися у майбутній мережі 5G, включаючи двосторонню гру, віртуальну і поліпшену реальність (наприклад, мережеві переносні обчислювальні пристрої), а також додатки з сенсорним екраном (тобто тактильний Інтернет). Серед цих випадків використання тактильного Інтернету вимагає більш суворої затримки, яка складає близько 1 мс. Передбачається, що тактильний Інтернет вплине на наше повсякденне життя і трансформує важливі соціально-економічні сектори, такі як охорона здоров'я, освіта, інтелектуальна мережа і інтелектуальне транспортування.

Тому існує нагальна потреба в досягненні цих технічних вимог, одночасно підвищуючи вартість та енергоефективність майбутньої бездротової мережі. Експоненціальне зростання мобільних даних в останні роки суперечить згладжуванню доходів мобільних операторів. Мережа 5G повинна мати

можливість реалізувати економічні бездротові технології.

Витрати, пов'язані з енергетикою, складають значну частину загальних експлуатаційних витрат операторів бездротового зв'язку. Більше ніж 70% рахунку за електроенергію оператора мобільного зв'язку пов'язано з радіочастотою бездротової мережі. Крім того, внесок телекомунікаційного сектора у вуглекислий газ (CO₂) до глобальних викидів CO₂ швидко збільшився за останнє десятиліття, а мобільні оператори входять у число кращих споживачів енергії. Таким чином, крім спектральної ефективності, енергоефективність є найважливішим завданням проектування для зниження експлуатаційних витрат для мобільних операторів, а також для мінімізації впливу бездротового домену на навколишнє середовище.

Щоб вирішити ці проблеми, необхідно прийняти мережеву інфраструктуру, яка може ефективно інтегрувати різні руйнівні бездротові технології і забезпечити міжмережеву взаємодію існуючих і знову розгорнутих технологій. Такий розвиток повинен враховувати виникаючі бездротові додатки і послуги у короткі, середні і довгі терміни. Зокрема, мережа 5G повинна дозволити нам реалізувати дійсно мережеве суспільство з необмеженим доступом до інформації для всієї будь-якої місці і в будь-який час. Це також повинно дозволити нам підтримувати різні розумні інфраструктурита інтелектуальні міста, які є зеленими, безпечними, мобільними, підключеними та проінформованими. Повітряний інтерфейс, спектральна ефективність, доступні смуги спектра і кількість розгорнутих базових станцій (BS) є ключовими вкладниками у продуктивність будь-якої мережі. З цією метою важливо реалізувати ущільнення мережі в декількох вимірах, включаючи розгортання надщільних HetNets з різними типами осередків, декількома технологіями радіодоступу (RAT), масивними MIMO на BS і / або недорогому рішенні: (UE) і експлуатації як мікрохвильових, так і смугових частот. Реалізація цих технологій призведе до повномасштабної 5G HetNet, яка реалізовує різноманітнізадачі по архітектурі, а також в комунікаційних і мережних рівнях.

Вважається, що п'яте покоління мобільного зв'язку з'явиться аж до 2020 року. Пояснити це дуже просто: існує, так зване, правило десяти років. Якщо зазирнути трохи в минуле, то можна помітити, що кожне нове покоління зв'язку з'являлося приблизно через 10 років після появи попереднього. Перше покоління з'явилося на початку 80- років. Друге на початку 90-х. Третє на початку 00-х. Четверте в 2009 році. Отже, можна зробити висновок, що перші мережі 5G з'являться приблизно в 2020 році[1].

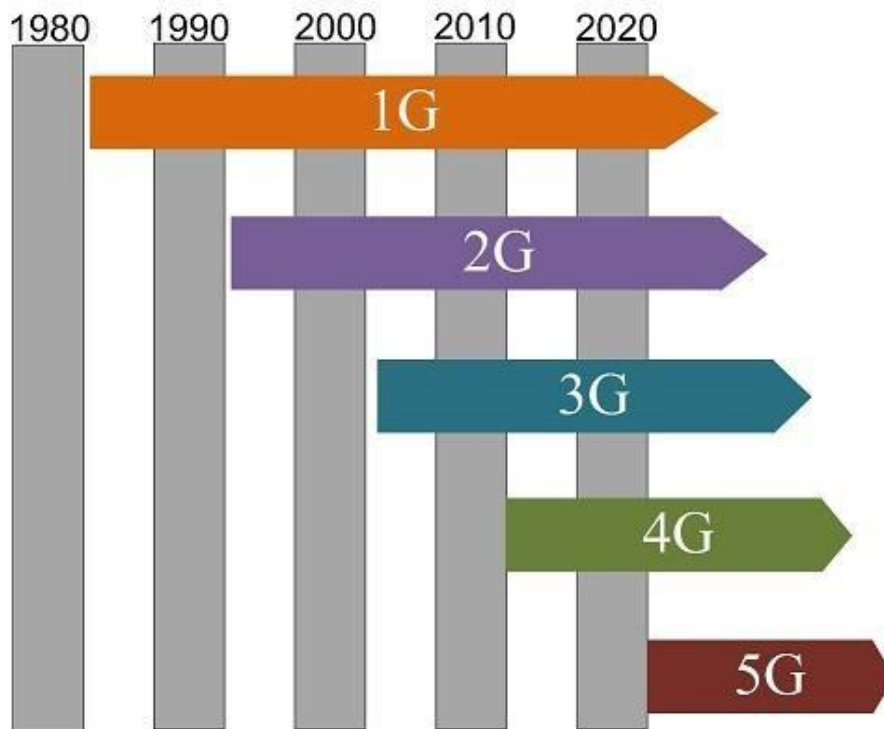


Рис. 1.1 Динаміка розвитку мереж мобільного зв'язку

На даний час ведуться програми по розробці основних описів стандарту п'ятого покоління. Отже, саме через це точного визначення 5G поки визначити не можливо. Є можливість тільки передбачити, якими стануть мережі після 2020 року.

Очевидно саме те, що в майбутньому до мережі буде підключено набагато більше пристроїв, більша частина з яких будуть працювати за принципом «завжди онлайн». При цьому дуже важливим параметром стане низьке енергоспоживання.

Також даний стандарт має обов'язково забезпечити:

- пікову швидкість завантаження даних на 1 базову станцію до 20 Гб/с
- можливість пристрою абонента рухатися зі швидкістю близькою до 500 км/год між базовими станціями (як приклад, в швидкісному потязі)
- можливість девайсам перемикатися між режимами збереження енергії і абсолютно робочим режимом за 10мс
- швидкість завантаження даних близькою до 100 Мб/с та скачування близькою до 50 Мб/с для 1 абонента

- затримки до 4 мс при сприятливих умовах та до однієї мс для спеціалізованих з'єднань
- покращена ефективність при використанні радіочастотного спектру
- передача при швидкості до 1 Гб/с даних одночасно для більшості користувачів на 1 поверсі будівлі
- можливість одночасної працездатності пристроїв кількістю до 1 млн на 1 км².

Отже, у 2013 році вже проектується п'ятого покоління (5G) мобільні мережі, які обіцяють пропускну здатність вдесятеро разів більше, аніж при мережах 4G (як приклад, LTE). Для високої швидкості передачі даних запропоновано використовувати діапазон радіохвиль міліметровий з частотою від 30 до 300 ГГц. В теорії мобільні мережі (5G) п'ятого покоління дозволяють передавати інформацію із швидкістю близькою до 10 Гбіт/с та часом відповіді меншою за 1 мілісекунду. Такі результати задовольняють будь-які потреби сучасних користувачів по завантаженню контенту.

1.1.1 Виділення діапазону частот для розвитку мобільних мереж 5G

Рада Європейського союзу уже визначилася із діапазоном частот, які будуть надалі використовуватись на 1-му етапі по розвитку мобільних мереж (5G) п'ятого покоління.

Наразі експерти вирішили виділити діапазон частот у 700 МГц. Саме він зможе забезпечити надвисокі швидкості передачі даних та досить гарне покриття. У приміщеннях також буде забезпечено гарне покриття.

Мобільні оператори у Європі будуть отримувати ексклюзивний доступ до вказаних частот 694-790 МГц саме 30 червня 2020 року. Очікується, що саме 2020 року на комерційній основі почнеться масштабне розгортання сервісів п'ятого покоління.

Є необхідність зазначити, що діапазон 700 МГц являє собою частину більш

широкої смуги 470-790 МГц, що на даний момент використовується бездротовими мікрофонами на різноманітних заходах та системами цифрового телемовлення.

Саме через це мовним сервісам буде надано пріоритет до 2030 року у частотах нижче 700 МГц - у смузі 470-694 МГц.

За прогнозами компанії Cisco на сервіси 5G до 2021 року припадатиме до 1,5% загального мобільного трафіку даних. У середньому одне з'єднання п'ятого покоління буде генерувати у 4,7 разів більше трафіку, аніж 4G з'єднання та у 10,7 разів більше, аніж 3G з'єднання.

Отже, очікується, що усі міські території і найбільші у Європі транспортні магістралі зможуть бути забезпечені повним покриттям 5G до 2025 року[1].

1.1.2 Швидкість передачі даних та інші характеристики п'ятого покоління технологій мобільного зв'язку

Fifth generation - це технологія мобільного зв'язку п'ятого покоління із достатньо великою швидкістю передачі даних, а саме кілька гігабіт на секунду. Зовсім нещодавно у Швеції реалізували черговий рекорд - 15 Гбіт / с. Отже, це у сорок разів швидше за діючі бездротові мережі.

А також 5G будуть зменшувати затримку сигналу до 1 мілісекунди. У мережах 4G затримка до 10 мілісекунд, а в мережі 3G до 100 мілісекунд. Очікується, що нові покоління стільникового зв'язку будуть з'являтися кожні 10 років. Саме стільки часу йде на розробку стандартів, технологій та поновлення інфраструктури.

Еволюція мобільної мережі					
	Технології	Швидкість	Функції	Початок розробки	Впровадження
1G-аналогова стільникова мережа	NMT, AMPS та ін.	до 1,9 Кбіт/с	дзвінки	1970	1984
2G-цифрова стільникова мережа	GSM та ін.	до 14,4 Кбіт/с	+sms	1980	1991
3G-широкопasmогова цифрова стільникова мережа	CDMA2000, UMTS та ін.	до 3,6Мбіт/с	+ доступ до інтернету	1990	2002
4G-мережі	LTE, WiMAX та ін.	до 1Гбіт/с	+ відеострімінг	2000	2010
5G-мережі	IMT-2020	до 20Гбіт/с	+ UltraHD та 3D-відео, AI-додатки, Інтернет речей	2008	2018

Рис. 1.2 Еволюція мобільної мережі

1.2 Вимоги до бездротової мережі 5G

Бездротова мережа 5G ще не стандартизована. Докладні і точні технічні характеристики цієї мережі будуть доступні в найближчому майбутньому. Однак такі технічні вимоги вже прийняті бездротовою промисловістю та науковими колами.

1.2.1 Покриття та швидкість передачі даних

Мережа 5G повинна підтримувати зв'язок у будь-який час і у будь-якому місці з мінімальною швидкістю передачі даних 1 Гбіт / с . Загалом, оскільки низькорівневі UE-канали змінюються набагато повільніше, ніж UE з високою

мобільністю, вони вимагають більше ресурсів для збору інформації про стан каналу (CSI) (тобто знижують ефективну швидкість передачі даних).

Отже, пікові швидкості передачі даних необхідні користувачами з високою і низькою мобільністю в мережі 5G, можуть бути різними. Мережа також повинна забезпечувати певний QoS для користувачів, які подорожують з дуже високою швидкістю (наприклад, на швидкісних поїздах зі швидкістю 500 км / год), де існуючі мережі не можуть задовільно підтримувати користувачів. Мережа 4G може підтримувати мобільність до 250 км / ч..

1.2.2 Затримка

Вимоги затримки зазвичай складніше досягти у порівнянні з рівнем швидкості передачі даних, оскільки вона вимагає, щоб дані доставлялися у пункт призначення протягом певного періоду часу. Для мережі 5G вимога наскрізної затримки матиме порядок 1-5 мс.

1.2.3 Підключені пристрої

Очікується, що в майбутньої мережі 5G будуть складатися із величезної кількості підключених пристроїв, які можуть досягати у 100 разів більше, ніж в поточних бездротових мережах. Потенційні варіанти використання у цьому відношенні придатні для переносних обчислень, апаратних комунікацій, бездротових датчиків та Інтернету речей. Важливо відзначити, що і підключення пристрою можуть мати різні вимоги з точки зору швидкості зв'язку, затримки та надійності.

1.2.4 Множинні RAT

Мережа 5G не буде розроблена для заміни існуючих бездротових мереж, а скоріше для просування та інтеграції існуючих мережевих інфраструктур з новими. У мережі 5G існуючі бездротові технології, включаючи глобальну систему мобільного зв'язку третього покоління (3G), високошвидкісний

пакетний доступ, LTE і LTE-передові технології і технології Wi-Fi, будуть як і раніше розвиватися і інтегруватися у єдині системи.

1.2.5 Енергоефективність та економічність

Бездротові технології 5G повинні бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити значно кращу економічну ефективність (виміряну в \$) для вирішення проблем мобільних операторів щодо вирівнювання виручки. Зокрема, може знадобитися поліпшити коефіцієнт енергоефективності мережі 5G в 1000 разів у порівнянні з тим, який досягається за допомогою сучасних бездротових технологій.

1.3 Принципові відмінності між мережами п'ятого і попередніх поколінь

Перше і найбільш вагоме - збільшення швидкості, як мінімум, на порядок. По-друге – це зниження затримок та значне збільшення ємності мережі, яка є необхідною для найкращого задоволення зростаючого постійно попиту на Інтернет. Тенденція в тому, що у майбутньому до данної мережі буде підключатися усе, що завгодно, а саме від автомобілів до різноманітних датчиків.

Варто виділити другим пунктом – це перехід до моделі мережі, де головною є не базова станція, а абонент. У вже існуючих мережах абонент має самостійно підлаштовуватися під мережу. А у мережах п'ятого покоління будуть застосовані розумні антени. Ці антени будуть здатні змінювати

діаграму спрямованості в залежності від потреб абонентів у конкретних умовах. А саме, якщо на даний момент часу обслуговується 1 абонент, то дані для нього будуть надходити по вузькоспрямованому каналу. Цей процес зможе підвищити відношення сигнал \ шум і дозволить підвищити швидкість передачі даних.

Третім пунктом являється перехід у область міліметрових хвиль. Справа в тому, що спектральний ресурс обмежений та знайти необхідні частоти в традиційних діапазонах мобільного зв'язку дуже важко. Ясна річ, що для помітного збільшення швидкості передачі даних буде необхідним використовувати набагато більші діапазони частот. Логічним рішенням даної ситуації являється перехід у область десятків ГГц. Багато хто знає, що спостерігається значне зменшення дальності зв'язку зі збільшенням робочої частоти, а саме розмір стільника. Саме тому із третього пункту стало можливим зробити висновок: мережі п'ятого покоління 5G будуть використані у місцях, де наявний попит на швидкісну передачу даних.

Варто виділити таку технологію як MIMO наступним пунктом. Суть цієї технології полягає у використанні декількох антен на приймальній та передавальній сторонах. Вона з'явилася ще в специфікаціях, які відносяться до третього покоління 5G. Більшість мереж таких як LTE-MIMO працюють у режимі 2x2. Даний режим означає, що є дві антени на передачу, а дві на прийом. Отже, які саме плюси від цієї технології? Саме у данному режимі 2x2 швидкість передачі збільшується майже в два рази за рахунок того, що дані передаються відразу по двох незалежних каналах. У данний період розвитку технологій існують девайси, які можуть підтримувати навіть режим 4x4. Але, на жаль, неможливо тільки за рахунок відносно невеликих габаритів смартфонів збільшувати число антен до нескінченності. В наявності є ще одна проблема, яка полягає у зниженні ефективності технології через необхідність передачі службових сигналів від кожної антени.

Останнім пунктом може послугувати необхідність скасування можливої реалізації технології device-to-device. Майже завжди трапляються випадки, коли абоненти спілкуються, перебуваючи на відстані десятків метрів один від одного. Саме

застосування цієї технології дозволяє проходження самих даних безпосередньо між пристроями через мережу оператора за допомогою проходження лише сигнального трафіку, який дає змогу тарифікувати такі виклики. Саме це і являється безпосередньою суттю технології[1].

1.4 Тестування технології

Сьогодні працюють над реалізацією технологій 5G:

- 1) мобільні оператори (Vodafone, AT&T і Verizon, NTTDoCoMo, Telia і ін.);
- 2) дослідницькі лабораторії (як приклад, лабораторія при Дрезденському технічному університеті 5GLabGermany);
- 3) також постачальники телекомунікаційного обладнання (південнокорейська Samsung, фінська Nokia, шведський Ericsson, китайський Huawei, американська Qualcomm і ін.).

Справа в тому, що мобільні оператори зазнають значних збитків саме через конкуренцію з компаніями у сфері ІТ. Особливо після того, як світом поширилось користування месенджерами.

Мережі п'ятого покоління (5G) дають їм шанс на те, щоб осідлати технологічну нову хвилю інтернету речей та надолуження згаяного. Телекомунікаційні компанії укладають угоди на співпрацю із постачальниками обладнання. Також вони щосили тестують можливості 5G-мереж. Особливо, телекомунікаційні компанії намагаються побити рекорди конкурентів по швидкості передачі даних.

Також активними розробками даної технології займаються ІТ-гіганти. Компанія Google у 2015 році змогла запустити свій новий секретний проект під назвою SkyBender - 5G-мережа для дронів.

Але, на жаль, для українців лише нещодавно мережі третього покоління 3G - технології передачі даних стали звичними. А в Японії уже розпочались тести мереж п'ятого покоління. NTT – це японський оператор мобільного зв'язку NTTDoCoMo, що зміг здійснити передачу даних зі швидкістю 10

Гбіт/с. Це в

100 разів перевищує сучасні швидкості, які доступні споживачам. Думка експертів: це черговий крок на шляху до мереж 5G.

Також прес-служба найбільш популярного оператора мобільного зв'язку в Японії повідомила про успішне завершення експерименту. Цей експеримент було проведено спільно з Токійським технологічним інститутом.

Вищезгаданий експеримент був проведений в місті Ісігакі, префектура Окінава, 11 грудня 2012. Інженери використовували смугу 400 МГц на діапазоні частот 11 ГГц для проведення тесту. Саме за допомогою технології MultipleInputMultipleOutput (MIMO) вдалось досягнути швидкості у 10 Гбіт/с. Ця технологія дозволяє розподілити дані на декілька потоків. Отже, для прийому даних одночасно використовувалися 16антен, а для передачі – 8антен.

Спеціалісти з компанії NTTDoCoMo вважають, що найбільшою складністю впровадження даної технології на сьогодні є використання частот, які перевищують 5 ГГц. Саме через це значно скорочується відстань, на яку можна передавати дані.

Також можна додати, що розробка мереж п'ятого покоління 5G активно фінансується Євросоюзом. Скоріш за все, ЄС зможе виділити близько 50 мільйонів євро для розробки технології 5G. Ця технологія повинна стати єдиним стандартом зв'язку у Європі до 2020року.

Третина цієї суми, а саме – 16 мільйонів євро, уже були виділені минулого року. Організація METIS отримала ці гроші отримала організація METIS. Дана організація була створена такими компаніями як Ericsson, Huawei, BMW, Alcatel, Nokia спільно з операторами стільникового зв'язку, декількома університетами, а також дослідницькими центрами Європи. Гроші, які будли виділені з європейського бюджету, склали майже половину бюджету METIS[2].

Велика частина розробників зійшлася на думці щодо необхідності уніфікації стандартів для різних країн. Отже, саме для мереж п'ятого покоління було запропоновано використання частот в діапазоні 700 МГц.

Подібні діапазони використовуються для трансляції звичайного телебачення і повинні бути повністю вивільнені до 2015 року.

Також у Великобританії займаються розробкою мереж п'ятого покоління. Наразі планується, що до кінця 2013 року в університеті графства Суррей Центрі комунікаційних систем проведуть тестування мережі 5G. А щодо ринкових перспектив технології – тут терміни дозрівання оцінюються в десяток років.

У середині 2013 р. компанія Samsung у результаті проведених власних експериментів з прототипом електронної системи з обміну даних досягнула швидкості передачі 1.056 Гбіт/с. Цей експеримент було проведено на частоті 28 ГГц між двома отримувачами, які рухалися зі швидкістю близько 8 км/год.

І при цьому відстань становила приблизно 2 км прямої видимості.

А вже станом на початок 2014 р. відомо про те, що ключові всесвітні вендори обладнання мереж мобільного зв'язку, а саме Nokia, Ericsson, Huawei, у свою чергу інтенсивно працюють над створенням, тестуванням та розробленням телекомунікаційного обладнання для технології 5G у власних дослідницьких центрах. А саме, у другому за величиною європейському центрі компанії Nokia Solutions and Networks R&D, розташованому у місті Вроцлаві (Польща), проводиться серйозна робота з експериментального дослідження ефірного інтерфейсу даної технології. А також створення відповідного програмного забезпечення для функціонування мобільних мереж на її основі. Керівник даного центру Бартош Цеплюх у вересневому інтерв'ю «Польському радіо» відзначив про те, що істотний розвиток технології 4G/ 5G отримують також завдяки кропіткій співпраці у центрі сильних ІТ-команд з іспанців, поляків, румунів і українських інженерів. Інший факт, який підтверджує серйозність намірів Nokiana рахунок здобуття першості у розвитку технології 5G і виведені її на ринок телекомунікацій являється факт об'єднання зусиль з потужною високотехнологічною компанією під назвою National Instruments. Це буде реалізовано саме задля створення концептуальної експериментальної системи 5G, що буде реалізовано із застосуванням NI LabVIEW та модульних приладів NI PXI, які являються на сьогоднішній момент найбільш

сучасною системою для проведення експериментів і швидкого створення прототипів радіоінтерфейсу 5G. Вже у 2016-му році з'явилися конкретні відомості про той факт, що така корпорація як Google проводить випробування за допомогою безпілотних дронів можливості підключення до 5G інтернету. Тестування будуть проходити в рамках проекту під кодовою назвою Skybender.

Отже, саме 22 лютого 2016 Verizon- американська компанія заявила про початок тестування мереж 5G. Розробники компанії Verizon обіцяють те, що технологія буде здатна забезпечити швидкість кілька гігабайт в секунду і мілісекундизатримки[2].

1.5 Потенційні технології у стандарті 5G

1) Масивні MIMO

Ця технологія означає використання декількох антен на приймальній та передавальній сторонах. MIMO технологія досить успішно застосовується у мережах 4-го покоління і стане у пригоді також в мережах 5G. Слід зазначити, якщо на даний момент у мережах використовується MIMO 2x2 і 4x4, то очікується, що у майбутньому кількість антен повинна збільшитися. MIMO технологія має одразу 2 вагомих аргументи щодо застосування у майбутньому: 1) зростає майже пропорційно кількості антен швидкість передачі даних 2) поліпшується при прийомі сигналу якість сигналу одразу невеликою кількістю антен за рахунок рознесеного прийому (Receive Diversity).

2) Перехід в сантиметровий і міліметровий діапазони

Мережі LTE в даний момент часу працюють у частотних діапазонах нижче 3,5 ГГц. Але існує необхідність розгортання мереж у більш вільних високочастотних діапазонах для повноцінного функціонування мереж мобільного зв'язку стандарту 5G. Отже, можна зробити висновок, що дальність зв'язку зменшується при підвищенні частоти, на якій передається інформація. Обійти такий закон фізики можна лише за допомогою підвищення потужності передавача, що обмежена санітарними нормами. Але

існує така думка, що базові станції мереж п'ятого покоління 5G будуть розташовуватися набагато щільніше, аніж зараз. Це викликано необхідністю створити

набагато більшу ємність мережі. Вагома перевага згаданих діапазонів десятків ГГц являє собою наявність великої кількості вільного спектру.

3) Мультитехнологічність

Слід зазначити, що дуже важливою є необхідність підтримки як вже існуючих стандартів, таких як UMTS, GSM, LTE, так і інших, наприклад, Wi-Fi саме для забезпечення високоякісного обслуговування в мережах 5G. Можна дійти висновку, що базові станції, які працюють за технологією Wi-Fi, мають змогу використовуватися в особливо завантажених місцях для розвантаження трафіку.

4) D2D(Device-to-device)

Вказана D2D технологія device-to-device дозволяє пристроям обмінюватися даними безпосередньо без участі мережі 5G, які знаходяться неподалік один від одного. У свою чергу сигнальний трафік буде проходити через ядро мережі. Значною перевагою device-to-device технології являється можливість перенесення передачі даних у неліцензійній частині спектра. Це дозволить додатково розвантажувати мережу.

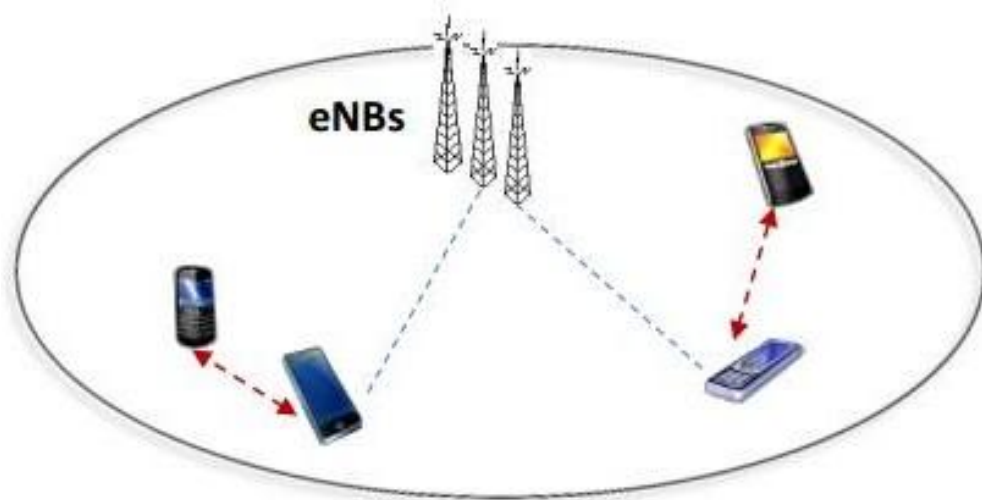


Рис. 1.3 Ілюстрація технології device-to-device

1.6 Бездротова мережа 5G ще не була стандартизована

Крім того, макро-BS використовуються для забезпечення широкосмугового покриття для забезпечення надійного зв'язку і мобільності. З іншого боку, при масивному розгортанні невеликих осередків поділ керуючих та інформаційних площин поліпшить енергоефективність мережі. Ці підходи до проектування пропагують принцип, орієнтований на користувача, і очікується, що набагато більше досліджень буде реалізовано на практиці.

1.6.1 Стільниковий зв'язок і керування мобільністю

У щільній мережі HetNet з декількома рівнями і безліччю RAT, таких як мобільні технології різних поколінь, Wi-Fi і глобальна працездатність для мікрохвильового доступу (WiMaX), кожне UE може мати кілька варіантів асоціації стільникового зв'язку протягом життя своїх активних сеансів. Стільниковий зв'язок повинен бути розроблений для ефективного використання мережевих ресурсів і забезпечення прийняттого QoS для UE. Загалом, невеликі осередки, такі як пікосоти, фемтосоти і Wi-Fi, краще обслуговувати UE з низькою мобільністю, тоді як мобільне ПЗ з високою мобільністю має обслуговуватися макро-BS, щоб уникнути частоті передачі обслуговування. Крім того, макро-BS повинні також заповнювати отвори для покриття мережі, щоб зменшити ймовірність переадресовувати дзвінки. Наприклад, в мережі HetNet типовий піко-BS має максимальний радіус комірки близько 200 м, і якщо хтось намагається зв'язати UE з високошвидкісним поїздом, що рухається зі швидкістю 250 км / год до цієї BS, може знадобитися передача обслуговування, що відбувається через кілька секунд, що абсолютно небажано. Однією з ключових проблем досліджень є розробка оптимальної метрики

стільникового зв'язку з урахуванням різних факторів, таких як якість сигналу, перешкоди, навантаження на трафік, можливість розвантаження даних і мобільність. Крім того, застосована метрика повинна забезпечувати децентралізовану реалізацію з низькими службовими даними. Традиційних показників асоціації, заснованих на рівні сигналу або співвідношенні сигнал / шум, недостатньо для майбутнього 5G HetNet. Очевидно, що продуктивність мережі 5G може бути поліпшена додатково, якщо кожне UE може бути пов'язано з декількома вузлами, як у віртуальній осередок. Крім того, клітинна асоціація повинна бути спільно розроблена з керуванням мобільністю, так що низько- і високошвидкісне UE можна обробляти по різному. Насправді високошвидкісне UE зазвичай знаходиться всередині транспортних засобів, які повинні обслуговуватися макро-BS, щоб уникнути частих переадресувань. Крім того, оскільки транспортні засоби можуть дозволити нам розгорнути масивні MIMO, надійність UE може бути значно поліпшена.

Розвантаження UE на інший рівень одного і того ж RAT або іншого RAT пропонує ефективну стратегію для задоволення вимог майбутнього 5G HetNet. В цьому відношенні частина користувацького трафіку може бути перенаправлено або на інший рівень одного і того ж RAT, або на інший RAT. Розширення діапазону комірок є одним з практичних підходів до розвантаження трафіку від макро-BS до вузлів з малою потужністю. Щоб ще більше підвищити можливості розвантаження, оператори можуть розгорнути свої точки доступу Wi-Fi (AP), щоб полегшити перевантаження трафіку. Ці підходи не можуть бути ідеальним рішенням для майбутньої мережі.

Для досягнення вимог мережі 5G підхід розвантаження для мережі 5G може зажадати використання переваг всіх RAT. У типовому столичному середовищі, де існує кілька співпадаючих RAT, виявлення кращого RAT для розвантаження трафіку не є тривіальним. Це пов'язано з тим, що різні RAT можуть управлятися різними операторами (наприклад, в разі Wi-Fi AP). З іншого боку, оскільки розвантаження між RAT використовує ресурси інших RAT, дохід від вивантаження повинен розподілятися між операторами RAT справедливо. Цей підхід до розвантаження особливо корисний для поширення неправдивих приватної і

довготривалої інформації, такої як файли масових даних, новини, програмне забезпечення та файли, створені лабораторними експериментами і сенсорними мережами, на які припадає 64% поточного світового трафіку мобільної інформації. Крім того, методом розвантаження може знадобитися розглянути можливість визначення місця розташування, користувача і часу RAT; включають як ліцензовані, так і неліцензовані смуги на частотах mmWave, таких як Wireless Gigabit Alliance (WiGIG); і безперервне обмеження часу перемикання доставки між різними RAT, яке становить близько 10 мс.

1.6.2 Зворотній дизайн

Для обміну даними і сигналами між БС і між мережею ядра і доступу (тобто системою БС) потрібні зворотні посилення. В цілому, високопродуктивні і надійні зворотні сполуки підтримують різні типи трафіку і співробітництво між різними BS, що, отже, покращує користувальницький інтерфейс і загальну пропускну здатність мережі. Протягом останніх декількох років були проведені активні дослідження передових технологій передачі і прийому для системи на базі LTE. Для майбутнього щільного HetNet потрібно розгортання ефективної транспортної мережі, яка підтримує координацію і сигналізацію між BS різних типів. Дослідження, проведені в 2012 році, показали, що транзитна мережа існуючої мережі включає 70% міді, 10% волокна і 15% бездротової передачі. І було б краще розгорнути більше технологій перехресного бездротового з'єднання, хоча в мережі 5G все одно буде потрібний дротовий зворотний зв'язок з використанням кабелів оптичного волокна і інтернет-протоколу (IP). В існуючому бездротовому зворотному ході великі фізичні антени з апертурою використовуються для досягнення необхідного посилення лінії, що економічно не бажано. Тому розробка економічної, надійної і масштабної бездротової мережі транзиту стане одним з

основних завдань майбутньої мережі 5G.

1.6.3 Низьковитратне придбання CSI і формування променя для масового MIMO

Формування променя є ключовим інструментом для використання потенціалу систем MIMO, що зазвичай вимагає наявності CSI в передавачі і / або приймачі. Для майбутньої мережі 5G, яка використовує масивний MIMO в смугах частот мікрохвиль і / або міліметрових хвиль, оцінка CSI і формування променя є ключовими проблемами проектування і сильно впливають на продуктивність мережі. Існуючі системи MIMO (наприклад, LTE) оснащені невеликою кількістю антен N (від 1 до 10). У цьому випадку кількість радіочастотних (RF) ланцюгів, цифроаналогових перетворювачів (ЦАП) і аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), які є найдорожчими частинами бездротового приймача, можуть бути такими ж, як число антен. Однак в масивній системі MIMO з 100-1000 антенами розгортання N RF-ланцюгів практично неможливо. З іншого боку, енергоспоживання MIMO приймача збільшується з кількістю активних RF-ланцюгів.

1.7 Проектування мереж архітектури 5G

Загалом усім дуже добре відомо про те, що споживання мобільних даних зростає з кожним днем. Цей процес відбувається саме завдяки посиленому проникненню смарт-пристроїв (смартфонів і планшетів), поліпшеного обладнання (наприклад, кращі екрани), кращого дизайну

користувальницького інтерфейсу, привабливих послуг (наприклад, потокової передачі відео) та бажань в будь-якому місці, будь-який час отримувати високошвидкісний зв'язок. Також можна додати той факт, що понад 70 відсотків цього споживання даних припадає особливо на будинки, офіси, торгові центри, вокзали і інші громадські місця. Ще можна додати, що, незважаючи на те, що мобільний трафік даних росте досить швидкими темпами, але все ж таки трафік сигналізації збільшується на 50 відсотків швидше, аніж трафік даних. Використання додатковими кінцевими користувачами кілька пристроїв із різноманітними можливостями для доступу до поєднання сервісів варте найкращих зусиль (як приклад, обмін миттєвими повідомленнями та електронною поштою), а також послуг із якістю досвіду очікування (як приклад, потокова передача голосу та відео). Можна дійти висновку, що кінцеві користувачі усе частіше оцінюють можливості підключення, виходячи з того, наскільки гарно їх програми працюють. І як очікувалося, незалежно від місця розташування або часу (на шосе або в натовпі) та вони, скоріш за все, коли ці очікування не виконуються невблаганно відносяться до мобільного оператора.

Також слід зазначити, що час автономної роботи пристроїв та безперешкодний досвід роботи на декількох пристроях вже стали досить важливими проблемами для багатьох цілей користувачів. Також стає реальністю Інтернет речей (IoT), що додає «що-небудь» у якості додаткового виміру до підключення (додаток, який дозволяє де завгодно і в будь-який час). Найважливіше те, що потенційні користувачі технологіями майже завжди та усюди носять розумні пристрої (як приклад, годинник, окуляри, браслети), використовують побутові розумні прилади (як приклад, холодильники, термостати, телевізори), автономні автомобілі, датчики та когнітивні мобільні об'єкти (як приклад, літальні безпілотні апарати, роботи). Вони надають обіцяні можливості із так званого розумного світу в багатьох сферах життя, а саме: сільське господарство, транспорт, логістика, охорона здоров'я, безпека, виробництво, освіта та багато іншого. Справа в тому, що оператори на даний час покладаються на вже існуючі мережі (мережі

фіксованого зв'язку і особливо широко розгорнуті мережі 2G / 3G). Для підтримки поточних потреб в IoT багато хто передбачає вимоги, такі як, наприклад, висока надійність, які не завжди підтримуються поточними мережами[2].

Спираючись на висновки у поточних тенденціях, як правило, визначається, що 5G мобільні мережі повинні вирішувати понад 6 проблем, які недостатньо задовільно вирішуються у сучасних розгорнутих мережах, а саме LongTermEvolution-Advanced, LTE-A. Вищезгаданими проблемами є: потужна мобільність пристроїв, потужна мобільність пристроїв, більш висока швидкість передачі даних, більш висока ємність, зниження вартості експлуатації та капіталу. Дані проблеми досить коротко обговорюються разом з деякими потенційними можливостями безпосередньо для їх вирішення нижче. На Рис. 1.4 продемонстрований повний огляд можливостей, відповідних принципів проектування і проблем для 5G.

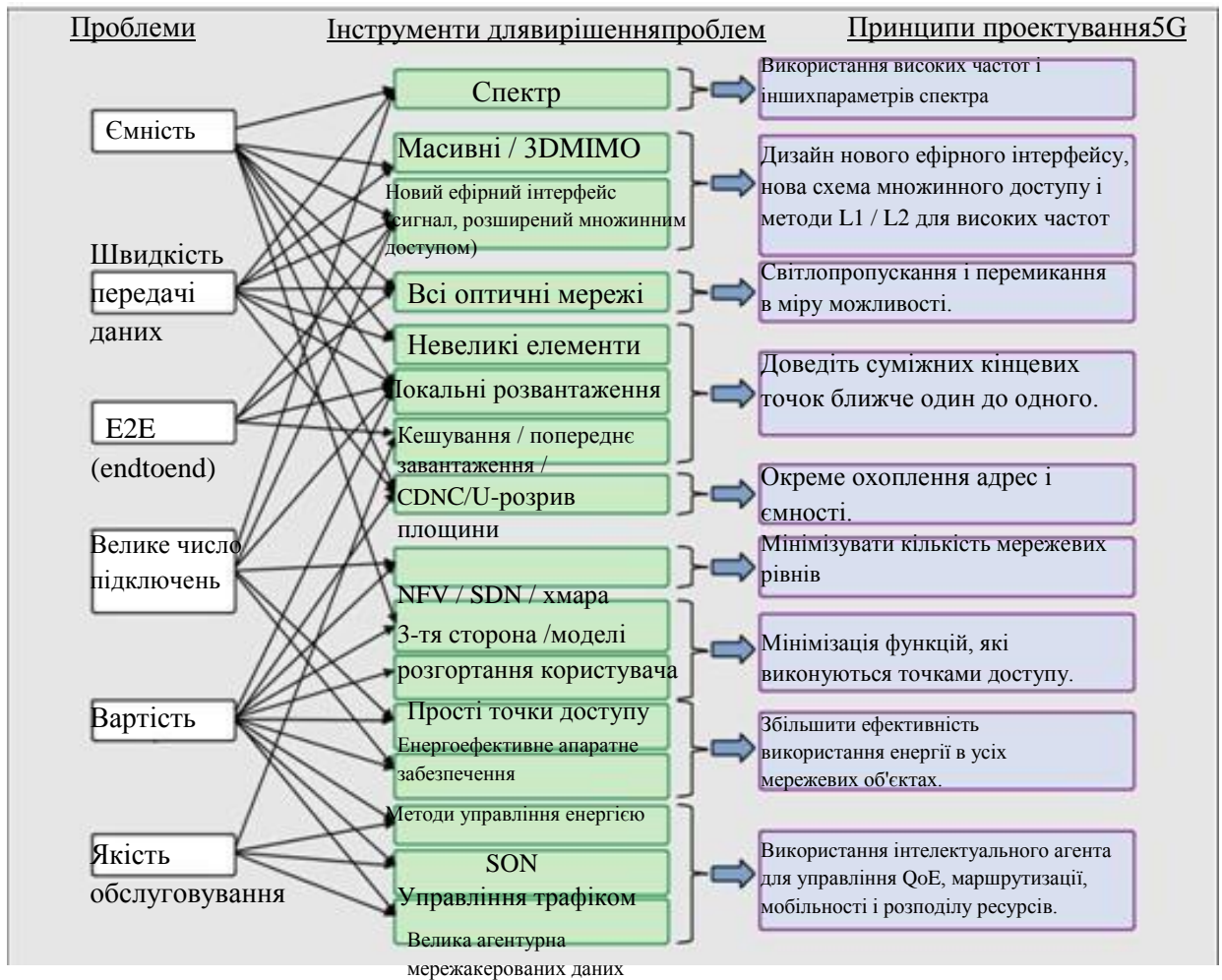


Рис. 1.4 Потенційні фактори і принципи проектування мережі 5G

1.7.1. Системна ємність і швидкість передачі даних

Вважається, що мобільні мережі повинні підтримувати понад 1000-кратне збільшення трафіку у порівнянні з рівнями 2010 року. Також існує необхідність в підтримці збільшення швидкості передачі даних у 10-100 разів навіть при високій мобільності і в переповнених районах. Саме через такі необхідності впливає вимога не тільки у збільшенні пропускної здатності мережі радіодоступу, але і також в магістралі. Ціноутворюючі схеми можуть бути використані для потенційного зниження/зростання споживання даних і управління, як це вже продемонстрували деякі оператори на ринку послуг.

Але, через те, що клієнти готові заплатити саме за надану послугу, а не ніяк за обсяг даних, саме тому моделі ціноутворення можуть виявитися не досить ефективними для придушення трафіку у майбутньому. На даний момент загальна узгоджена думка полягає саме в тому, що для вирішення вищезгаданих завдань необхідні поєднання ущільнення мережі, розвантаження та більша ефективність спектру. Результативні можливості для великої кількості спектрів включають більш вищу частоту смуги (як приклад, міліметрова хвиля), агрегацію фрагментованих ресурсів спектра із використанням методів агрегації носіїв і неліцензійний спект. Агреговане використання спектра може бути застосоване для подвійного зв'язку терміналів з декількома базовими станціями, а також може бути розгорнутого на різних базових станціях. Отже, високочастотні смуги також дозволяють, крім доступної смуги пропускання, для MIMO використовувати антенні решітки із малою різновидністю типів. Це використання може забезпечити 10-кратне збільшення ємності у порівнянні із звичайними одноантенними системами. Але, справа в тому, що високочастотні смуги страждають від високого ослаблення втрат по тракту. Також вони обмежені лініями видимості і середовищем ближньої дії, яка являється відмінною від ліній видимості. Також технологію масивних MIMO можна використовувати задля розширення охоплення набагато більших високих частотних діапазонів. При цьому покладатися можна на коефіцієнти посилення діаграми спрямованості.

Підвищення спектральної ефективності може бути реалізовано за рахунок таких надійних методів фізичного рівня, як 256-квадратурна амплітудна модуляція (QAM), схеми модуляції більш високого порядку і схеми кодування (MCS). Також вони можуть бути об'єднані з MIMO для збільшення пропускної здатності системи.

Вищезгадані методи MCS і MIMO вищого порядку можуть бути використані у невеликих центрах задля підвищення пропускної здатності. Саме масивні MIMO через вузьке формування діаграми спрямованості мають підвищений ризик відмови каналу. Але є можливість мінімізації даного ризику шляхом використання надійних методів, таких як подвійне з'єднання,

яке завжди забезпечує добрий безперебійний захист від покриття.

Також можливість підвищення досяжної пропускну здатності системи можна реалізувати за рахунок локального розвантаження із використанням технології: зв'язок з пристроєм на пристрої.

1.7.2 Зниження вартості капіталу та експлуатації

Для соціально- економічного розвитку мобільний зв'язок являється досить важливим інструментом. Для підтримки такого рівня дуже важливо знизити вартість інфраструктури, а також витрати, які пов'язані із їх управлінням, обслуговуванням, розгортанням і роботою для того, щоб зробити підключення максимально допустимим і стійким, універсальним та доступним. Отже, для задоволення нових вимог необхідні великі поліпшення, але клієнти не бажають платити пропорційно, саме тому тривають вагомі змагання по дизайну для 5G. Тому можна дійти висновку, що мережа 5G повинна бути технологією, яка зможе задовільнити усім новим вимогам за вартістю і зможе забезпечити досить стійке надання послуг.

На жаль, справа в тому, що рішення проблеми з пропускну здатністю і швидкістю передачі даних по ущільненням мережі можуть бути з точки зору експлуатації, обслуговування та обладнання дуже дорогим. Можна розглянути один зі способів зниження вартості обладнання. Цим способом являється мінімізація кількості функціональних можливостей на базовій станції. Данний спосіб можливо здійснити, реалізувавши тільки функціональні можливості рівня 1/2 (L1 / L2) на базовій станції. Також можна реалізувати рішення проблеми, переміщаючи функціональні можливості вищого рівня у хмару мережі, яка може обслуговувати безліч базових станцій. Більш прості базові станції реалізуються шляхом скорочення числа функціональних можливостей. Базові станції такого типу можуть бути розгорнуті користувачами і віддалено чи автономно керуватися

для зменшення витрат на експлуатацію і розгортання.

1.7.3 Архітектурне бачення мобільної мережі 5G

Архітектуру мобільної мережі 5G ілюструє Рисунок 1.5. Архітектура використовує обговорювані раніше механізми. Нижче наведені ключові елементи архітектури:

- 2 логічні мережеві рівня та радіомережа, яка здатна забезпечити тільки мінімальний набір функцій L1 / L2, а також хмара мережі, що може забезпечити усі функції вищого рівня

- масштабування функцій та динамічне розгортання у хмарі мережі за допомогою SDN і NFV

- відокремлення забезпечення пропускну здатності

покриття радіомережі із використанням роздільної архітектури C / U-площини, а також різноманітних смуг частот для покриття та потужності

- протокол порногостека,

який був досягнутий шляхом якісного усунення інтеграції

AS

і NAS і надлишкових функціональних можливостей

- ретрансляція і вкладеність

(підключення пристроїв з обмеженими ресурсами не прозоре для мережі через одні або декілька пристроїв з великою кількістю ресурсів)

для підтримки декількох пристроїв,

групової мобільності і мобільних точок доступу

- мережа відомості, яка керується даними задля оптимізації планування та використання мережевих ресурсів

- конкуруючий і безконтактний доступ до нових отриманих сигналів задля асинхронного доступу до великої масової кількості пристроїв.

Отже, можна дійти висновку, що мережева архітектура складається всього із двох логічних рівнів, а саме: мережевої хмари та радіомережі.

Радіосистеми являють собою різні типи RRU та базових станцій. Вони виконують мінімальний набір функцій L1 / L2. До складу хмари мережі входять наступні елементи: об'єкта С- площини(CPE) і об'єкт U-площини (UPE), які виконують функції досить більшого високого рівня, які пов'язані з С - і U -площиною відповідно[6].

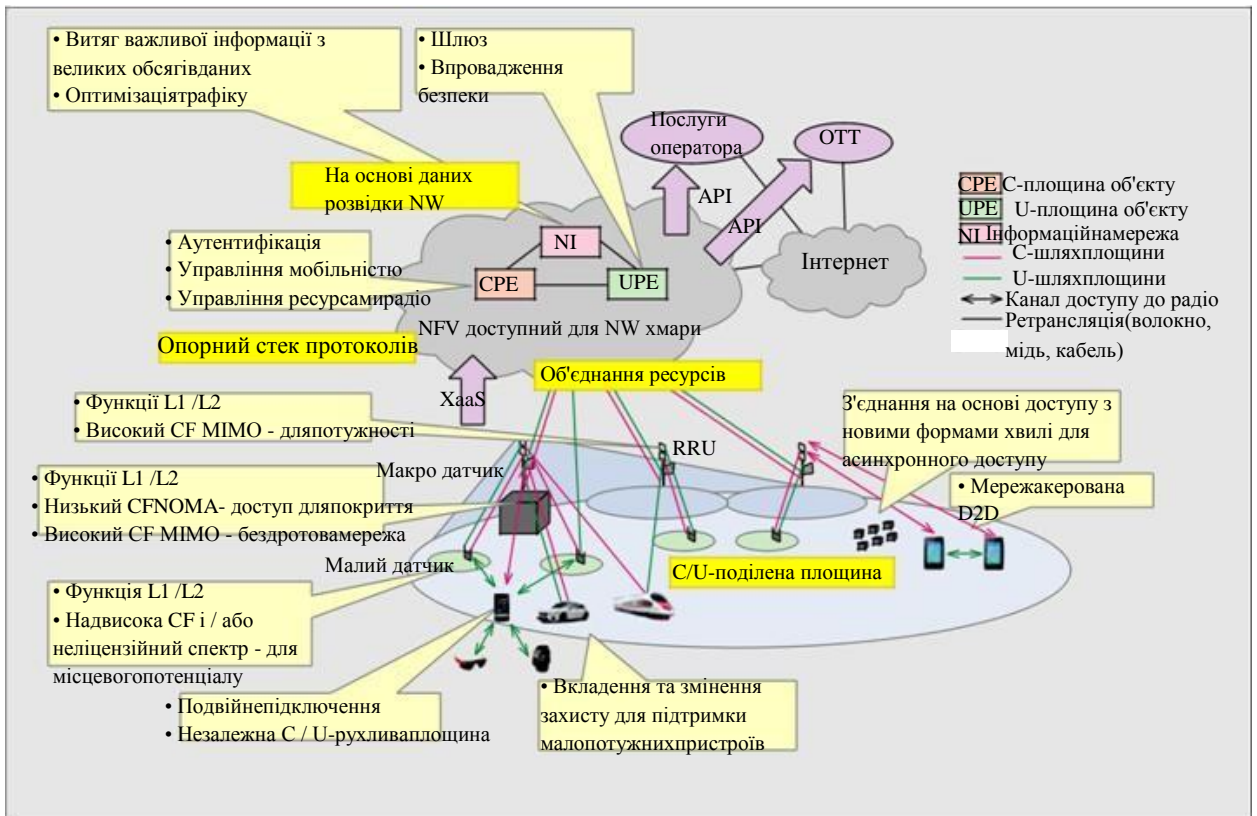


Рис. 1.5 Бачення мобільної мережі 5G та її рушійні потенційні технології

1.8 Вплив мереж 5-го покоління на світ

Саме 5G п'яте покоління – це базова технологія, яка є необхідною для суспільства, держави в цілому і цифрової трансформації бізнесу. Не беручи до уваги теюй факт, що технічні характеристики для широкопasmового доступу п'ятого покоління до сих пір знаходяться на стадії розробки. Але можна сказати, що вже сьогодні очевидно, що ефект від застосування данної

технології вийде далеко за рамки телекомунікаційного бізнесу.

Для розвитку ключових галузей, а отже, і економіки в цілому мобільні мережі стануть важливою частиною інфраструктури. Існує таке твердження попрогнозамEricsson, що до 2026 року запуск стандарту мобільних мереж п'ятого покоління призведе до виникнення зовсім новітнього ринку, що сягатиме обсягу близько \$582 млрд на глобальному рівні.

Віддалене управління важкою промисловістю стане реальністю завдяки практично нульовій затримці. Це дозволить знизити вартість виробництва і підвищити безпеку для співробітників.

Слід додати про те, що дистанційною може стати також хірургія. Уже в цьому році було продемонстровано прототип такого рішення на MWC. Отже, можна дійти висновку, що 5G дозволить передавати по своїх мережах практичні вміння, розвиваючи новий напрям – InternetofSkills, а не тільки інформацію.

Як 5G змінить наше життя?	
Сфера	Ефект
Безпілотні автомобілі	ліквідація небезпечної затримки сигналу на великій швидкості
Промисловість	швидкодія промислових роботів та уніфікація інфраструктури
Сільське господарство	віддалене управління сільгосптехнікою, моніторинг полів і стад
Освіта	наочне навчання через VR-трансляцію процесу з точки зору майстра
Телемедицина	віддалені операції в реальному часі
Спілкування	інтерактивна віртуальна реальність: користувачі зможуть взаємодіяти на відстані так, ніби вони знаходяться поруч
Розваги	швидко бездротова передача відео над високою частотою (4K, 8K), трансляції заходів з ефектом VR
Комп'ютерні ігри	розраховані на багато користувачів VR-ігри без затримки сигналу

Рис.1.6 Вплив мереж 5-го покоління на світ

Абсолютно кожний користувач технологією стане свідком розвитку

розумних транспортних систем. Вже у 2020 році користувачів чекає безпілотне автомобільне майбутнє. В цілому на більшій частині доріг світу буде пересуватись 10 млн розумних транспортних засобів.

Для простих користувачів новітні технології будуть означати ще набагато більшу швидкість доступності до інтернету 24/7, а також в будь-якому місці. Розважальний центр із високою якістю буде завжди в нашій кишені.

EricssonMobilityReport дають прогнози, що до 2022 року на усій планеті буде 29 млрд підключених гаджетів. Пристрої Інтернету речей будуть складати 18 млрд з усієї кількості. Такі підсумки означають, що на кожного активного споживача технологією буде припадати одразу декілька розумних речей.

Через те, що основу екосистеми інтернету речей складають підключені пристрої, очевидно те, що вони об'єднуються в мережі та взаємодіють дротовими і бездротовими каналами зв'язку.

Водночас саме 5G зможе стати базисом для масового розвитку «розумних» рішень. Скоріше за все, це пов'язано з високою енергоефективністю цього стандарту комунікацій. Цей стандарт дозволить підвищити термін служби підключених пристроїв до 10 років. Також це зможе дозволити встановити безліч регуляторів, сенсорів і датчиків, а також практично у всі предмети, якими люди користуються у повсякденному житті. Також звичайні речі перетворяться нагаджети разом з чіпами для зв'язку.

Як приклад, навіть така проста річ як викрутка може стати «розумною». Спільно з ChinaMobile вищезгаданий інструмент нещодавно було представлено в рамках роботи над прототипом «підключеного заводу». Саме на базі EricssonPandaCommunicationCompany проводилися ці роботи, що займаються виробництвом радіообладнання. Понад 1000 викруток використовується на цьому заводі для високоточних маніпуляцій.

Усі ці обладнання потребують періодичного калібрування. Частота таких робіт безпосередньо пов'язана з інтенсивністю використання. Ще зовсім нещодавно всі записи про дані щодо використання інструменту записувалися вручну, у прямому сенсі на папері. Автоматизація збору цих даних стало реальністю саме завдяки встановленню на викрутку сенсорів руху та підключення її до мережі. А також більш раціонально підходити до процесу

обслуговування обладнання.

Отже, можна зробити загальний висновок за даними останнього прогнозу Ericsson щодо найбільшого виграшу від впровадження 5G зазнають наступні 8 галузей: транспорт, сфера розваг, фінанси, важка промисловість, медицина, енергетика, громадська безпека і автомобілебудування.

Висновки

В даному розділі був проведений аналіз мереж 5-го покоління 5G. Аналіз складався з таких пунктів:

- визначення принципових відмінностей між мережами п'ятого і попередніх поколінь;
- розгляд потенційних технологій у стандарті 5G;
- розгляд загальних відомостей та характеристик технології 5G;
- вплив даної мережі на світ.

5G п'яте покоління мобільних мереж обіцяє стати досить проривним. Експерти вважають, що саме завдяки йому безпілотні авт, інтернет речей та віртуальна реальність перейдуть зі сторінок технологічних медіа у наше суспільне повсякденне життя.

На даний час по всьому світу ведуться програми щодо розробки основних обрисів стандарту п'ятого покоління 5G. Насамперед через ці обставини точного визначення релізу 5G поки дати не можливо. Можна лише передбачити, якими стануть мережі після 2020 року.

Переваги 5G:

- низьке енергоспоживання
- поява великої кількості пристроїв, які працюють за принципом «завжди онлайн» адаптація під кожного конкретного користувача та конкретних пристроїв
- наявність базової інфраструктури для світу Інтернет речей
- поява великої кількості пристроїв, які працюють за принципом «завжди онлайн»
- пропаде залежність від провідних мереж і апаратних відео терміналів і ще більша кількість учасників зможе отримувати якісну картинку і більш широкі можливості для інтерактивної взаємодії.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЮ МІМО ТА ПОБУДОВА МЕРЕЖ 5G НА ЇЇ ОСНОВІ

2.1 Загальні відомості

Технологія МІМО (англійською Multiple Input Multiple Output) - це метод просторового кодування сигналу. Цей метод дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, в якому здійснюються передачі даних та отримання даних за рахунок систем з декількох антен. Приймальні та передавальні антени розносять таким чином, щоб кореляція між сусідніми антенами була досить слабкою.

Два важливих завдання вирішує застосування технологій МІМО (multipleinput - multipleoutput):

- підвищення швидкості передачі при застосуванні просторового мультиплексування,
- збільшення якості зв'язку за рахунок просторового тимчасового / частотного кодування і (або) формування променів (beamforming).

При різноманітних реалізаціях технології МІМО мається на увазі саме одночасна передача кількох незалежних повідомлень в одному фізичному каналі. МІМО застосовують багатоантенні системи з метою реалізації дії. А саме: на передавальній стороні є N_t передавальних антен, а на приймальній стороні N_r приймальних.

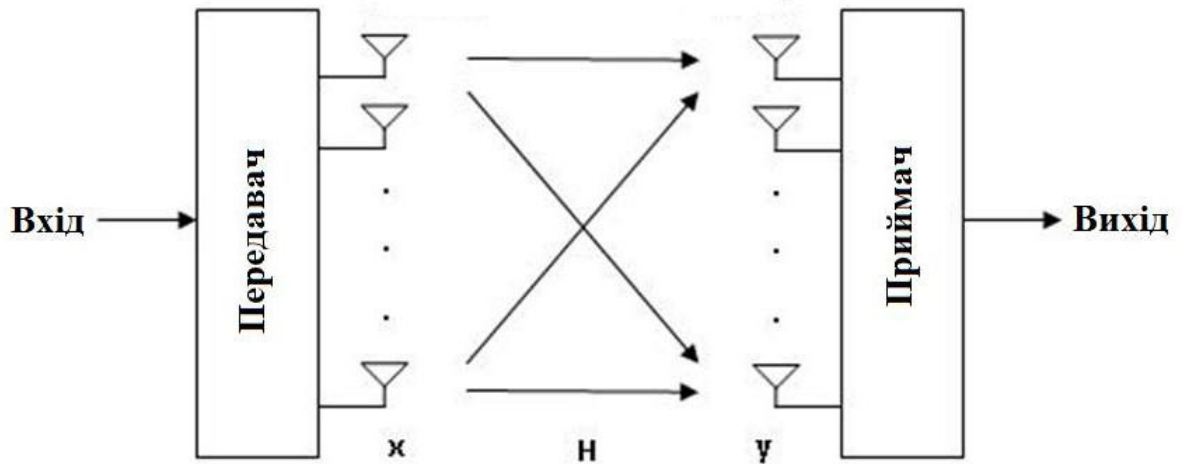


Рис. 2.1 Реалізація систем MIMO

Історія технології систем MIMO власне як об'єкта бездротового зв'язку поки що вельми не тривала. Ще в 1984 році перший патент на використання принципу MIMO у радіозв'язку був зареєстрований від імені співробітника BellLaboratories Джека Вінтерса (JackWinters). Вже пізніше Джек Селз (JackSalz), ґрунтуючись на його дослідженнях з тієї ж компанії, опублікував в 1985 році першу статтю про рішення MIMO. Надалі фахівцями BellLaboratories і іншими дослідниками розвиток даного напрямку тривав аж до 1995 року. Грег Ралей (GregRaleigh) і Джеральд Дж. Фошина (GeraldJ. Foschini) у 1996 році запропонували новий варіант реалізації MIMO системи, збільшивши тим самим її ефективність. Трохи пізніше Грег Ралей, якому присвоюють авторство OFDM (OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing - мультиплексування за допомогою ортогональних несучих) для MIMO, заснував компанію AirgoNetworks. Ця компанія розробила перший MIMO-чіпсет під назвою TrueMIMO.

Однак, MIMO-напрямок розвивається досить швидкоплинно, незважаючи на досить короткий проміжок часу з моменту своєї появи. Загалом цей напрямок включає в себе різноманітне сімейство методів, які можна класифікувати за принципом поділу сигналів в приймальному пристрої. При

цьому одночасно в MIMO-системах використовуються такі підходи до поділу сигналів, які вже увійшли в практику, так і новітні. Отже, до таких підходів відносяться, наприклад, просторово-частотне, просторово-поляризаційне кодування, просторово-тимчасове, а також надрозширення у напрямку приходу сигналу в приймач. Настільки довгу розробку стандартів на використання систем MIMO в засобах зв'язку вдалося досягти саме завдяки великій кількості підходів до поділу сигналів. Але все одно, усі різновиди MIMO спрямовані на досягнення однієї важливої мети - це збільшення пікової швидкості передачі даних у мережах зв'язку за рахунок поліпшення завадостійкості[3].

Існує необхідність підвищення пропускної здатності у таких сучасних системах зв'язку, як приклад, у високошвидкісних локальних обчислювальних мережах, стільникових системах зв'язку і ін.. Шляхом розширення смуги частот або підвищення випромінюваної потужності може бути збільшена пропускна здатність. Але, на жаль, застосування цих методів обмежено через обмежену потужність джерела живлення (в мобільних пристроях) і електромагнітної сумісності, вимоги біологічного захисту. Ефективним може виявитися застосування адаптивних антенних решіток із слабо корельованими антенними елементами у випадках, якщо в системах зв'язку ці підходи не забезпечують необхідну швидкість передачі даних. Системи зв'язку із такими антенами отримали загальну назву систем MIMO.

2.2 Класифікація систем MIMO

2.2.1 Класична система (SISO - Single Input Single Output)

З початку потрібно розглянути варіанти MIMO, які можуть бути використані для передачі даних одному користувачеві. Найперший найпростіший і класичний

варіант - використання однієї передавальної і однієї прийомної антен. З точки зору термінології MIMO така система називається SISO - SingleInputSingleOutput.

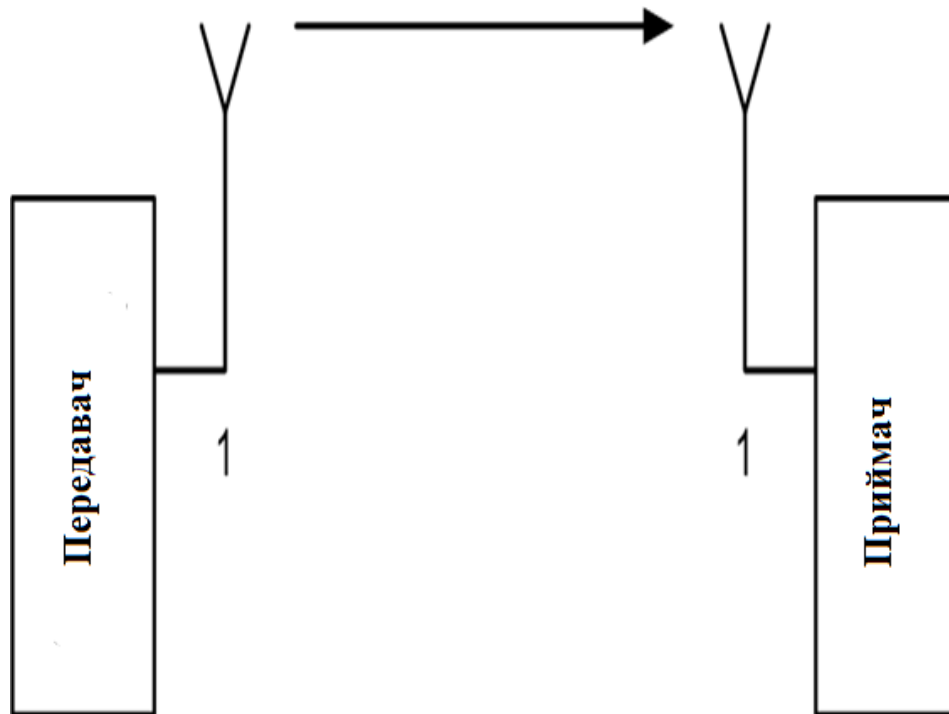


Рис. 2.2 SISO - Single Input Single Output.

Тепер можна розрахувати пропускну здатність такої системи, використовуючи формулу Шеннона:

$$C = B \log_2 (1 + S / N), \text{ де}$$

C - пропускну здатність каналу; S / N - співвідношення сигнал / шум; B - ширина каналу.

2.2.2 Рознесений прийом (SIMO - Single Input MultipleOutput)

SIMO - Single Input MultipleOutput рознесений прийом - це випадок використання більшої кількості антен на приймальній стороні, ніж на передавальній. Така система називається SIMO з точки зору MIMO -

Single Input Multiple Output. Найбільш поширений та простий випадок такої системи, коли передавальна антена одна, а прийомних дві.

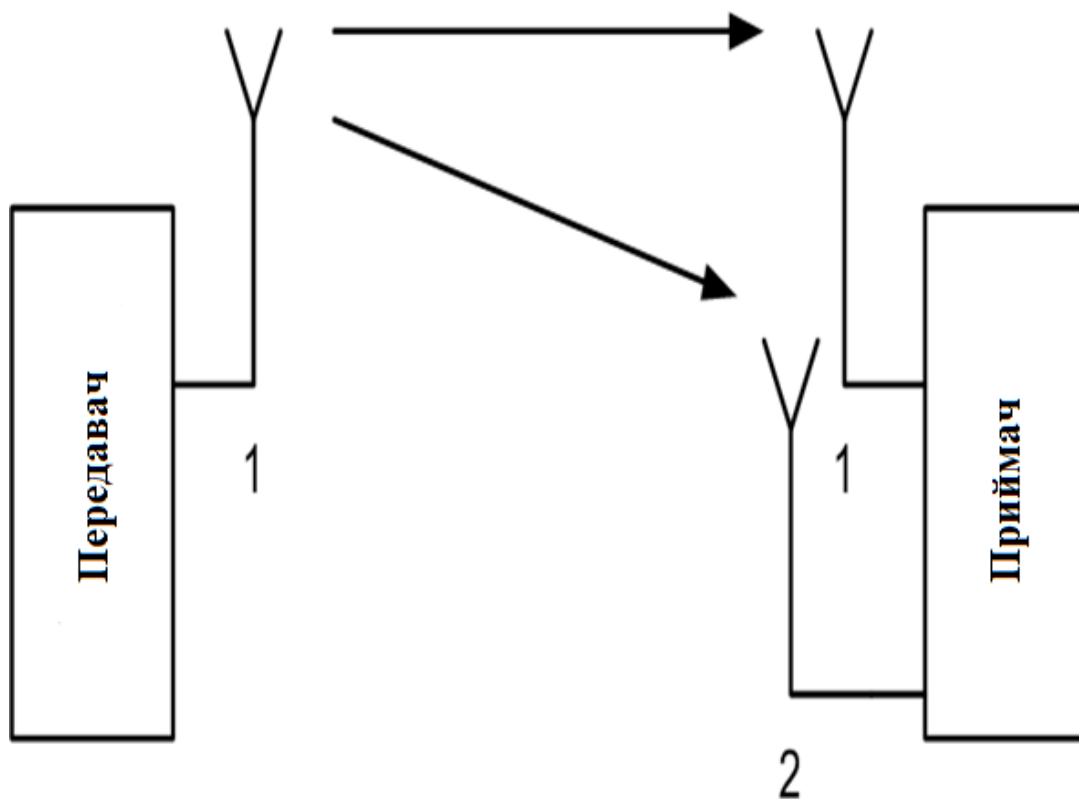


Рис. 2.3 SIMO - Single Input Multiple Output

Представлений вище варіант не вимагає спеціальної якісної підготовки сигналу при передачі, тому цей випадок досить просто реалізувати на практиці. Збільшення пропускнуої спроможності при використанні рознесеного прийому не відбувається. Але, все ж таки підвищується надійність передачі. При випадку із зображеною вище системою на приймальній стороні буде два сигнали і існують різні способи їх обробки.

Як приклад, можливо обирати сигнал із найкращим співвідношенням сигнал / шум. Switched diversity – це назва данного методу. Також дозволяє підвищити співвідношення сигнал / шум складання сигналів. Відповідно такий метод буде називатися MRC - Maximum Ratio Combining[3].

Саме технологія SIMO має широке застосування у цифровому телебаченні (DTV), а також у бездротовій локальній мережі (WLAN), мобільному зв'язку та міській мережі (Mans). Початкова форма SIMO, яка відома ще під назвою

рознесений прийом, використовується військовими ще з часів Першої світової війни на частотах нижче 30 МГц.

2.2.3 Рознесена передача (MISO - Multiple Input Single Output)

MISO - Multiple Input Single Output рознесена передача - це випадок використання меншої кількості антен на приймальній стороні, ніж на передавальній. Така система називається MISO - Multiple Input Single Output з точки зору MIMO. Коли передавальних антен дві, а приймальних одна – це найпростіший випадок такої системи.

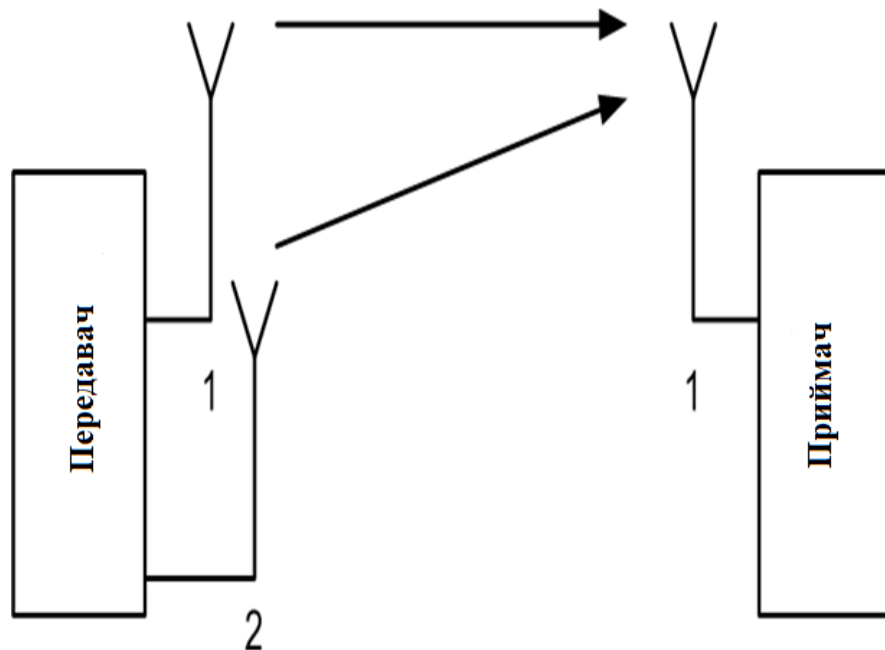


Рис. 2.4 MISO - Multiple Input Single Output

MISO, як і SIMO, не дозволяє збільшити пропускну здатність каналу, але така система здатна підвищити надійність передачі. А також саме використання MISO дозволяє перенести необхідну додаткову обробку

сигналу з приймальної сторони (мобільної станції) на передавальну (базову станцію). Використовується просторово-часове кодування для формування надійного сигналу. У цьому випадку копія сигналу передається не тільки з іншої антени, але і в інший час. Також є можливість використовувати просторово-частотне кодування.

2.2.4 Просторове ущільнення (MIMO - Multiple Input Multiple Output)

MIMO - Multiple Input Multiple Output просторове ущільнення - це випадок використання декількох антен на приймальній стороні і декількох антен на передавальній стороні.

Даний варіант спрямований на підвищення надійності передачі, а на збільшення швидкості передачі, на відміну від попередніх варіантів - MISO і SIMO, які були описані вище. Отже, MIMO використовується для передачі даних мобільним станціям, які знаходяться в якісних радіоумовах. Але водночас такі варіанти, як MISO і SIMO, використовуються для передачі даних мобільним станціям, які знаходяться в більш поганих радіоумовах. Вхідний потік даних розбивають на декілька потоків, кожен з яких незалежно передається з окремою антеною, для того, щоб підвищити швидкість передачі даних у випадку з MIMO. Нижче на малюнку приводиться загальна схема системи MIMO з n приймальними антенами і m передавальними антенами.

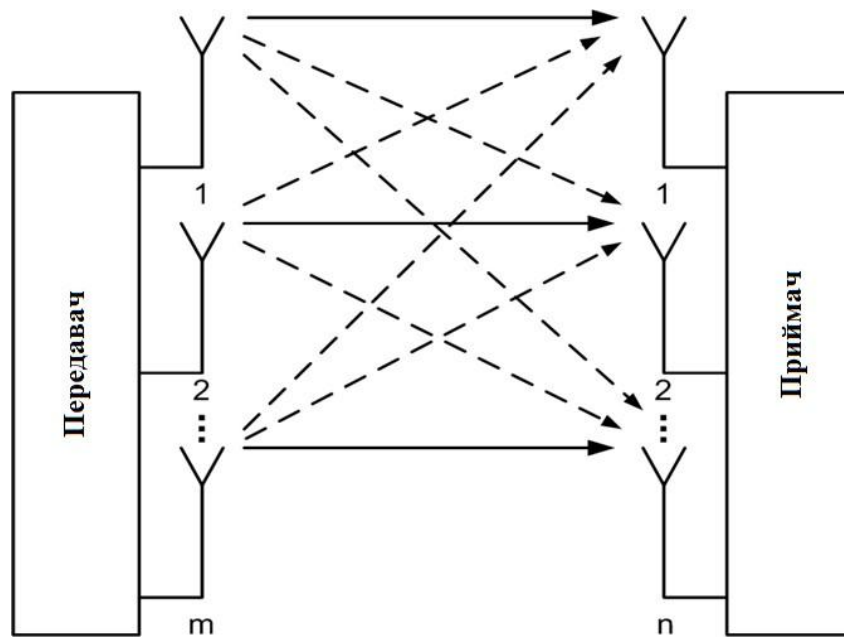


Рис. 2.5 Просторове ущільнення Spatial Multiplexing

Кожна антена на приймачі отримує сигнал не тільки призначений для неї (суцільні лінії на малюнку), а й всі сигнали призначені іншим антен (переривчасті лінії на малюнку) саме через те, що використовується загальний канал. Вплив сигналів, призначених для інших антен, можна обчислити і мінімізувати, якщо відома матриця передачі.

Від кількості використовуваних антен залежить кількість незалежних потоків даних, які можуть одночасно передаватися. Отже, якщо кількість приймальних і передавальних антен однакова, то кількість незалежних потоків даних менше кількості антен або рівна. Як приклад, у разі використання технології MIMO 4x4 кількість незалежних потоків даних може бути 4 або менше. Але ж, якщо кількість приймальних і передавальних антен не однакова, то кількість незалежних потоків даних буде менше або рівна мінімальній кількості антен. Як приклад, у разі використання технології MIMO 4x2 кількість незалежних потоків даних може бути 2 або менше.

У разі використання MIMO для обчислення максимальної пропускної здатності застосовується наступна формула:

$$C = MB \log_2 (1 + S / N), \text{ де}$$

C - пропускна здатність каналу; B - ширина каналу; M - кількість незалежних потоків даних; S / N - співвідношення сигнал / шум[3].

2.3 Користувачі технологією

2.3.1 SingleUserMIMO (SU-MIMO) – це той випадок, коли вказана технологія MIMO використовується для передачі даних одному користувачеві. А саме: це означає, що всі потоки даних адресовані одному і тому ж користувачеві.

2.3.2 MultiUserMIMO (MU-MIMO) - це той випадок, коли вказана технологія MIMO використовується для передачі даних декільком користувачам одночасно в одних і тих самих ресурсних блоках. А саме: це означає, що всі незалежні потоки даних адресовані різним користувачам.

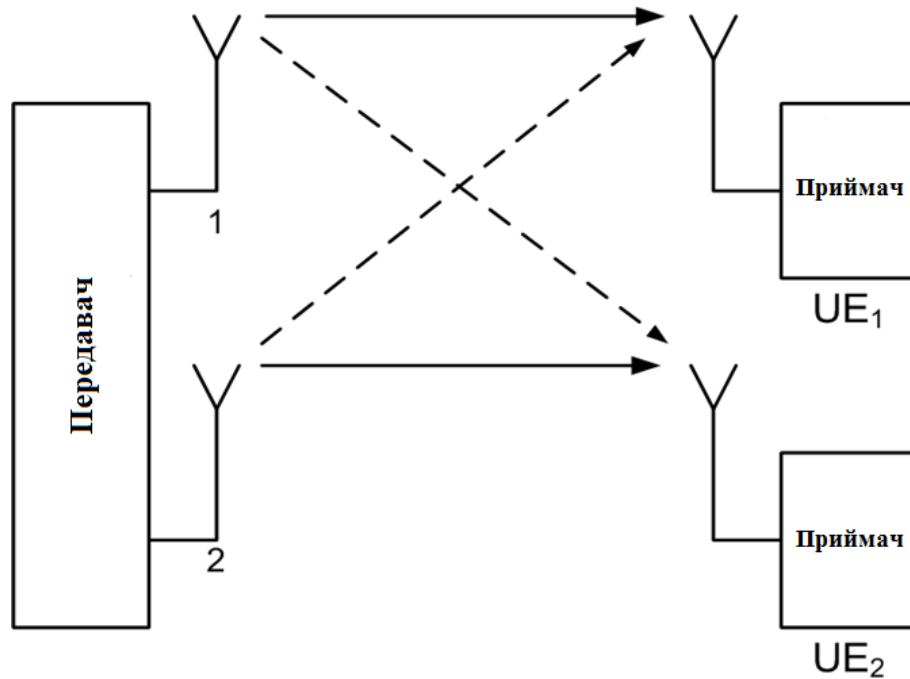


Рис. 2.6 Multi User MIMO (MU-MIMO)

2.4 Антени MIMO

Випадок найпростішої антени MIMO - це система із двохмонополів (несиметричних вібраторів). Ці монополи орієнтовані під кутом $\pm 45^\circ$ щодо вертикальної осі. Так звана ортогональна Х-поляризація застосовується для поділу каналів. При цьому щодо вертикалі поляризація кожної антени зрушена на 45° , а відносно один одного поляризація кожної антени зрушена на 90° . Отже, саме такий кут поляризації ставить обидва канали у рівні умови. Оскільки при горизонтально / вертикально розташованій антені один з каналів неминуче отримав би більше загасання через вплив земної поверхні. При цьому розв'язання каналів між собою не менше, ніж на 18-20дБ дозволяється через зрушення поляризації на 90° між антенами.



Рис. 2.6 Найпростіша антена МІМО

Такий кут поляризації дозволяє каналам перебувати в рівних умовах. Через те, що при горизонтально-вертикальній орієнтації випромінювачів одна із поляризаційних складових неминуче отримала би при поширенні уздовж земної поверхні більше загасання. Вдалося з'ясувати те, що сигнали, що випромінюються незалежно кожним монополієм, поляризовані взаємно ортогонально із достатньо високою взаємною розв'язкою по крос-поляризаційній складовій (не менше 20 дБ). І на приймальній стороні використовується аналогічна антена. Отже, саме такий підхід дозволяє одночасно передавати сигнали із однаковими несучими, які модульовані досить по різному.

Забезпечення подвоєння пропускної здатності лінії радіозв'язку реалізується за допомогою принципу поляризаційного поділу у порівнянні із випадком одиночного монополя. Використання одиночного монополя значить: в ідеальних умовах прямої видимості при ідентичній орієнтації приймальних та передавальних антен. Отже, можливо дійти висновку, що по суті будь-яку систему із подвійною поляризацією можна вважати системою МІМО[4].

Також спостерігались спроби поєднання мережі третього покоління із технологією МІМО, але широкого розповсюдження цей метод не отримав. Від 04.11.2010 за даними GSA (Всесвітньої Асоціації Постачальників Мобільного Устаткування) із 2776 типів пристроїв з підтримкою HSPA, які були представлені на ринку, тільки 28 моделей підтримують МІМО.

Одночасно із тим, впровадження MIMO мережі із низьким проникненням MIMO-терміналів призводить до зниження пропускної здатності мережі. Компанія NokiaSiemensNetworks змогла розробити технологію для мінімізації втрат пропускної здатності. Але, на жаль, вона показала б свою ефективність тільки в тому випадку, коли проникнення MIMO- терміналів склало б не менше 40% абонентських пристроїв. Також можна ще додати той факт, що 14 грудня 2009 року відбувся запуск першої в світі мобільної мережі на базі технології LTE. Ця мережа дозволяла досягти набагато більш високих швидкостей. Роблячи висновок з усього вищезгаданного, можна сказати, що оператори були націлені на якнайшвидше розгортання мереж LTE, аніж на модернізацію мереж третього покоління 3G.

Отже, для моделювання технології MIMO потрібні наступні пристрої: дві антени на даху та модем із двома антенними входами. У стандартах WiMAX та 4GLTE підтримується саме ця технологія на базовій станції як на базі, так і на стороні абонентських пристроїв. Але у 3G мережах не все так однозначно. У данній мережі уже працюють понад тисячу пристроїв, які не підтримують MIMO. А значить для таких пристроїв впровадження цієї технології приносить зворотний ефект: пропускна здатність мережі знижується. Саме через це оператори зв'язку поки не поспішають впроваджувати технологію MIMO у 3G мережах. Для того, щоб база могла надати абонентам досить високу швидкість, вона сама повинна мати достатньо надійний транспорт. А саме, до неї повинна бути підведена "товста труба", скоріш за все оптоволокно, що теж не завжди має місце. Саме через це у 3G мережах MIMO технологія зараз знаходиться на стадії розвитку, становлення і проходить тестування як операторами зв'язку, так і користувачами, причому останніми не завжди успішно. Тому тільки в 4G і 5G мережах варто покладати надії на MIMO антени. Існує можливість застосування антен з великим посиленням на краю зони обслуговування стільника, як приклад дзеркальні, для яких вже є у продажу MIMO випромінювачі[4].

На сьогоднішньому етапі розвитку можна відзначити бурхливе зростання обсягу трафіку у мережах рухомого зв'язку 4 покоління 4G. Але для

забезпечення необхідної швидкості усім своїм абонентам, операторам зв'язку доводиться шукати різноманітні методи щодо підвищення швидкості передачі даних або щодо підвищення ефективності використання частотного ресурсу. Наразі саме MIMO дозволяє передавати у 2 рази більше даних за той же часовий проміжок при варіанті 2x2 у наявній смузі частот. На жаль, максимальна швидкість завантаження інформації складає 326 Мбіт / с, а не 400 Мбіт / с, як передбачає теоретичний розрахунок, якщо використовувати антенну реалізацію 4x4. Це напряму пов'язано із особливістю передачі даних через 4 антени. Для передачі опорних символів кожній із антен виділені певні ресурсні елементи (RE). Ці елементи необхідні для оцінки каналів та організації когерентної демодуляції. У результаті 14,3 відсотків від усіх RE виділено на передачу опорних символів. Що уже навіть зумовлено відмінністю теоретичної і практичних швидкостей.

MIMO антена панельна може у прямому сенсі мати в одному корпусі два набори випромінюючих елементів ("патчів"). Прикладом можуть слугувати чотири патчі, що працюють у вертикальній поляризації, а інші чотири у горизонтальній. Тобто всього отримуємо вісім патчів. Отже, до свого гнізда підключений кожен набір.

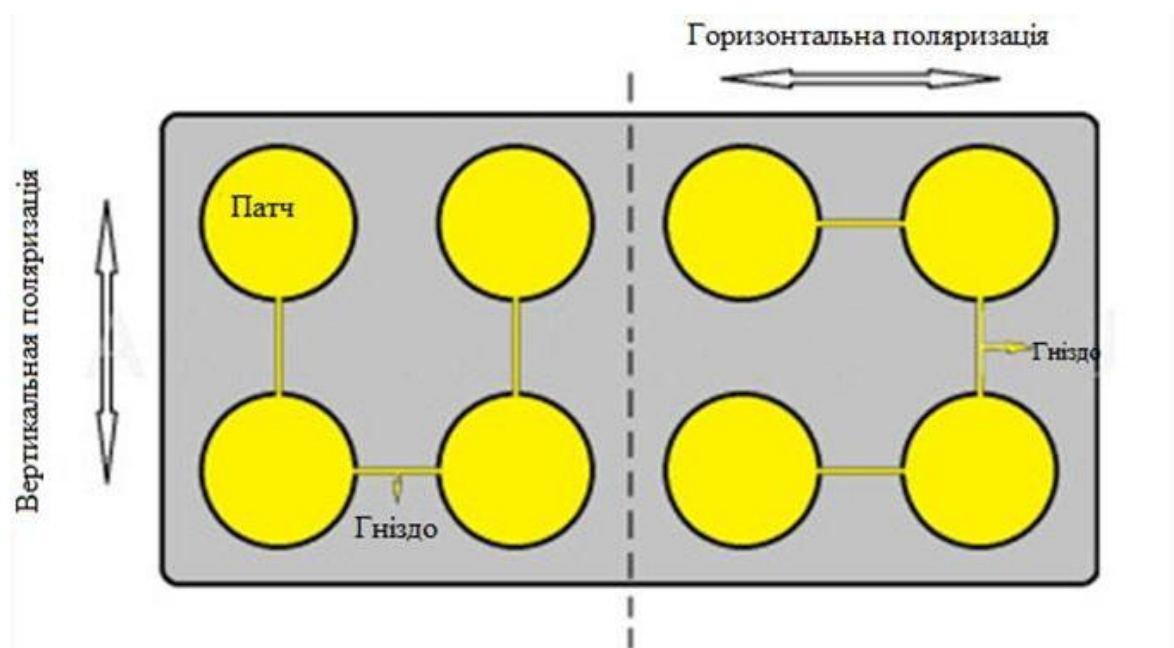


Рис. 2.7 Панельна MIMO антена

Але може мати двухпортове (ортогональне) живлення із одним набором патчів. У такому випадку елементи антени живляться із зсувом фази на 90° і тоді кожен патч буде працювати у вертикальній та горизонтальній поляризаціях одночасно. Один набір патчів буде підключений відразу до двох гнізд у такому випадку.

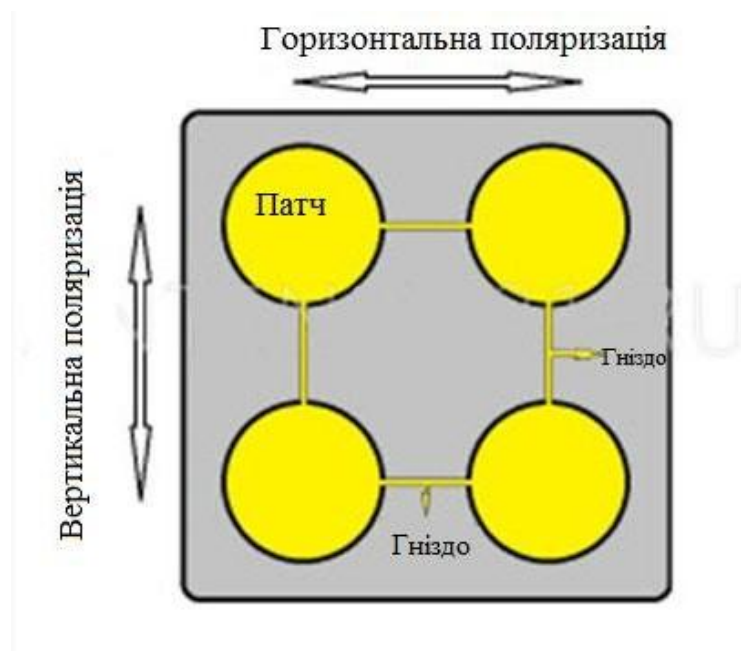


Рис. 2.8 Інший вид панельної МІМО антени

До нових розробок 4G безпосередньо відноситься мобільна трансляція цифрового потоку LTE. Можна виявити, якщо взяти для аналізу 3G мережу, що її швидкість передачі даних в 11 разів менше, ніж 4G. Але разом із цим швидкість, як трансляції даних LTE, так і отримання, нерідко буває поганою якості. Це безпосередньо пов'язано із браком потужності або рівня сигналу, що отримує модем 4GLTE від станції. Впроваджують антени 4G та 5GMIMO саме для істотного поліпшення якості поширення інформації [4].

Змінені антени мають іншу схему передавача у порівнянні із звичайними системами розподілу даних. Можна навести приклад: потрібен дільник цифрових потоків для того, щоб розподіляти інформацію на потоки з низькою швидкістю,

кількість яких пов'язана із числом антен. Створиться два потоки - обидва по 100 Мбіт в секунду, якщо швидкість вхідного потоку приблизно 200 Мбіт в секунду. За допомогою окремої антени повинен транслюватися кожен потік. Радіохвилі, що передаються від кожної з двох антен, будуть відрізнятися поляризацією, щоб розшифрувати дані під час прийому. Для збереження швидкості передачі даних приймальний пристрій має так само мати дві прийомні антени у різних поляризаціях.

2.5 Галузь застосування технології MIMO

Найактуальним способом останнє десятиліття збільшення пропускної здатності та ємності бездротових систем зв'язку є реалізація технології MIMO. Технологія MIMO за рахунок таких протоколів передачі даних, як WiFi, дуже швидко завоювала популярність завдяки збільшенню пропускної здатності та ємності.

Можливо розглянути деякі приклади використання MIMO у різних системах зв'язку. Наприклад, можна взяти стандарт 802.11n WiFi у якості найбільш популярного випадку використання технології MIMO. В цьому протоколі WiFi саме завдяки технології зв'язку MIMO вдається розвинути швидкість понад 300 Мбіт в секунду. Отже, стандарт WiFi 802.11n - один із найбільш яскравих прикладів використання технології MIMO. Причому попередній стандарт 802.11g зміг реалізувати надання лише 50 Мбіт / сек. Окрім збільшення швидкості передачі даних, новий стандарт також дозволяє забезпечити достатньо покращені характеристики якості обслуговування у місцях із низьким рівнем сигналу завдяки MIMO. Стандарт 802.11n використовується не тільки в системах точка / многоточка (Point / Multipoint) - найбільш звичної області використання технології WiFi для організації LAN (Local Area Network). Але і також для організації з'єднань типу точка / точка, які дозволяють передавати дані на десятки кілометрів (до 50 км) та

використовуються для організації магістральних каналів зв'язку зі швидкістю кілька сотень Мбіт / сек.

Бездротова мережа завдяки MIMO отримала поліпшені характеристики в плані якості передачі даних, крім прискорення передачі потоку інформації. Це стало можливим навіть у місцях, де рівень приймального сигналу досить низький. Технологія WiMAX завдяки новим стандартам зв'язку отримала можливість транслювати дані із швидкістю до 40 Мегабіт у секунду[5].

Технологія WiMAX також має порядку двох релізів, які розкривають нові можливості перед користувачами за допомогою технології MIMO. Перший із них реліз - 802.16e, який надає послуги мобільного широкосмугового доступу. Цей реліз дозволяє передавати інформацію зі швидкістю до 40 Мбіт / сек у напрямку від абонентського обладнання до базової станції. Однак в 802.16e MIMO розглядається лише як опція та використовується у найпростішій конфігурації, а саме - 2x2. У другому релізі MIMO 802.16m розглядається як обов'язкова технологія із можливістю конфігурації 4x4. WiMAX у даному випадку уже можна віднести до стільникових систем зв'язку. Є можливість віднести до четвертого їх покоління саме за рахунок високої швидкості передачі даних. Це можливо через наявність низки властивих стільникових мереж ознак: хендовер, голосові з'єднання та роумінг. Теоретично, може бути досягнута швидкість 100 Мбіт / сек у разі мобільного використання. Швидкість може досягати 1 Гбіт /сек у фіксованому виконанні.

Використання технології MIMO у системах стільникового зв'язку представляє найбільший інтерес. Починаючи з третього покоління систем стільникового зв'язку, дана технологія знаходить своє застосування. У стандарті UMTS, як приклад, в Rel. 6 вона використовується спільно з технологією HSPA із підтримкою швидкостей до 20 Мбіт / сек. А вже в Rel. 7 використовується спільно з технологією HSPA +, де швидкості передачі даних досягають 40 Мбіт / сек. Однак так і не знайшла широкого застосування в системах 3GMIMO.

Системи LTE, а саме 4G, також передбачають використання MIMO при конфігурації до 8x8. В теорії це може дати можливість передавати дані понад 300 Мбіт / сек від базової станції до абонента. Стійкість якості з'єднання навіть на краю покриття також є важливим позитивним моментом. При цьому буде спостерігатися лише незначне зниження швидкості передачі даних навіть при знаходженні в глухому приміщенні або на значній відстані від базової станції.

Це означає, що буде відмічено тільки невелике зниження швидкісних характеристик навіть при розташуванні в приміщенні з товстими стінами, а також на суттєвій відстані від станції. MIMO можна застосовувати бездротовим шляхом майже в кожній системі передачі інформації. Також є необхідність зазначити, що потенціал цієї системи невичерпний.

На даний час йдуть активні пошуки шляхів по розробці нових конфігурацій MIMO антен, як приклад, до 64x64. Це дасть можливість ще більше поліпшити ефективність спектральних показників у недалекому майбутньому, а також збільшити величину швидкості трансляції інформації і ємність мереж [5].

Отже, можна дійти висновку, що технологія MIMO застосовується практично у всіх системах бездротової передачі даних. Потенціал технології причому не знає меж. Розробляються нові варіанти конфігурації антен уже зараз, аж до 64x64 MIMO. У майбутньому це дозволить досягти ще більш доступних швидкостей передачі даних, спектральної ефективності і ємності мережі.

2.6 Побудова мереж 5G на основі використання масивних MIMO

Ущільнення мережі за допомогою масивного розгортання осередків різних типів, таких як макро-, мікро-, піко- і фемтосоти, є ключовим методом підвищення пропускної здатності мережі, продуктивності покриття і енергоефективності. Цей підхід до ущільнення був прийнятий в існуючих бездротових мережах, зокрема 3G і 4G LTE, що, по суті, призводить до багаторівневої багаторівневої обчислювальної мережі HetNet. Очікується, що ретрансляційні і багатопотокові комунікації стануть одними з центральних елементів бездротової архітектури 5G (на відміну від існуючої системи LTE, де зв'язок з декількома технологіями розглядається як додаткова функція). Загалом, управління радіоресурсами для HetNets грає вирішальну роль в досягненні переваг цієї передової архітектури. Зокрема, одним з найбільш важливих питань є розробка алгоритму розподілу ресурсів, який ефективно використовує радіоресурс, включаючи пропускну здатність, потужність передачі і антени, при одночасному зниженні інтерференційних і шумових перешкод і гарантуванні прийняттого QoS для активних користувачів. Крім того, дуже важливою є розробка і впровадження надійних мереж зворотного зв'язку, які забезпечують ефективне управління ресурсами і координацію.

Масивні технології MIMO забезпечують життєво важливі засоби для вирішення багатьох технічних завдань майбутнього 5G HetNet і вони можуть бути легко інтегровані з існуючими мережами і технологіями доступу. Розгортання великої кількості антен в передавачі і / або приймачі (масивний MIMO) може значно підвищити спектральність і енергоефективність бездротової мережі. У середовищі з великим розсіюванням ці прирости продуктивності можуть бути досягнуті за допомогою простих стратегій формування діаграми спрямованості, таких як передача максимального відношення (MRT) або нульове форсування (ZF). Більш того, більшість сучасних бездротових систем працюють на мікрохвильових частотах нижче 6 ГГц. Потреба в чистій потужності наступного покоління бездротової мережі

неминуче вимагатиме від нас використовувати смуги частот вище 6 ГГц, де діапазон міліметрових хвиль (30-300 ГГц) може запропонувати величезний сегмент спектра, який все ще недостатньо використовується. Найголовніше, оскільки міліметрові хвиль мають надзвичайно коротку довжину хвилі, стає можливим розміщувати велику кількість антенних елементів в невелику область, що, допомагає реалізувати масивні MIMO.

Зокрема, частоти міліметрових хвиль можуть використовуватися для зовнішніх двоточкових зворотних каналів або для підтримки високошвидкісних бездротових додатків всередині приміщень (наприклад, потокове мультимедіа з високою роздільною здатністю). Фактично, технології міліметрових хвиль вже були стандартизовані для послуг малої дальності в IEEE 802.11ad. Однак ці частоти не були добре вивчені для стільникових додатків. Потенційними причинами є високі втрати на поширення, втрати на проникнення і загасання дощу, і ці частоти легко поглинаються або розсіюються газами. Масивне розгортання невеликих осередків, таких як піко- і фемтосоти в майбутньому 5G HetNet, робить використання близькодіючих технологій міліметрових хвиль дуже корисними. Тому ці частоти можна розглядати як одну з потенційних технологій для задоволення потреб мережі 5G.

Існує безліч можливостей для включення 5G-бездротової мережі, що включає масивні технології MIMO і міліметрові хвилі. Одна така мережева архітектура 5G показана на малюнку 1, де демонструється, як масивні технології MIMO і міліметрові хвилі можуть використовуватися в різних частинах та для різних цілей зв'язку. Архітектура на малюнку 1 використовує як міліметрові хвилі, так і мікрохвильові частоти. Для визначення діапазонів робочих частот різних комунікацій в архітектурі, показаної на фіг. 1, може знадобитися розглянути кілька факторів, таких як проблеми регулювання, додатки, каналу і характеристики втрат по тракту різних смуг частот. У загальному випадку втрати шляху зростають зі збільшенням частоти несучої. Це спостереження призводить до використання СВЧ-частот для зовнішньої зв'язку на великі відстані.

У смугах частот міліметрових хвиль різні частоти мають особливу поведінку. Наприклад, молекула кисню (O_2), як правило, поглинає електромагнітну енергію на частоті 60 ГГц у набагато більшому ступені, ніж в областях 30-160 ГГц. Це поглинання значно послаблює сигнали 60 ГГц на значній відстані; таким чином, сигнали не можуть доходити до користувачів, що знаходяться далеко. Це робить частоту 60 ГГц відповідним для високошвидкісної передачі даних та надійного внутрішнього зв'язку. Отже, вибір робочої частоти залежить від декількох факторів, таких як застосування, різних абсорбацій та блокування. Однак з урахуванням цих факторів існує загальний консенсус щодо того, що смуга частот міліметрових хвиль (30-300 ГГц) може бути корисна для зворотного зв'язку, внутрішнього, короткого діапазону і ліній прямої видимості.

Загалом, розгортання декількох антен в передавачі і / або приймачі покращує загальну продуктивність бездротової системи. Це поліпшення продуктивності досягається, коли коефіцієнти каналу, які відповідають різним передавальним прийомним антенам, відчують незалежне завмирання. Для даної несучої частоти таке незалежне завмирання проявляється, коли відстань між двома антенами складає не менше $0,5m$, де m - довжина хвилі. Таким чином, при фіксованому просторовому вимірі кількість розгорнутих антен збільшується зі збільшенням частоти, що дозволяє розгортати велику кількість антен на частотах міліметрових хвиль. Більш того, розгортання потужного MIMO може бути реалізовано в різних транспортних системах, таких як поїзди та автобуси, навіть в смугах НВЧ-діапазону, оскільки для цього є достатній простір (рис. 2.1).

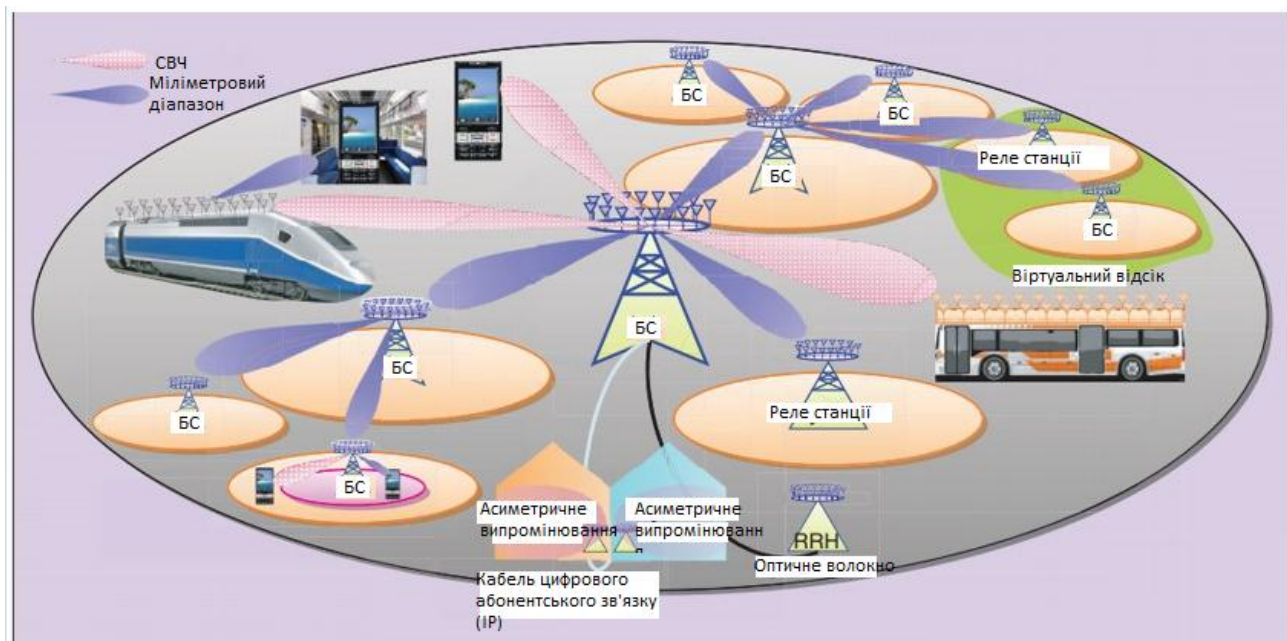


Рисунок 2.1 Потенційна мережева архітектура 5G, що включає масивні технології MIMO і міліметрові хвилі.

В останні роки просуваються тривимірні і повнорозмірні (FD) методи MIMO для підвищення загальної ефективності мережі, оскільки вони дозволяють стільниковим системам підтримувати велику кількість UE (User Equipment) з використанням багатокористувацьких методів MIMO. Таким чином, масивні системи MIMO і міліметрові хвилі розглянутої архітектури також можуть бути спроектовані як тривимірні, так і FD. З іншого боку, ця архітектура може підтримувати узгоджену багатоточкову передачу. Крім того, на малюнку 1 представлена концепція віртуалізації осередків, де віртуальний осередок може бути визначений як мережа або призначена для користувачів (орієнтована на користувача), а також може бути інтегрована як частина мережі хмарного радіодоступу.

Малопотужні БС у 5G можуть встановлюватися і керуватися як операторами бездротового зв'язку, так і кінцевими користувачами. На відміну від малопотужних БС, встановлених операторами, малопотужні БС, розгорнуті кінцевими користувачами, встановлюються абсолютно довільно. Крім того, незаплановані малопотужні і внутрішні БС можуть значно перевищувати заплановані, тоді як малопотужні БС будуть основними драйверами потужності майбутньої мережі

5G, оскільки близько 70% трафіку виникає через внутрішнє середовище. Таким чином, ці вузли з малою потужністю повинні мати функції самоконфігурації, самооптимізації та самовідновлення (тобто характеристики автономної мережі) в управлінні ресурсами і перешкодами, щоб можна було забезпечити ефективне і масштабне розгортання мережі. У зв'язку з цим забезпечення рентабельної задоволеності клієнтів буде вирішальним завданням для мережі. З іншого боку, для підходу виділення ресурсів в мережі 5G на відміну від традиційного підходу (який в основному залежить від частоти помилок в бітах), може знадобитися розглянути різні контекстні дані, такі як додаток, серведа і необхідна QoS з точки зору затримки, частоту помилок в бітах і мінімальні вимоги до швидкості передачі даних. В контексті розглядається місце розташування користувача, мобільність, інші пристрої наближення, дозвіл, центральний процесор і заряд акумулятора пристрою.

Очікується, що мережа 5G досягне мінімальної швидкості 1 Гбіт / с енергозберігаючим способом. Одним з можливих шляхів досягнення цієї мети є прийняття концепції віртуальних осередків (softcell), яка була запропонована для щільної бездротової мережі. Зокрема, радіоресурс, доступні для групи гетерогенних осередків (макро-, мікро- і фемтосоти), вважаються єдиним пулом ресурсів для обслуговування кожного обладнання, яке, в свою чергу, розглядає групу осередків як великі макрокомірки. Крім того, ідея фантомного осередка, яка була спочатку запропонована NTT DoCoMo, може бути використана для кращого управління площинами управління і даних на різних частотах і вузлах. Зокрема, площини управління і даних розділені так, що критичні керуючі дані передаються через надійні СВЧ-лінії між UE (UserEquipment) і макро-БС, в той час як високошвидкісна передача даних між UE і BS з малим осередком реалізується в смугах частот міліметрових хвиль. Отже, надійний і стабільний зв'язок може підтримуватися при використанні переваг смуг міліметрових хвиль.

2.7 Переваги та недоліки технології

2.7.1 Переваги

Технологія MIMO - це роздача одразу декількох потоків інформації всього лише по одному каналу із подальшим проходженням їх через декілька або більшу кількість антен. Потім потоки інформації потрапляють у приймальні незалежні пристрої для трансляції радіохвиль.

Ці умови передачі дозволяють істотно поліпшити пропускну здатність сигналу, при цьому не вдаючись до розширення смуги.

Головною перевагою вважається можливість поліпшення пропускну здатності при цьому не розширюючи смугу. Так пристрій одночасно роздає кілька потоків інформації по єдиному каналу.

Швидкість передачі даних та якість переданого сигналу стають кращими. Ці покращення стають реальними через те, що технологія спочатку кодує дані, а потім відновлює їх на приймальній стороні.

При цьому більше, ніж в два рази, збільшується швидкість трансляції сигналу. Також багато інших параметрів швидкості збільшуються за рахунок використання двох незалежних кабелів, через які одночасно відбувається отримання інформації у вигляді цифрового потоку та роздача. Також поліпшуються якості спектра таких наступних систем: 3G, WiMAX, 4G / LTE, WiFi саме за рахунок використання двох виходів і двох входів.

Цифровий потік в радіоканалі селективно завмирає при трансляції радіохвиль. Є можливість це помітити у випадку перебування в оточенні міських багатоповерхових будинків. А також при русі на великій швидкості або віддаленні від зони, яку можуть охопити радіохвилі. Антена MIMO була створена для позбавлення саме від цієї проблеми, а також ця антена здатна транслювати інформацію із незначною затримкою по декількох каналах. Спочатку інформація кодується, а тільки потім на приймальній стороні

відновлюється. І як результат, значно поліпшується якість сигналу, а також достатньо збільшується швидкість розподілу даних.

Антени LTE за своєю конструктивною особливістю діляться на ті, які складаються з двох приймально-передавальних пристроїв (MIMO), та звичайні. Добитися швидкості не більше ніж 50 Мегабіт в секунду можна завдяки звичайній системі поширення сигналу. Швидкість трансляції сигналу можливо збільшити більш ніж двічі саме завдяки технології MIMO. Такого результату можливо досягти завдяки монтажу в коробі одразу декількох антен. Ці антени мають у своєму розпорядженні розміщення на незначній відстані одна від одної.

Одночасна роздача цифрового потоку антенами до одержувача, а також отримання відбувається через два незалежних кабелі. Ці процеси дозволяють достатньо збільшити швидкісні параметри. Технологія MIMO успішно застосовується у таких бездротових системах, як WiFi, а також у WiMAX і стільникових мережах. Застосування технології, яка має два виходи та два входи, як правило, дозволяє поліпшити спектральні якості 4G / LTE, WiMAX, WiFi та інших систем, а також підняти ємність потоку даних та швидкість передачі інформації. Завдяки трансляції даних від 4GMIMO - антени до одержувача за допомогою декількох бездротових з'єднань стають реальністю перераховані переваги вище. Саме через це і з'явилася назва цієї технології (MultipleInputMultipleOutput - множинний вхід і множинний вихід).

Основною перевагою технології MIMO являється здатність здійснювати прийом сигналів, які прийшли за різними маршрутами, які супроводжуються завжди радіозв'язком. Реалізувавши істотне збільшення швидкості передачі, їх вдалося використати, а, отже, і поліпшити пропускну здатність.

Потрібно уявити у першу чергу, що відбувається при прийомі множинних сигналів. Можна допустити, що користувач їде в машині по центру міста та слухає радіо. Користувач знає, що антена, яка встановлена у машині, приймає сигнали передавача радіостанції. Але на радіо водія також надходять і інші сигнали з тієї же станції, які приходять із різних напрямків. Проблема

полягає в тому, що дроти, особливості ландшафту, будівлі та багато інших об'єктів, які знаходяться між приймачем та передавачем, можуть заломлювати та відображати сигнали. У кінцевому результаті кожен із них потрапляє в його приймач, проходячи при цьому різними маршрутами, і до того ж в різний час (звідси і термін multipath - «багатомаршрутний»). Через те, що додаткові сигнали не синхронізовані з основним, вони здатні його послаблювати або посилювати.

З'являються перешкоди і спотворення саме через зсув фаз, які користувач може помітити під час руху автомобіля по місту. До таких перешкод відносяться пульсуючий прийом, несподіване зникнення звуку, загасання сигналів. Ці фактори можуть призводити у цифрових комунікаціях до збільшення кількості помилок передачі даних та зниження швидкодії.

Додавання антен дозволяє вибрати антену, яка одержує в кожній точці прийому найбільший сигнал, та допомагає «розсортувати» сигнали, як це робиться у деяких бездротових системах. Найважливіше запитання: скільки ж потрібно таких антен? Компанія Netgear нещодавно розробила пристрої, які використовують сім внутрішніх антен, що можуть формувати до 127 різноманітних комбінацій сигналів. Вищезгадана технологія отримала назву рознесенного прийому. Дана технологія продемонструвала те, що можна зробити з декількома антенами, хоча це ще і не є MIMO.

Додаткові маршрути поширення сигналів у MIMO технології можуть використовуватися для передачі більшого обсягу інформації та подальшого відновлення сигналів на приймаючій стороні. Можна сказати, що це в свою чергу аналог можливості людини легко визначати щось на слух, використовуючи різні джерела звуку або тільки два вуха, або виділяти і розуміти окремі фрагменти розмови на тлі шуму вечірки. Але не є новим винаходом застосування декількох приймачів для таких цілей. Цей метод використовується для деяких видів радіозв'язку принаймні півстоліття. Але все ж таки до нещодавнього часу процедура обробки сигналів коштувала занадто дорого, щоб її можна було застосовувати на практиці. Саме поява недорогих високопродуктивних мікросхем з мільйонами транзисторів стала

достатньо важливим фактором, який зробив позитивний вплив на можливість використання технологією MIMO [5].

Для виділення сигналів у системах MIMO, що передаються на одній частоті, може застосовуватися просторове мультиплексування. Разом з тим, існує можливість кодування таких сигналів для того, щоб використовувати їх для відновлення інформації. Технологія, якій дісталась назву «просторово-часового блокового кодування» (space-time block coding, STBC), досить схожа на системи із контролем парності або іншою схемою корекції помилок та виявлення. Ці схеми, підвищуючи надійність передачі інформації, покращують пропускну здатність.

2.3.1 Недоліки

Технологія SU-MIMO на сьогодні використовується в мережах Wi-Fi, при якій процедура обслуговування підключення клієнтів здійснюється послідовно і всі потоки даних адресовані одному користувачеві. Пропускна здатність мережі у результаті такого підходу використовується не в повній мірі, а швидкість обміну даними при цьому при підключенні додаткових пристроїв різко знижується. Користувачі Wi-Fi навіть в зоні впевненого прийому можуть не отримати якісний доступ до мережі. На жаль, цей недолік технології створює безліч незручностей та обмежує перспективи використання Wi-Fi. Для забезпечення якісного доступу в інтернет у громадських місцях доводиться організувати кілька мереж і використовувати кілька роутерів при використанні існуючих систем SU-MIMO. Отже, усе вищезгадане призводить до зростання амортизаційних і організаційних витрат.

Погіршення якісних характеристик являє собою основний недолік у разі відсутності перевідбиттів, як приклад, у районах нещільної забудови, поблизу річки, уздовж автомагістралей і т.п.

Основною ідеєю технології MIMO є розбиття потоку трансльованих даних

між незалежними передавачами та приймачами. Вони у свою чергу забезпечують зв'язок для одного і того ж абонента на одній і тій самій частоті. У порівнянні із звичайною системою сукупний потік даних в цьому випадку може бути збільшений без додаткового розширення смуги робочих частот. Отже, потоки необхідно декорегувати через те, що для потоків даних використовується одна і та ж частота в одному географічному регіоні.

Саме за рахунок організації паралельних некорегованих підканалів забезпечується декореляція в таких системах. За рахунок просторового рознесення елементів приймальної та передавальної антенних решіток досягається некорегованність на відстані близько декількох довжин хвиль несучої частоти. Це зумовлює громіздкість традиційних MIMO-систем. У MIMO-системах використовується також поляризаційне рознесення для того,

щоб мінімізувати цей недолік, поряд з просторовим рознесенням.

Отже, існує необхідність у наявності більше одного (а зазвичай двох) передавально-приймальних трактів у складі абонентського обладнання. Збільшення складності обладнання та його ціни виникає через декодування MIMO. Передбачається станом на жовтень 2007 року те, що перше абонентське обладнання із функціями технології MIMO з'явиться на ринку у 1Q08. Як приклад сучасні WiMAX-рішення, які представляються компанією Alcatel-Lucent, дозволяють використовувати технологію beamforming суспільно із MIMO. Також можливо зробити припущення, що будуть з'являтися мережі в кінці 2008 - початку 2009 року, де буде застосовуватися технологія MIMO для забезпечення покриття в центрі міста, а beamforming - на околицях.

Загалом вище була приведена інформація про те, що технологія MIMO була розроблена спочатку для переді даних в мережі "точка-точка", а саме: це було оптимальне рішення для приєднання мережі до підрозділу компанії до корпоративної мережі або Internet. Вищезгаданий тип з'єднання являє собою два пристрої, які працюють тільки один з одним. По суті, немає проблем із зниженням швидкості передачі у такій топології через проблеми «прихованого» вузла. Але така проблема буває у з'єднаннях типу «точка-

многоточка». Використання технології «прозорого» моста повністю дозволяє створювати з'єднання, які є аналогічними провідному, не витрачаючи при цьому додатковий час на налаштування маршрутизації. Також слід додати, що у мобільній мережі існує таке поняття як хендовер. Ця технологія вирішує проблему мобільності користувачів 5G на базі технології MIMO.

Висновки

У даному розділі був проведений ретельний аналіз технології MIMO.

Аналіз складався із наступних пунктів:

- визначення класифікації варіантів MIMO;
- розгляд загальних відомостей та характеристик технології MIMO;
- вплив даної технології на світ;
- розгляд різновидностей використовуваних антен MIMO.

Технологія MIMO на період останнього десятиліття являється одним із найактуальніших способів збільшення ємності бездротових систем зв'язку і пропускної здатності. Технологія MIMO досить швидко завоювала широку популярність на ринку за рахунок збільшення пропускної здатності і ємності таких протоколів передачі даних, як WiFi.

Основною ідеєю технології MIMO є розбиття потоку трансльованих даних між незалежними передаючо-приймальними пристроями. Саме це забезпечує надійний зв'язок для одного і того ж абонента на одній і тій самій частоті.

Перевагами MIMO є:

- одночасна роздача кількох потоків інформації єдиним каналом
- можливість покращення пропускної здатності не розширюючи при цьому смугу
- швидкість передачі даних та якість переданого сигналу стають кращими через те, що технологія спочатку кодує дані, а потім відновлює їх на приймальній стороні

3. АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ 5G

3.1 Введення у архітектуру мережі 5G

5G - покоління мобільного зв'язку, що діє на основі стандартів телекомунікацій, наступних за існуючою технологією 4G-LTE. Початок стандартизації мереж 5G поклав семінар 3GPP, що пройшов у вересні 2015 року в США, де були визначені плани з підготовки специфікацій. Відповідно до цих планів 1-ша фаза специфікацій повинна бути завершена до другої половини 2018 року (в рамках релізу 15 3GPP), 2-а фаза - до грудня 2019 року (в рамках релізу 16 3GPP). З тих пір у відповідності до вимог учасників ринку плани були скориговані і в грудні 2017 року було завершено стандартизацію так званої Non-Stand-Alone архітектури побудови 5G. Поточний план-графік стандартизації показаний на Рис. 3.1.



Рисунок 3.1. Стандартизація мереж 5G

Архітектура мережі 5G розробляється для підтримки обміну різноманітними даними і надання різних послуг з використанням таких технологій, як мережева віртуалізація (NFV - Network Function Virtualization) і програмно-визначених мереж (SDN - Software Defined Networking).

Основними перевагами, що характеризують мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління є:

- надширокосмуговий мобільний доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB),
- доситьнадійнийзв'язокзнизькимизатримками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC),
- широкомаштабнепідключеннярізнихдатчиківіпристроївзісвіту "Інтернетуречей" (massive Machine Type Communications, mMTC).

Рекомендація 3GPP TR 38.913 визначає наступні ключові показники мереж 5G:

- пікова швидкість передачі даних на лінії вниз (Downlink) 20 Гбіт / с (спектральна ефективність 30 біт / с / Гц);
- пікова швидкість передачі даних на лінії вгору (Uplink) 10 Гбіт / с (спектральна ефективність 15 біт / с / Гц);
- мінімальна затримка в підсистемі радіодоступу для сервісів URLLC - 0,5 мс, для сервісів eMBB - 4 мс;
- максимальна щільність підключених до мережі в міських умовах пристроїв зі світу "Інтернету речей" - 1 000 000 пристроїв / км²;
- автономна робота пристроїв зі світу "Інтернету речей" без підзарядки акумулятора протягом 10 років;
- підтримка мобільності при максимальній швидкості пересування об'єктів 500 км / ч.

Дані показники є іноді несумісними і навіть взаємовиключними. Тому різним пристроям у різні моменти часу будуть доступні тільки певні сервіси з певними показниками (в рамках концепції Network Slicing).

Ключові принципи архітектури мережі 5G полягають в наступному:

- поділ мережевих вузлів на елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини користувача» (UP - User Plane) і елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини управління» (CP - Control Plane), що значно збільшує гнучкість в частині

масштабування і розгортання (допускаючи централізоване і децентралізоване розміщення окремих складових мережевих вузлів);

- поділ мережевих елементів на мережеві шари (Network Slicing), ґрунтуючись на послуги, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів;

- реалізація мережевих елементів у вигляді віртуальних мережевих функцій - VNF (Virtual Network Functions);

- підтримка одночасного доступу до централізованих і локальних служб, що дозволяє реалізовувати концепції хмарних (fog computing) і прикордонних (edge computing) обчислень;

- визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу (AN - Access Network) - 3GPP (New Radio - NR) і не 3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN - Core Network);

- підтримка єдиних алгоритмів і процедур аутентифікації (без залежності від типу мережі доступу);

- підтримка мережевих функцій без збереження стану (stateless), де обчислювальний ресурс відділений від ресурсу зберігання;

- підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню мережу (Home routed), так і з локальним приземленням (Local breakout) у гостьовій мережі (VPLMN).

В архітектурі 5G взаємодія між мережевими функціями представлено двома способами:

- сервіс-орієнтоване, коли одні мережеві функції (наприклад, AMF) дозволяють іншим авторизованим мережевим функціям отримувати доступ до їх сервісів;

- частиною інтерфейсу, яка показує як саме взаємодія існує між сервісами мережевих функцій, описаних як взаємодія точка-точка (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF і SMF);

Мережеві функції на площині управління 5G повинні використовувати тільки сервіс-орієнтовані інтерфейси для їх взаємодії.

Мережа 5G включає в себе наступні основні програмні модулі і мережеві функції (NF):

- функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);
- функція управління сесіями (SMF - Session Management Function);
- функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function);
- модуль керування даними користувачів (UDM - Unified Data Management);
- уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository);
- система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function);
- функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function);
- функція управління політиками (PCF - Policy Control Function);
- функція забезпечення взаємодії зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function);
- сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function);
- прикладна функція (AF - Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями за допомогою протоколу NAS (SMSF - SMS Function);
- функція взаємодії з не-3GPP мережею доступу (N3IWF - Non-3GPP InterWorking Function).

На Рис.3.2. зображена архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління.

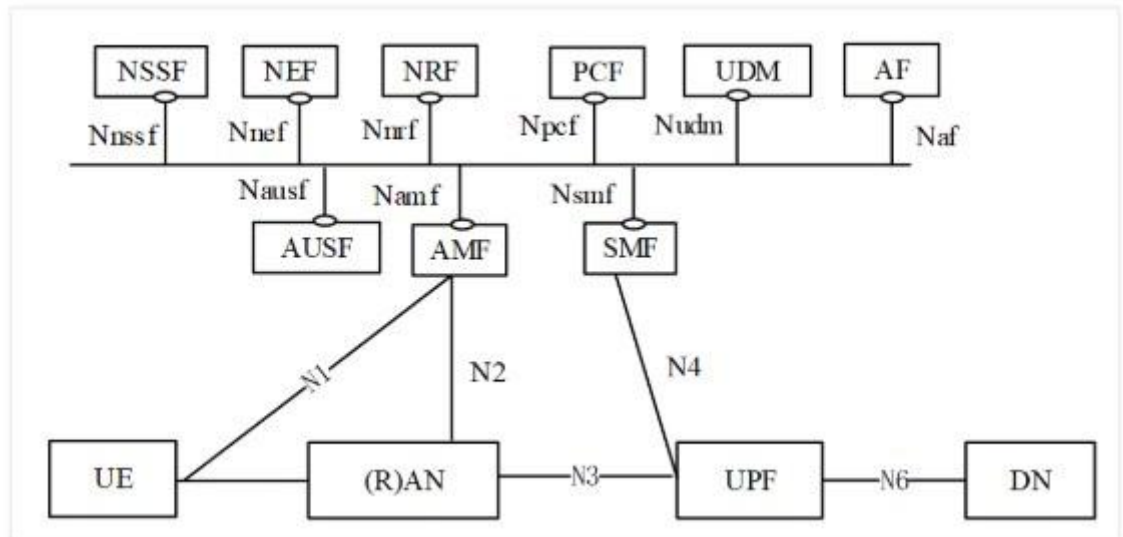


Рисунок 3.2. Архітектура мережі 5G. Взаємодія втрачено зв'язок із мережею

На Рис.3.3 зображена архітектура мережі 5G із зазначенням мережевих інтерфейсів. Для спрощення схеми на Рис. 3 не показані мережеві функції UDSF, SDSF, NEF і NRF, а також не показаний UDR.

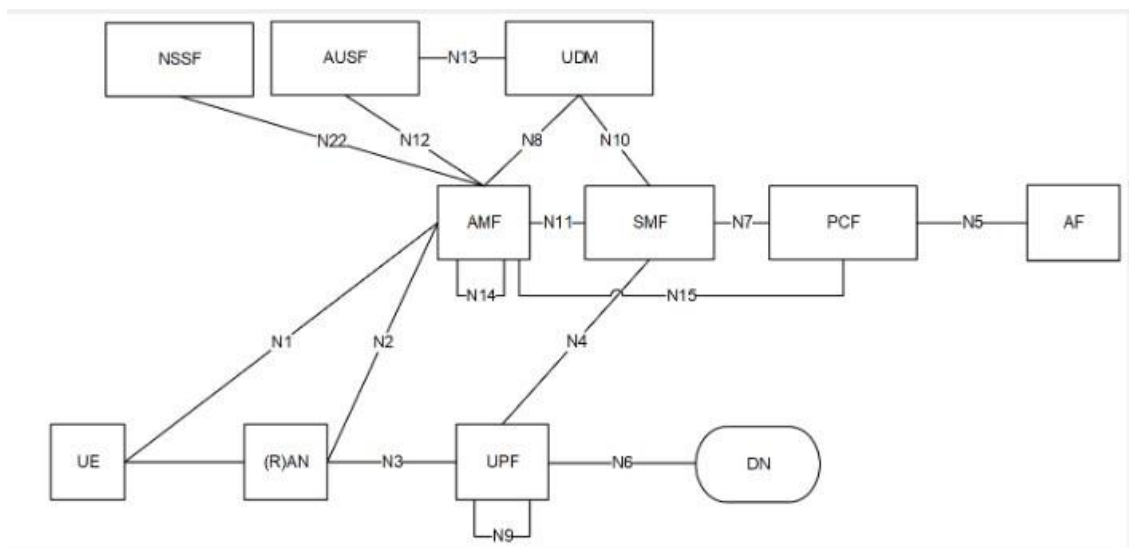


Рисунок 3.3. Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси

3.2 Програмні модулі або мережеві функції мережі 5G

3.2.1 Функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function)

Вона забезпечує:

- організацію інтерфейсів площини керування N1, N2;
- організацію обміну сигналізацією NAS через інтерфейс N1, шифрування захищеної сигналізації NAS;
- управління реєстрацією, призначеною для користувачів терміналом (UE) в мережі і контроль можливих станів реєстрації (RM-DEREGISTERED, RM-REGISTERED);
- управління з'єднанням, призначеною для користувачів терміналом (UE) з мережею і контроль можливих станів з'єднань (CM-IDLE, CM-CONNECTED);
- управління доступністю для користувачів терміналу (UE) в мережі у стані CM-IDLE;
- управління мобільністю, призначеною для користувачів терміналом (UE) в мережі у стані CM-CONNECTED;
- передачу коротких повідомлень між обладнанням користувача (UE) і SMF;
- керування службами визначення розташування;
- передачу повідомлень між UE і функцією управління місцем розташування LMF (Location Management Function), а також між RAN і LMF;
- виділення ідентифікатора потоку даних EPS (Evolved Packet System) для взаємодії з EPS;
- взаємодія з невизначеними стандартами 3GPP мережами доступу за допомогою модуля взаємодії N3IWF (Non-3GPP InterWorking Function).

Також AMF може включати в себе підфункції керування безпекою, а також як ірну функцію безпеки (SEAF), функцію керування контекстом безпеки (SCMF) і функцію керування політикою безпеки (SPCF).

3.2.2 Функція управління сесіями (SMF - Session Management Function)

Вона забезпечує:

- керування сесіями зв'язку, тобто створення, зміна та звільнення сесії, включаючи підтримку тунелю між мережею доступу (AN) і UPF;
- розподіл і управління IP-адресами терміналів користувачів (UE);
- вибір з'єднання шлюзу UPF;
- організацію взаємодії з функцією управління політиками (PCF);
- управління роботою шлюзу UPF, в тому числі управління застосуванням політик якості QoS;
- динамічне налаштування терміналів користувача за допомогою протоколів DHCPv4 (сервер і клієнт) і DHCPv6 (сервер і клієнт);
- проксінг ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC тисячі двадцять-сім і / або в IETF RFC 4861 [54] для Ethernet фреймів (SMF відповідає на ARP запити, надаючи MAC-адресу, відповідну IP-адресу, відправлену в запиті);
- контроль збору тарифікаційних даних і організація інтерфейсу з системою білінгу;
- безшовність (безперервність) надання послуг SSC (Session and Service Continuity);
- взаємодія з гостьовими мережами в рамках процедур роумінгу.

3.2.3 Функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function)

Вона забезпечує:

- інтерфейс підключення до зовнішніх мереж передачі даних, а також до глобальної мережі Інтернет;
- маршрутизацію і передачу пакетів даних користувачів;

- буферизацію пакетів та ініціацію повідомлення терміналів користувачів (UE) про наявність даних для передачі по лінії вниз (DL);
- маркування пакетів даних відповідно до необхідних параметрами QoS;
- діагностику пакетів інформації (наприклад, виявлення додатків на основі шаблону потоку даних) і застосування мережевих політик відповідно до вказівок, сформованих PCRF;
- надання звітів про використання трафіку;
- проксинг ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC тисячі двадцять-сім і / або в IETF RFC 4861 [54] для Ethernet фреймів.

Також UPF є якірної точкою для підтримки мобільності як всередині однієї, так і між різними технологіями радіодоступу (якщо є).

3.2.4 Модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management)

Він забезпечує:

- управління даними профілів користувачів, включаючи зберігання і модифікацію переліку доступних користувачам послуг і відповідних їм параметрів;
- управління ідентифікаторами користувачів (SUPI);
- генерацію облікових даних аутентифікації 3GPP АКА;
- авторизацію доступу на основі даних профілю користувача (наприклад, обмеження роумінгу);
- управління реєстрацією користувача (тобто, зберігання обслуговуючого AMF);
- підтримку безперервності обслуговування / сеансу зв'язку, тобто зберігання призначених SMF / DNN для поточних сеансів зв'язку;
- управління доставкою SMS повідомлень.

При цьому кілька різних UDM можуть обслуговувати одного і того ж користувача для різних транзакцій.

Уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository) UDR здійснює зберігання різних абонентських даних і має прикладні інтерфейси Nudr з прикордонними елементами доступу UDM FE, PCF FE, NEF FE.

3.3 Система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function)

Концепція побудови основоположної мережі 5GC передбачає поділ мережевих функцій і мережею NF (Network Function) і систем зберігання даних, породжуваних і оброблюваних цими функціями (Storage). При цьому визначені системи зберігання обробки як структурованих, так і неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function), тобто даних, які абонемають чіткої визначеної структури, а боданих, структура яких невідома сховищу. Мережеві функції NF взаємодіють із системами зберігання даних USDF - через інтерфейс N18.

Одним з кейсів застосування UDSF є збереження модулями управління доступом і мобільністю (AMF) поточних контекстів зареєстрованих користувальницьких терміналів (UE). Дані інформації може бути використані для забезпечення безобривності абонентських сесій як при плановому виведенні з сервісу одного з AMF груп моделей (AMF Set), так і при виникненні аварійної ситуації. В обох випадках резервний AMF підхопить сервіс, використовуючи контексти, збережені попередником в UDSF.

Найбільш типовою реалізацією є поєднання на одній фізичній платформі системи зберігання неструктурованих даних (UDSF) та уніфікованої бази даних (UDR).

Типова структура організації UDR / UDSF приведена на Рис.3.3.

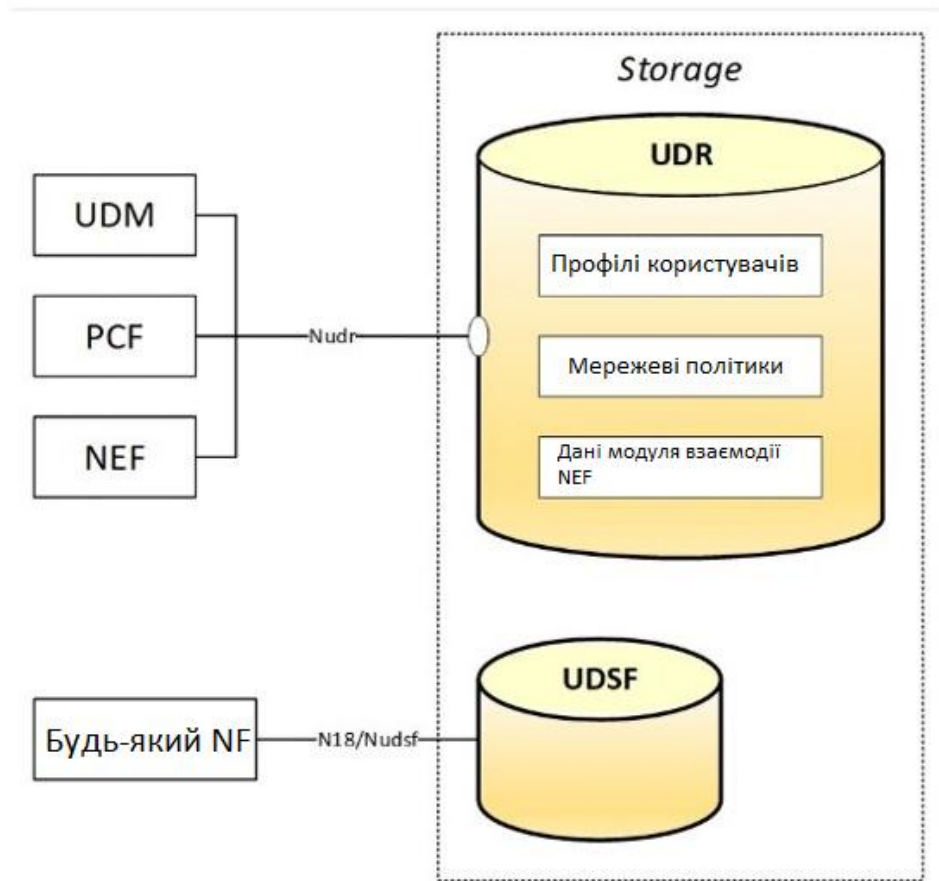


Рис.3.3 Типова структура організації UDR / UDSF

3.3.1 Функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function)

Вона забезпечує:

- вибір необхідного набору мережевих шарів (Network Slices) в процесі реєстрації користувача терміналу в мережі (в залежності від типу послуги, що надається, типу обладнання абонентського терміналу, його місця розташування і т.д.);
- визначення модулів AMF, які будуть використовуватися для обслуговування призначеного для користувача терміналу або на основі конфігурації визначення переліку модулів AMF шляхом запиту в NRF;
- зберігання інформації про доступні мережеві шари (NSSAI - Network Slice Selection Assistance Information).

3.3.2 Функція управління політиками (PCF - Policy Control Function)

Вона в реальному часі формує і призначає користувальницьким терміналам ті чи інші політики, включаючи параметри якості обслуговування (QoS) і правил тарифікації. Так, для передачі того чи іншого типу трафіку можуть динамічно створюватися віртуальні канали з різними характеристиками. При цьому до уваги можуть прийматися вимоги сервісу, запитуваної абонентом, його профіль, місце розташування, рівень завантаження мережі, обсяг спожитого трафіку і т.д.

3.3.3 Функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function)

Вона дозволяє організувати безпечну взаємодію зовнішніх платформ і додатків з опорною мережею 5G. Для вирішення даного завдання NEF:

- дозволяє платформам і додаткам підписуватися на певні події, які генеруються різними елементами мережі, і надалі отримувати повідомлення про виникнення таких подій (див. Рис.5). наприклад:

- Loss of connectivity - детектування мережею втрати пов'язаності з конкретним UE (детектується AMF);
- UE reachability - відновлення пов'язаності з конкретним UE (детектується AMF);
- Location Reporting - звіти про місцезнаходження (детектується AMF);
- Change SUPI-PE association - зміна терміналу абонентом мережі = зміна зв'язку IMSI - IMEI (детектується UDM).

Повний перелік подій наведено в таблиці 4.15.3.1-1 рекомендації 3GPP TS 23.502.

- дозволяє здійснювати провізнінг інформації по конкретним UE в мережу 5G.

- дозволяє управляти параметрами QoS і правилами тарифікації (PCC) з конкретних UE.

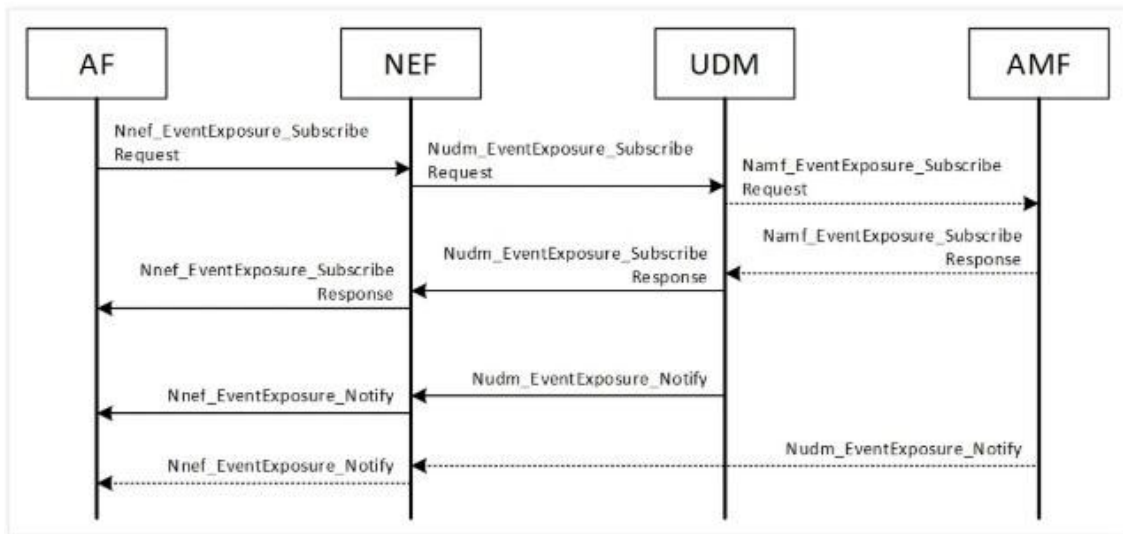


Рис.3.4

Для взаємодії з різними елементами, платформами і додатками (або мережевими функціями NFs) NEF може підтримувати підмножину прикладних програмних інтерфейсів API. Безпека взаємодії забезпечується за допомогою реалізованих NEF механізмів безпеки, включаючи аутентифікацію і авторизацію відповідних платформ і додатків. Таким чином, функція забезпечення взаємодії із зовнішніми додатками є логічним продовженням елемента SCEF архітектури вузькосмугового інтернету речей (NB-IoT), анонсованого в релізі 13 3GPP.

NEF може зберігати інформацію, отриману від NFs, у вигляді структурованих даних в UDR, використовуючи стандартний інтерфейс Nudr, і в подальшому перевикористати її для трансляції іншим NFs або з метою аналізу.

3.3.4 Сховище мережеских функцій (NRF - NF Repository Function)

Воно є еволюційним розвитком сервера доменних імен DNS. Забезпечує зберігання профілів всіх розгорнутих на мережі примірників мережеских функцій і вибір одного або декількох екземплярів в рамках процедури "NF Discovery Request" процесу управління абонентськими сесіями. При цьому кожна мережева функція при

включенні повинна "прописати" в NRF свій статус, а також свої функціональні можливості і підтримувані опції.

Профіль примірника NF, підтримуваний в NRF, включає наступну інформацію:

- ідентифікатор екземпляра мережевих функцій;
- тип мережевих функцій;
- ідентифікатор PLMN;
- ідентифікатор(и), пов'язані з мережевим шаром, наприклад, S-NSSAI, NSI ID;
- FQDN або IP-адресу мережевої функції;
- інформація про ємності мережевих функцій;
- інформація про дозволені сервіси;
- імена підтримуваних сервісів;
- інформація про точки обміну інформацією для кожної підтримуваної служби;
- ідентифікація збережених даних / інформації;
- інші параметри сервісів, наприклад, DNN (Data Network Name), параметри інтерфейсів для повідомлень;
- рівень PLMN (NRF налаштований для роботи на всій PLMN);
- рівень мережевих шарів спільного використання (NRF налаштований таким чином, що він належить кільком мережевим шарам);
- рівень мережевих шарів певного використання (NRF налаштований з приналежністю до S-NSSAI);

При організації роумінгу кілька NRF можуть бути розгорнуті в різних мережах:

- NRF (и) в гостьовій PLMN (відомі як vNRF), сконфігуровані для роботи в гостьовій PLMN;
- NRF (и) в домашній PLMN (відомі як hNRF), сконфігуровані для роботи в гостьовій PLMN, з яким взаємодіє vNRF через інтерфейс N27;

Прикладна функція (AF - Application Function)

Вона взаємодіє з опорною мережею і, як приклад, може вирішувати такі завдання:

- керування маршрутизацією трафіку;
- надання доступу до модуля забезпечення взаємодії з елементів мережі (NEF);
- взаємодія з функцією управління політиками.

Залежно від конкретного впровадження на мережі оператора зв'язку, окремим зовнішнім платформ і додаткам може бути дозволений прямий (безпосередній) доступ до мережевих функцій 5GC. Інші системи будуть здійснювати доступ до мережевих функцій 5GC через прикладні програмні інтерфейси API, що надаються модулем забезпечення взаємодії мережевих функцій.

3.3.5 CUPS (control and user plane separation)

У відповідності з архітектурою SDN для мереж 5G

визначено поділ шлязу пакетної передачі даних надвіскадкові - площину управління (SMF) і площину призначеного для користувача трафіку (UPF) - control and user planes separation (CUPS). При цьому заради об'єктивності варто зазначити, що концепція CUPS релізом 14 3GPP визначена для мереж 4G-LTE, де передбачено поділ SGW на C-SGW (control plane) і U-SGW (user plane), а PGW відповідно - на C-PGW і U-PGW.

Спрощення архітектури UPF у порівнянні з PGW мережею 4G-LTE дозволяє знизити як вартість розробки і виробництва самих вузлів, так і витрати на їх експлуатацію. В кінцевому рахунку це відкриває шлях до "прикордонних обчислень" (edge computing) за рахунок можливості встановлювати на мережі велику кількість шлязів, розміщуючи їх в безпосередній близькості до мережі доступу. Однак такий підхід створює проблему мобільності, оскільки переміщення користувача терміналу з активною сесією передачі даних буде супроводжуватися частою зміною UPF. 3GPP вирішує дану проблему шляхом введення нової функціональності - безшовних абонентських сесією і послуг - SSC (Session and Service Continuity).

3.3.6 NetworkSlicing

NetworkSlicing передбачає поділ фізичної архітектури 5G на безліч віртуальних мереж або шарів. Кожен мережевий шар включає в себе функції рівня управління, функції рівня користувальницького трафіку і мережу радіодоступу (5G-NR, або non-3GPP). Базуючись на архітектурі NFV / SDN, кожен шар має свої характеристики і націлений на вирішення тієї чи іншої бізнес-задачі. 3GPP визначає три стандартних мережевих шари:

- над-широкосмуговий доступ (eMBB, EnhancedMobileBroadband) - користувачі глобальної мережі Інтернет, камери відеоспостереження,
- ультра-надійність і низькі затримки (URLLC, UltraReliableLowLatencyCommunication) - транспорт без водія, доповнена і віртуальна реальність,
- інтернет речей (IoT, InternetofThings) - мільйони пристроїв, що передають малі обсяги даних від випадку до випадку.

Кожен оператор може визначати додаткові мережеві шари, наприклад, виділений мережевий шар для критичних комунікацій, для внутрішньокорпоративної зв'язку і т.д.

Конкретний термінал (UE) може обслуговуватися одночасно одним або декількома мережевими шарами (максимум - 8). При цьому модуль AMF є загальним для всіх шарів, а от інші елементи (в т.ч. SMF, UPF) можуть відрізнятися. Також різні шари можуть включати в себе різні мережі радіодоступу або єдину мережу, але з відмінними характеристиками. І, як один з бізнес-кейсів, мережеві шари можуть мати різноманітні параметри безпеки.

При реєстрації в мережі в рамках процедури встановлення RRC з'єднання (і далі - в повідомленні NAS) термінал (UE) передає список запитуваних мережевих шарів (S-NSSAI - Single Network Slice Selection Assistance Information). На першому кроці, на

підставі отриманих від UE даних, списку мережевих шарів, що містяться в UDM профілі користувача і розташування абонента здійснюється вибір елемента AMF, який може забезпечити необхідний набір послуг. Вибір AMF здійснюється із залученням модуля вибору мережевого шару (NSSF) і сховища мережевих функцій (NRF).

На другому кроці призначається модуль управління сесіями (SMF) і далі - шлюз передачі користувальницького трафіку (UPF). Призначення SMF / UPF може відбуватися відповідно до статичних налаштувань або - динамічно (через репозиторій мережевих функцій - NRF).

3.4 PDU сесії

В архітектурі 5G взаємодія користувальницьких терміналів (UE) з мережами передачі даних (Data Network) здійснюється в рамках PDU сесій (PDU Session-s). UE може мати одночасно кілька створених PDU сесій для зв'язку з різними мережами передачі даних і отримання різних сервісів. При цьому різні сесії можуть організовуватися через різні мережеві функції відповідно до концепції Network Slicing. PDU сесії створюються тільки за запитом користувача терміналу. Однак, архітектура 5G дозволяє прикладній функції (AF) ініціювати на UE процедуру запуску сервісу (Application Triggering). Ініціація зазначеної процедури здійснюється шляхом направлення UE в тілі короткого SMS повідомлення команди "Application trigger message", отримавши яке відповідно додаток, встановлений на призначеному для користувача терміналі, може запросити створення PDU сесії.

На відміну від мереж 4G-LTE в мережах 5G створення сесій повністю контролюється SMF і здійснюється в рамках сигнального діалогу NAS SM між UE і SMF (здійснює лише прозору трансляцію трафіку NAS SM). У процесі свого існування PDU сесія може бути переміщена між 3GPP і non-3GPP технологіями доступу.

Кожна PDU сесія характеризується наступними атрибутами:

- S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information) - фактично тип або ідентифікатор мережевого шару;
- DNN (Data Network Name) - ім'язовнішня мережі передачі даних, фактично аналог імені точки доступу мереж 2.5G / 3G / 4G-LTE (APN);
- PDU Session Type - тип PDU сесії;
- SSC mode - режим роботи функції безшовних абонентських сесій і послуг;
- PDU Session Id - унікальний для даного UE ідентифікатор PDU сесії;
- User Plane Security Enforcement information - інформація забезпечення безпеки користувача трафіку, включаючи шифрування і контроль цілісності.

Тип PDU сесії (PDU Session Type)

3GPP визначає 5 можливих типів PDU сесій - IPv4, IPv6, IPv4v6, Ethernet і неструктурований тип (Unstructured). Перші три типи мережа 5G отримала в спадок від технологій попередніх поколінь (2.5G / 3G / 4G-LTE). Їх використання передбачає призначення користувальницького терміналу (UE) для кожної PDU сесії відповідної адреси (IPv4 або IPv6). Крім цього, мережа може визначити UE адреси DNS серверів, P-CSCF (для IMS сесії), MTU і GPSI (Generic Public Subscription Identifier - публічний ідентифікатор підписки користувача, наприклад, MSISDN).

Тип PDU сесії «Ethernet» не використовувався мережами попередніх поколінь. Даний тип передбачає обмін Ethernet фреймами між призначеним для користувача терміналом (UE) і мережею відповідно до MAC адресами джерела і одержувача. Мережа 5G не призначає UE ні IP, ні MAC адреси, але при цьому UE може мати IP адресу або прописаний статично, або призначений динамічно DHCP сервером, що знаходиться з ним в одному broadcast домені. Однак, дана IP адреса жодним чином не використовується мережею 5G і заголовок IP-рівня пакета пропускається мережею прозоро. Допускається включення UE в режимі моста (bridge-a). У цьому випадку за UE може знаходитися локальна мережа (LAN) з декількома пристроями, що мають власні MAC адреси (ці пристрої не аутентифіковані мережею 5G). При авторизації PDU сесії DN-AAA сервер може призначити SMF для даної сесії перелік дозволених MAC адрес (до 16-ти) і всі ethernet фрейми, що направляються UE у вихідному каналі, повинні містити у якості адреси джерела (source MAC) тільки дозвалені адреси. Фрейми, що не відповідають цій умові, будуть блокуватися.

Тип PDU сесії "Unstructured" орієнтований в першу чергу на пристрої зі "світу Інтернету речей", передають і приймають non-IP дані. Для сесій цього типу 5GC організовує тунель між UPF і сервером додатків, в який і інкапсулюються неструктуровані дані, які генеруються в рамках даної сесії.

Режими роботи функції безшовних абонентських сесій і послуг (SSC mode) 3GPP визначає три режими роботи функції безшовності абонентських сесій і послуг (SSC mode):

Режим 1 - зміна UPF при виконанні призначеним для користувача терміналом (UE) процедури хендовера НЕ передбачається. Відповідно, протягом всієї сесії UE обслуговується одним шлюзом UPF і має незмінні IP адреса.

Режим 2 - передбачається можливість зміни UPF при виконанні призначеним для користувача терміналом (UE) процедури хендовера. При цьому спочатку завершується сесія з поточним шлюзом (UPF-old), а потім встановлюється сесія з новим шлюзом (UPF-new). Відповідно, можливий короткочасний розрив сесії і зміна IP адреси.

Режим 3 - також передбачається можливість зміни UPF при виконанні призначеним для користувача терміналом (UE) процедури хендовера. Але при цьому спочатку встановлюється сесія з новим шлюзом (UPF-new), а потім завершується сесія з поточним шлюзом (UPF-old). Відповідно, забезпечується безперервність сесії, але допускається зміна IP адреси.

3.5 Ідентифікатори користувачів

Міжнародний постійний ідентифікатор підписки абонента - 5G SUPI (Subscription Permanent Identifier)

Призначається кожному абоненту мережі 5G і зберігається в уніфікованій базі даних UDM і USIM модулі користувача. У якості ідентифікатора SUPI може виступати міжнародний ідентифікатор мобільного абонента - IMSI (International

Mobile Subscriber Identity) або ідентифікатор доступу до мережі - NAI (Network Access Identifier), формат якого визначений RFC 4282.

Постійний ідентифікатор обладнання користувача - Permanent Equipment Identifier (PEI)

На даний час 3GPP визначає тільки один можливий формат PEI - це IMEI (International Mobile Station Equipment Identity). IMEI є унікальною цифровою послідовністю і повинен призначатися всім призначеним для користувача терміналам (UE), що підтримують 3GPP технологію радіодоступу при їх виробництві.

При цьому потрібно розрізняти дві форми подання - власне IMEI, що складаються з 15-ти десяткових цифр і IMEISV (16 цифр). IMEI включає в себе наступні поля:

- TAC (Type Allocation Code) - 8 десятковихцифр;
- SNR (Serial Number) - 6 десятковихцифр;
- CD (Check Digit) / SD (Spare Digit) - однадесятковацифра.

Доскладу IMEISV входять:

- TAC (Type Allocation Code) - 8 десятковихцифр;
- SNR (Serial Number) - 6 десятковихцифр;
- SVN (Software Version Number) - двідесятковіцифри.

TAC призначається асоціацією GSMA відповідно до рекомендації GSMA TS.06 і визначає код конкретної моделі призначеної для користувача терміналу.

SNR призначається виробником і визначає серійний номер пристрою.

CD являє собою контрольну суму, розраховану за алгоритмом Місяць.

SD - заповнювач, який використовується у відповіді призначеного для користувача терміналу (UE) при запиті ідентифікатора IMEI з боку мережі (встановлюється в значення 0).

SVN - номер програмної версії UE.

У більшості моделей мобільних телефонів вивести ідентифікатор IMEI на екран можна за допомогою комбінації * # 06 #, набраної на клавіатурі пристрою.

Прихований ідентифікатор користувача - SUCI (Subscription Concealed Identifier)

Являє собою зашифровану копію міжнародного постійного ідентифікатора підписки абонента на послуги (5G SUPI) і дозволяє уникнути передачу 5G SUPI по мережі у відкритому вигляді, навіть при первинній реєстрації користувача терміналу в мережі (Initial attach).

Для захисту SUPI використовується криптографічна схема, заснована на еліптичних кривих (Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme - ECIES). Публічний ключ, застосовуваний для шифрування SUPI, повинен зберігатися в захищеній пам'яті USIM карти; закритий ключ - у функціональному елементі вилучення ідентифікатора користувача (SIDF). При цьому частина SUPI, що містить мобільний код країни (MCC) і мобільний код мережі (MNC) і задіяна для маршрутизації сигнального трафіку не шифрується. 3GPP допускає можливість шифрування SUPI в призначеному для користувача терміналі (варіант за замовчуванням) і USIM модулі. Мережа оператора зв'язку і призначений для користувача термінал також повинні підтримувати так звану нульову схему (null-scheme), при якій захист публічного ідентифікатора користувача не здійснюється.

Глобальний тимчасовий унікальний ідентифікатор абонента 5G-GUTI (5G Globally Unique Temporary Identifier)

Призначається модулем управління доступом та мобільністю (AMF) незалежно від типу мережі доступу (3GPP, non-3GPP). При "виході в ефір" призначений для користувача термінал повинен використовувати саме 5G-GUTI (за винятком первинної реєстрації в мережі - initial attach, а також інших випадків, коли валідний 5G-GUTI відсутній). Формат 5G-GUTI показаний на Рис. 3.5.

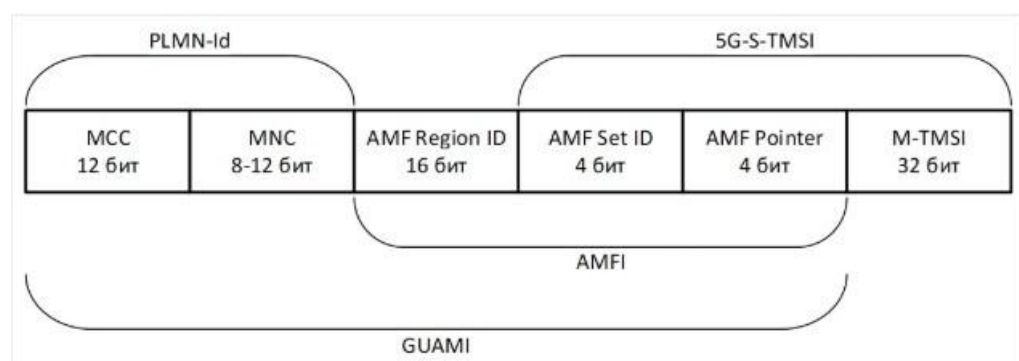


Рис. 3.5

- GUAMI (Globally Unique AMF Identifier) - глобальний (на міжнародному рівні) ідентифікатор модуля управління доступом і мобільністю AMF;
- MCC - мобільний код країни;
- MNC - мобільний код мережі;
- AMF Region ID - ідентифікатор регіону, який обслуговується модулем AMF;
- AMF Set ID - унікальний ідентифікатор групи модулів AMF всередині регіону;
- AMF Pointer - унікальний ідентифікатор модуля AMF всередині групи AMF Set ID;
- AMFI - унікальний (в межах мережі) ідентифікатор AMF;
- 5G-TMSI (5G Temporary Mobile Subscription Identifier) - тимчасовий ідентифікатор мобільного абонента мережі 5G (унікальний в межах AMF);
- 5G-S-TMSI - унікальний (в межах регіону) тимчасовий ідентифікатор мобільного абонента мережі 5G.

Висновки

У даному розділі був проведений ретельний аналіз архітектури технології 5G. Аналіз складався із наступних пунктів:

- введення у архітектуру мережі 5G;
- програмні модулі або мережеві функції мережі 5G;
- система зберігання неструктурованих даних;
- PDU сесії;
- ідентифікатори користувачів.

Архітектура мережі 5G розробляється для підтримки обміну різноманітними даними і надання різних послуг з використанням таких технологій, як мережева віртуалізація (NFV - Network Function Virtualization) і програмно-визначених мереж (SDN - Software Defined Networking).

Основними перевагами, що характеризують мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління є:

- надширокополосний мобільний доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB);
- досить надійний зв'язок з низькими затримками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC);
- широкомасштабне підключення різних датчиків і пристроїв з'єднаних "Інтернет речей" (massive Machine Type Communications, mMTC).

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було визначено основні можливості і характеристики мереж п'ятого покоління 5G, а також описано можливості використання технологій MIMO.

Для виконання цих завдань було проведено визначення основних параметрів і архітектури бездротової технології мереж п'ятого покоління 5G. Також було встановлено той факт, що дана мережа орієнтовно буде реалізована для використання у 2020 році. А також дана технологія дозволить передавати інформацію зі швидкістю до 10 Гбіт/с і часом відповіді менше 1 мілісекунди.

Після визначення усіх основних характеристик та переваг технології MIMO можна дійти висновку, що саме ця технологія варта загальної уваги та можна дійсно використовувати її можливості для реалізації бездротової технології мереж п'ятого покоління 5G. Властивостей та технічних переваг вищезазначеної технології достатньо для оптимізації мережі та для її впровадження у життя операторамизв'язку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Перспективы развития связи 5G. Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 233-235.
2. Потребность в 5g. проблемы разработки и тестирования. Вайтакр Я. Вестник связи. 2014. № 8. С.4-6.
3. <http://celnet.ru/mimo.php>
4. <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/mimo/multiple-input-multiple-output-technology-tutorial.php>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/MIMO>
IEEE Communications Magazine November 2014, Vol.52, No.11 [Электронный ресурс]. -
Режим доступа: www.comsoc.org

