

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)
Кафедра Інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Дослідження методів забезпечення якості обслуговування об'єктів 4G
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ІКІм-19-1
Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньої професійної програми
«Інфокомунікаційна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

Козубенко В.С.
(прізвище, ініціали)

Керівник кафедри ІКІ ім. В.В. Поповського
проф. Тітаренко Л.О.
(прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Лемешко О.В.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

*Атестаційна робота не містить
відомостей, що заборонені
до відкритого друку*

Студент гр. ІКІм-19-1

Керівник

Козубенко В.С.

проф. Тітаренко Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій

Кафедра Інфокомунікаційної інженерії ім В.В. Поповського

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня-професійна програма «Інфокомунікаційна інженерія»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Козубенку Віталію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Дослідження методів забезпечення якості обслуговування об'єктів 4G

Research on Methods for Quality of Service Assurance of 4G Facilities.

затверджена наказом по університету від «20» жовтня 2020р. №1396Ст

2. Термін здачі студентом роботи 15 грудня 2020р.

3. Вихідні дані до роботи: методи забезпечення якості обслуговування об'єктів та елементів 4G, оцінка якості взаємодії вузькосмугового Інтернету речей та систем LTE-Advanced, аналіз та оцінка середнього часу доставки пакета ($t_{затр}=3\text{мсек}$, $L_{пакет}=1500$ байт, $V_{NB-IoT}=200\text{КБіт/сек}$), метод дифузійної апроксимації наближеної оцінки.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Аналіз та перспективи розвитку стандартів UMTS/3GPP.
- 2) Методи забезпечення якості обслуговування об'єктів 4G.
- 3) Система якості забезпечення трафіку інтернету речей.
- 4) Моделювання розширеного LTE-A.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, плакатів):

Демонстраційний матеріал у вигляді ppt-презентації;

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		(підпис)	(дата)
Основна Частина	Професор Тітаренко Л.О.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2020	Виконано
2	Виконання 1 розділу	22.10.2020	Виконано
3	Виконання 2 розділу	25.11.2020	Виконано
4	Виконання 3 розділу	06.12.2020	Виконано
5	Виконання 4 розділу	10.12.2020	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2020	Виконано
7	Оформлення слайдів та презентації	15.12.2020	Виконано

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2020 року

Студент _____ Козубенко В.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ проф. Тітаренко Л.О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з: 80 сторінок, 34 рисунків, 39 посилань.

LTE ADVANCED, IOT, NB-IOT, МЕРЕЖА, КОНТРОЛЬ ОБ'ЄКТІВ, РОЗВИТОК СТАНДАРТУ, ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОСЛУГ, ЕЛЕМЕНТИ МЕРЕЖІ, КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – процес роботи та обслуговування елементів та об'єктів стандарту 4G.

Предмет дослідження – методи контролю параметрів якості функціонування елементів та об'єктів LTE-A мереж.

Мета атестаційної роботи – забезпечення нормативних вимог до параметрів якості обслуговування об'єктів LTE-A мереж.

Методи досліджень – аналіз науково-технічної літератури, опис, порівняння, зіставлення, формалізація, розрахунок, побудова діаграм, розроблення та використання програмних засобів.

Математичне моделювання, оптимізація розрахунки, аналіз методів забезпечення контролю об'єктів, трафіку послуг NB-IoT LTE-A та оцінка параметрів якості обслуговування послуг NB-IoT LTE- Advanced.

ABSTRACT

The explanatory note consists of: 80 pages, 34 figures, 39 references.

LTE ADVANCED, IOT, NB-IOT, NETWORK, OBJECT CONTROL, STANDARD DEVELOPMENT, SERVICES QUALITY EVALUATION, NETWORK ELEMENTS, CONTROL PARAMETERS, PROVIDING QUALITY OF SERVICE

The object of study - the process of operation and maintenance of elements and objects of the 4G standard.

The subject of research - methods of control of quality parameters of functioning of elements and objects of LTE –A network.

The purpose of certification work is to provide regulatory requirements for the parameters of service quality of LTE-A network objects.

Research methods - analysis of scientific and technical literature, description, comparison, comparison, formalization, calculation, construction of diagrams, development and use of software.

Mathematical modeling, optimization of calculations, analysis of methods for ensuring control NB-IoT of LTE-A objects and evaluation of service quality parameters of NB-IoT LTE-Advanced services.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	8
Вступ.....	10
1 Аналіз та перспективи розвитку стандартів UMTS/3GPP	12
1.1 Загальні положення.....	12
1.2 Аналіз розвитку мереж мобільного зв'язку UMTS/3GPP	12
1.3 Розвиток сімейства LTE	20
1.4 Технологія вузькосмугового Інтернету речей (NB-IoT).....	27
2 Методи забезпечення якості обслуговування об'єктів 4G	31
2.1 Основні елементи LTE/LTE Advanced.....	31
2.2 Організація і контроль елементів LTE/LTE Advanced.....	33
2.2.1 Контроль взаємодії LTE - LTE оператора.....	37
2.2.2 Контроль з'єднання LTE - LTE між двома взаємопов'язаними мережами	37
2.2.3 Контроль конвергенції LTE з 3G.....	38
2.3 Контроль параметрів мережі VoLTE	39
3 Система якості забезпечення трафіку інтернету речей.....	48
3.1 Методи управління трафіком Інтернет речей	48
3.2 Моделі управління параметрами якістю QoS на основі SDN	52
3.3 Модель підтримки та контролю параметрів якості QoS агрегованого трафіку.....	56
4 Моделювання розширеного LTE-A.....	63
4.1 Модель обслуговування даних LTE-Advanced	63
4.2 Аналіз параметрів якості взаємодії вузькосмугового Інтернету речей (NB- IoT) та систем LTE-A.....	67
4.3 Результати дослідження системи взаємодії LTE-A та NB-IoT.....	72
Висновки	75
Перелік джерел посилання	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

БС — Базова станція
КТМЗП — Коммутируемая телефонна мережа загального користування
3GPP — 3rd Generation Partnership Project
AMR — Adaptive multi rate
ATM — Asynchronous Transfer Mod
CN — Core Network
EDGE — Enhanced Data rates for GSM Evolution
eNB — Evolved NodeB
EPC — Evolved Packet Core
ETSI — European Telecommunications Standards Institute
FDD — Frequency Division Duplex
GERAN — GSM EDGE Radio Access Network
GGSN — GPRS Gateway Support Node
GPRS — General Packet Radio Service
GSM — Groupe Special Mobile
GTP — GPRS Tunnelling Protocol
H2H — Human to Human
HLR — Home Location Register
HSDPA — High Speed Downlink Packet Access
HSUPA — High Speed Uplink Packet Access
IMS — IP Multimedia Subsystem
IoT — Internet of Things
IP — Internet Protocol
ITU — International Telecommunication Union
LTE — Long Term Evolution
LTE-A — LTE-Advanced
M2M — Machine-to-Machine
MAM — Maximum Allocation Multiplier
MBMS — Multimedia Broadcast/Multicast Service
MGW — Media gateway
MIMO — Multiple Input, Multiple Output

MME — MultiMedia Extensions
MPLS — Multiprotocol label switching
MSC — Mathematics Subject Classification
NB-IoT — Narrow-Band Internet of Things
OFDMA — Orthogonal frequency-division multiplexing
QoS — Quality of service
PCRF — Policy and Charging Rules Function
PDN — Packet System Architecture
PSIoT — Publish/Subscribe Internet of Things
RAN — Radio Access Network
SAE — System Architecture Evolution
SAE-GW — SAE Serving Gateway
SC-FDMA — Single Carrier-Frequency Division Multiple Access
SCTP — Stream Control Transmission Protocol
SDN — Software-Defined Networking
SGSN — Serving GPRS Support Node
SIP — Session Initiation Protocol
SMG2 — Sub Machine Gun
TCP — Transmission Control Protocol
TDD — Time Division Duplex
TI — Tactile Internet
TrFO — Transcoder-free operation
UMTS — Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN — UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP — Voice over IP
VoLTE — Voice over LTE

ВСТУП

В даний час поширенні в світі мобільні технології четвертого покоління (4G). Їх порівняльна ефективність по відношенню до існуючих систем інших поколінь, зумовлюють перспективність використання і в даний час, і в найближче майбутнє. Те, що велика частина ринку зв'язкових послуг як і раніше спирається на традиційні UMTS-технології викликано, скоріше, політико економічними причинами, коли мережеві оператори не бажають розлучатися з чітко відпрацьованими технологіями надання користувальницьких послуг. Проте, за минулі роки відбулися якісні зміни в політиках, що проводяться мережевими операторами, оскільки стало зрозуміло, що навіть вдосконалені GSM - мережі та UMTS - мережі не в змозі конкурувати з більш прогресивними технологіями 4G. Розуміння цього змусило операторів залучати суттєві ресурси для впровадження нового обладнання. При цьому, на першому етапі головним завданням є можливість спільного функціонування різних за своєю природою систем. Але в даний час на телекомунікаційному ринку йде боротьба за клієнтів, тому надання якісних послуг зв'язку є досить актуальним питанням. Контролю елементів та забезпечення якості обслуговування об'єктів мережі LTE мають вирішальне значення для виявлення проблем як економічних, так і експлуатаційних та інших.

Метою роботи є дослідження методів забезпечення якості обслуговування об'єктів та елементів 4G, які впливають на нормативні параметри якості послуг LTE Advanced.

Для вирішення поставленої задачі, в першому розділі атестаційної роботи проведено аналіз і перспективи розвитку стандарту UMTS до стандарту LTE Advanced, а також розвиток технології NB-IoT на базі LTE Advanced. Окреслено переваги та недоліки кожної з технологій на етапі розвитку.

У другому розділі роботи проведено дослідження та аналіз методів контролю об'єктів 4G. Показано основні відмінності елементів радіосистеми LTE-Advanced від мереж 2G/3G. Також зроблена увага на основні функції елементів мережі четвертого покоління і на контроль цих елементів. Приділена увага точкам вимірювання для контролю, які мають вирішальне значення для виявлення проблем як економічних, так і експлуатаційних при забезпеченні нормативних параметрів якості.

У зв'язку з цим, у третьому розділі роботи розроблено підхід, спрямований

на забезпечені параметрів якості трафіку Інтернет речей. Розглянуті методи управління трафіком та забезпечення якості обслуговування Інтернет речей. Приділена увага моделі управління параметрами якістю QoS на основі SDN, моделі підтримки та контролю параметрів якості - QoS агрегованого трафіку в часи найбільшого навантаження в мережі LTE-Advanced та представлена оцінка якості обслуговування агрегованого трафіку в ЧНН.

Четвертий розділ роботи присвячено питанням моделюванням розширеного LTE Advanced. Представлена модель обслуговування даних LTE-Advanced. Модель перевірена на простих експериментах для її якісної оцінки. Ці експерименти засновані на використанні TCP Reno, TCP Vegas, TCP Tahoe та SCTP для порівняння поведінки вікна перевантаження, пропускної здатності та втрат пакетів для кожного протоколу. Проведені розрахунки, аналіз параметрів якості взаємодії вузькосмугового Інтернету речей та систем LTE-A з оцінкою результатів цієї взаємодії.

Статті та доповіді:

– Козубенко В.С., Методи конвергенції послуг мобільного зв'язку на платформі IMS, 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»-2019. 123-127с.

– Козубенко В.С., Дослідження методів контролю послуг NB-IoT, 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»-2020. 1-4с.

– Козубенко В.С., Сабурова С.О., Перспективи розвитку технології мобільного зв'язку 4G» представлена на П'ятій міжнародній науково-технічній конференція «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку, EMC-2019».34-39с.

– Козубенко В.С., Сабурова С.О, Аналіз трафіку Інтернет–речей 4G, а Шоста міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку, EMC2020».26-40с.

1 АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СТАНДАРТІВ UMTS /3GPP

1.1 Загальні положення

Потреби мобільних користувачів ростуть так стрімко, що існуючих мереж, покоління 3G, яке успішно закріпилося в лідерах надання послуг зв'язку, за ними не наздогнати, в той час, як сучасні технології широкосмугового доступу здатні їх задовольнити.

В останні кілька років домінуючим і значущим на ринку мобільного зв'язку стало впровадження технології LTE (Long Term Evolution). Однак це не означає, що розвитку мереж третього покоління 3G не приділяється сьогодні належної уваги як з боку органів стандартизації, так і з боку операторів зв'язку. Реальна динаміка розвитку мереж 3G говорить про те, що ці мережі далеко не вичерпали свій потенціал і будуть розвиватися поряд з мережами LTE.

Стандарт LTE - технологія широкосмугового доступу, що підтримує гнучку несучу смугу частот, від 1,4 МГц до 20 МГц, працює, використовуючи як частотний - FDD (Frequency Division Duplex) так і тимчасової - TDD (Time Division Duplex) дуплекси. Метою є створення мобільної мережі з надійним радіопрокритієм, якісно новими послугами, низькими затримками і високою пропускну здатністю на базі існуючих мереж стандарту GSM (Groupe Special Mobile).

На цей час домінуючим і значущим на ринку мобільного зв'язку стало впровадження технології LTE (Long Term Evolution). Однак це не означає, що розвитку мереж третього покоління 3G не приділяється сьогодні належної уваги як з боку органів стандартизації, так і з боку операторів мобільного зв'язку. Реальна динаміка розвитку мереж 3G говорить про те, що ці мережі далеко не вичерпали свій потенціал і будуть розвиватися поряд з мережами LTE.

1.2 Аналіз розвитку мереж мобільного зв'язку UMTS/3GPP

При розробці системи 3G в Європі в основному використовувалися технічні рішення, отримані для мереж GSM, за наступними двох причин: по-перше, технологія GSM була домінуючою на європейському ринку мобільного зв'язку,

по-друге, в розвиток мереж GSM були вкладені гігантські інвестиції, які вимагали якнайшвидшої окупності.

В рамках європейської дослідницької програми ACTS («Перспективні технології і послуги зв'язку») за проектом FRAMES («Перспективні системи широкосмугового множинного радіодоступу») була проведена всебічна оцінка різних технологій множинного доступу з метою вибору технології радіоінтерфейсу для європейського стандарту системи 3G - системи UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Основною задачею проекту FRAMES була розробка концепції радіоінтерфейсу і пропозицій для стандартизації системи UMTS[1]. В процесі роботи над радіоінтерфейсом для системи UMTS європейські виробники обладнання д-ня зв'язку запропонували робочій групі SMG2 (Sub Machine Gun) Технічного комітету з мобільної зв'язку ETSI (European Telecommunications Standards Institute) п'ять концепцій:

- 1) W-CDMA - широкосмуговий множинний доступ з кодовим поділом каналів;
- 2) OFDMA - ортогональний множинний доступ з частотним поділом каналів;
- 3) W-TDMA - широкосмуговий множинний доступ з тимчасовим поділом каналів;
- 4) TDMA/CDMA - широкосмуговий множинний доступ з кодово-тимчасовим поділом каналів;
- 5) ODMA - множинний доступ з гнучкими можливостями.

Відібрані варіанти були представлені для остаточного розгляду групі SMG2 (концепції W-TDMA і TDMA/CDMA), а також підгрупі W-CDMA японської асоціації ARIB, що займається стандартизацією системи 3G (концепція W-CDMA).

Протягом 1998 року Європейський інститут стандартизації систем електрозв'язку і японські регіональні органи стандартизації (TTC і ARIB) прийшли до згоди про випуск єдиного стандарту на систему UMTS. Крім того, свої зусилля з розробки єдиного європейського стандарту 3G об'єднали шість регіональних організацій стандартизації в області електрозв'язку, які увійшли в Партнерський проект 3GPP:

– Європейський інститут стандартизації електрозв'язку (European Telecommunication Standard Institute);

- Японська асоціація радіопромисловості і бізнесу (Association of Radio Industries and Business/Japan);
- Китайська група стандартизації технологій бездротового зв'язку (China Wireless Telecommunication Standard gr./China);
- Американський комітет по стандартизації телекомунікацій (Standardization Committee T1-Telecommunications/US);
- Корейська асоціація телекомунікаційних технологій (Telecommunication Technology Association/Korea);
- Японський комітет телекомунікаційних технологій (Telecommunications Technology Committee/Japan).

Партнерський проект 3GPP (3G Partnership Project) почав роботу по стандартизації технічних вимог до системи UMTS як до всесвітнього стандарту мобільного зв'язку третього покоління.

У відповідь на створення при ETSI Партнерського проекту 3GPP поруч регіональних організацій стандартизації електрозв'язку був створений Партнерський проект 3GPP2 (3G Partnership Project 2) для розвитку системи 3G на основі радіоінтерфейсу американського стандарту IS-95.

Для розробки технічних вимог (специфікацій) до системи UMTS в 3GPP була прийнята технологія стандартизації, використана ETSI для створення стандарту GSM і заснована на припинення («заморожування») на певному часовому етапі внесення змін до технічних специфікацій і початку формування нового пакету технічних специфікацій з розширеними вимогами до системи.

Згідно Release 99 система UMTS ґрунтувалася на мережевих доменах, що забезпечують комутацію каналів при роботі з підсистемами мереж GSM останньої версії, і на доменах, що забезпечують пакетну комутацію в базовій мережі CN (Core Network) для підсистеми GPRS (General Packet Radio Service).

Тому базова мережа CN системи UMTS традиційно включає в себе базу даних (регістр) розташування домашніх абонентів (Home Location Register - HLR), центр управління та комутації MSC/VLR, поєднаний з базою даних роумінгових абонентів (Visitor Location Register - VLR), шлюз GMSC (для управління з'єднаннями і взаємодії із зовнішніми мережами з комутацією каналів), вузли SGSN (Serving GPRS Support Node) і GGSN (GPRS Gateway Support Node) а також систему аутентифікації і контролю доступу абонентів (Authentication Center - AuC).

У Release 99 для побудови транспортної мережі між елементами мережі радіодоступу UTRAN була використана технологія асинхронної передачі даних (Asynchronous Transfer Mode - ATM). Швидкість передачі для одного мовного каналу домену базової мережі з комутацією каналів (CS-домена) в UMTS склала 64 кбіт/с, а домен з комутацією пакетів (PS-домен) був побудований на технології IP-тунелювання з використанням протоколу GTP (GPRS Tunnelling Protocol).

Розробка специфікацій Release 99 для системи UMTS проходила в той час, коли послуги Інтернету ставали все більш популярними, і технологія, заснована на IP-протоколі, стала використовуватися для передачі не тільки даних, але й мови, відео і т.д. Можливість передачі мовних послуг поверх IP-протоколу в звичайних фіксованих мережах зв'язку надавала можливість впровадження в мережі мобільного зв'язку новітніх технологічних досягнень передачі мови (Voice over IP - VoIP). Внаслідок цього виникла нова парадигма - створення і розвиток мультисервісних мереж зв'язку.

Відповідно відповіді на впровадження IP-протоколу в мережі фіксованого зв'язку стали релізи стандарту UMTS, що прослідували за Release 99. Їх головною метою була послідовна трансформація системи UMTS в систему, повністю інтегровану з мережею IP і дозволяє співіснувати двом різним мережам, побудованим на основі базової мережі з комутацією каналів і базової мережі з комутацією пакетів.

Release 4. Цей реліз став наступним збіркою технічних специфікацій стандарту UMTS. Його випуск був викликаний перекладом CS-домена базової мережі на технологію пакетної передачі і побудовою базової мережі на основі технологій IP, ATM [3]. Такі перетворення в принципах побудови базової мережі CN зажадали еволюційного розвитку центру управління і комутації MSC в двох напрямках. Перший напрямок - розробка MSC-сервера, який керував би встановленням з'єднань і комутацією медіа-шлюзів MGW. Другий напрямок - розробка медіа-шлюзу MGW (Media Gateway), керуючого потоками даних, що створюються абонентами мережі з використанням протоколу GTP/IP.

У Release 4 були відображені такі технологічні нововведення системи UMTS, як показано на рисунку 1.1:

– режим повільної TDD (TD-SCDMA) зі швидкістю передачі даних 1,28 Мбіт/с;

- технологія GERAN (GSM EDGE Radio Access Network) для суміщених мереж GSM/UMTS і можливості використання інтерфейсу Iu в мережах з технологією GPRS/EDGE;
- незалежна архітектура служби обміну даними для домену з комутації каналів;
- дві нові підсистеми - центр управління і комутації MSC був розділений на медіа-шлюз для транспортування переданих даних користувача і MSC-сервер для сигналізації;
- можливість надання послуг потокового аудіо/відео, послуг MMS і других мультимедійних послуг.

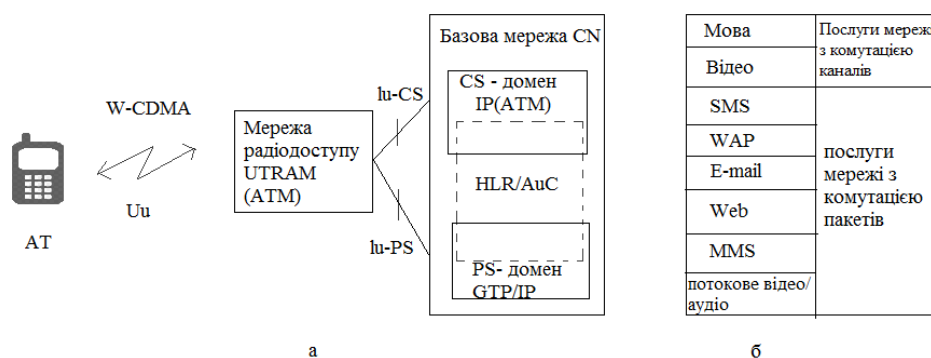


Рисунок 1.1 — Архітектура (а) і послуги (б) системи UMTS згідно Release 4

Таким чином, технологія мереж GSM стала порівнянною з технологією GERAN, забезпечивши взаємодію мереж GSM, заснованих на технології GSM/GERAN, і мереж UMTS, що базуються на технології W-CDMA. Ці дві технології стали визначальними для подальшої побудови мереж 3G. Роботи з розвитку Release 4 були припинені в березні 2001 р

Release 5. В даному релізі був відображений заключний етап створення базової мережі CN на основі IP-технології в результаті відмови від використовувалася раніше технології ATM для комутації каналів CS-домена. У новій архітектурі системи UMTS, як показано на рисунку 1.2, надання мультимедійних IP— послуг в реальному масштабі часу забезпечувалося за рахунок включення ще одного PS-домену, званого IMS (IP Multimedia Subsystem), до складу базової мережі CN. Цей домен приєднувався до вузла GGSN і до медіа-шлюзу MGW і використовував протокол SIP (Session Initiation Protocol) як засіб для встановлення сеансів передачі мультимедійних даних, підтримующих

мобільність абонентів і переадресацію викликів [4, 6]. Інша зміна базової мережі CN, введеним технічними специфікаціями Release 5, стала інтеграція функцій бази даних HLR і пристрої аутентифікації і контролю AIC в єдиний сервер домашніх абонентів мережі (Home Subscriber Server - HSS), який містить інформацію про кожного абонента (прописаної в базі даних домашньої мережі) для управління викликами і сеансами передачі даних

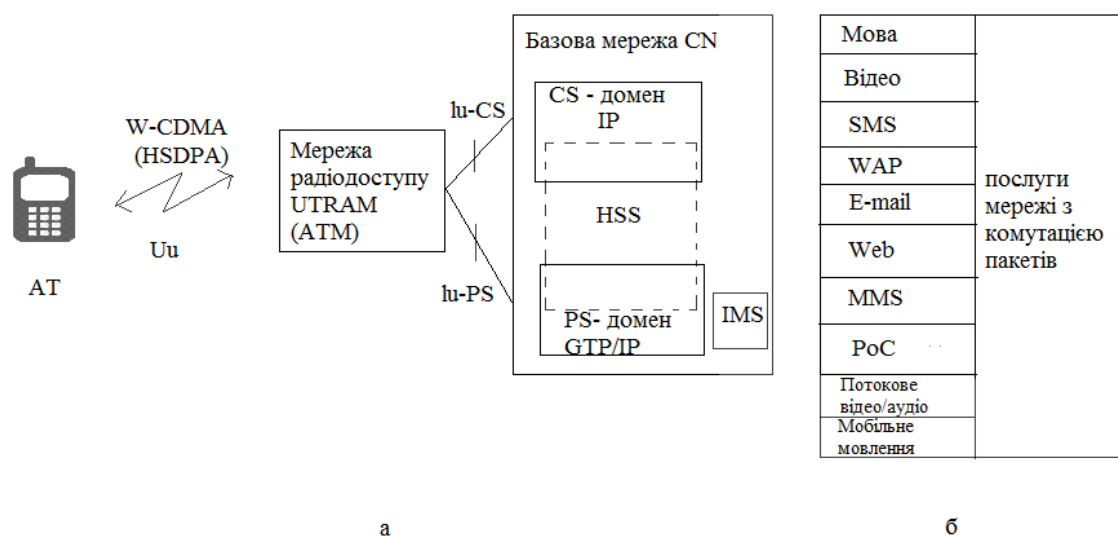


Рисунок 1.2 — Архітектура (а) і послуги (б) системи UMTS згідно Release 5

Технічні специфікації Release 5 не обмежилися змінами базової мережі CN і продовжили дуже важливу модифікацію радіоінтерфейсу мережі радіодоступу UTRAN системи UMTS. Ця модифікація стосувалася розроблення нового режиму високошвидкісного доступу на основі технології W-CDMA, названого високошвидкісним доступом для передачі інформації в лінії «вниз» (High Speed Downlink Packet Access - HSDPA). Режим HSDPA може підтримувати значно вищі порівняно з встановленою Release 99 (384 кбіт/с) швидкості передачі даних (до 10 Мбіт/с) на основі використання схеми додаткової модуляції, схеми прискореного пакетування даних і гібридного механізму повторної передачі, а також сумісності з механізмами радіодоступу, визначеними в попередніх релізах [4,2,7].

Таким чином, Release 5 ввів технічні вимоги:

- на підсистему IMS, яка має дві фази розвитку; перша фаза представлена в Release 5 як базова мережа на основі IP-протоколу версії IPv6;
- на управління мультимедійними послугами домену пакетної комутації за допомогою протоколу SIP.

Роботи по Release 5 були припинені в березні 2002 р, а основні технічної специфікації Release 5 включені в останню редакцію Рекомендації МСЕ-Р М.1457.

Release 6. Реліз представив технічні специфікації, в яких були сформульовані вимоги до режиму високошвидкісної передачі даних в лінії «вгору» (High Speed Uplink Packet Access - HSUPA) для першої і другої фаз розвитку підсистеми IMS базової мережі CN; крім того, в ній отримав подальший розвиток режим HSDPA.

Release 6 ввів ряд технологічних нововведень:

- підтримку мультимедійного мовлення (Multimedia Broadcast/Multicast Service - MBMS);
- адаптивні багатошвидкісні широкосмугові кодеки (Adaptive Multi-Rate-Wideband + codec - AMR-WB +), що дозволяють передавати і приймати мову і музику з рівнем якості CD;
- нові діапазони частот 2100/1900/1800/900/800 МГц в абонентських терміналах і мережі радіодоступу UTRAN;
- використання IP-технології в ланцюжку «базова мережа - мережа радіодоступу - абонентський термінал» (CN/RAN (Radio Access Network)/Terminal).

Технічні вимоги Release 6 до другої фази розвитку підсистеми IMS забезпечили системі UMTS, показано на рисунку 1.3, такі можливості:

- взаємодія і приєднання базової мережі, побудованої на основі IMS, до мереж, що використовують комутацію каналів (CS-мереж);
- взаємодія із зовнішніми мережами з комутацією пакетів, які не використовують підсистему IMS;
- розробку загальних технічних підходів для взаємодії вказаних зовнішніх мереж.

Роботи з розвитку Release 6 були заморожені в кінці другої половини 2004 р.

Release 7. Реліз представив другу фазу розвитку технології HSUPA і вдосконалену підсистему E-IMS (Enhanced IMS) [6,7].

Крім того, Release 7 визначив нові технічні рішення для системи UMTS[37]:

- високошвидкісний режим передачі даних на основі тимчасового розділення каналів TDD (7,68 Мбіт/с);

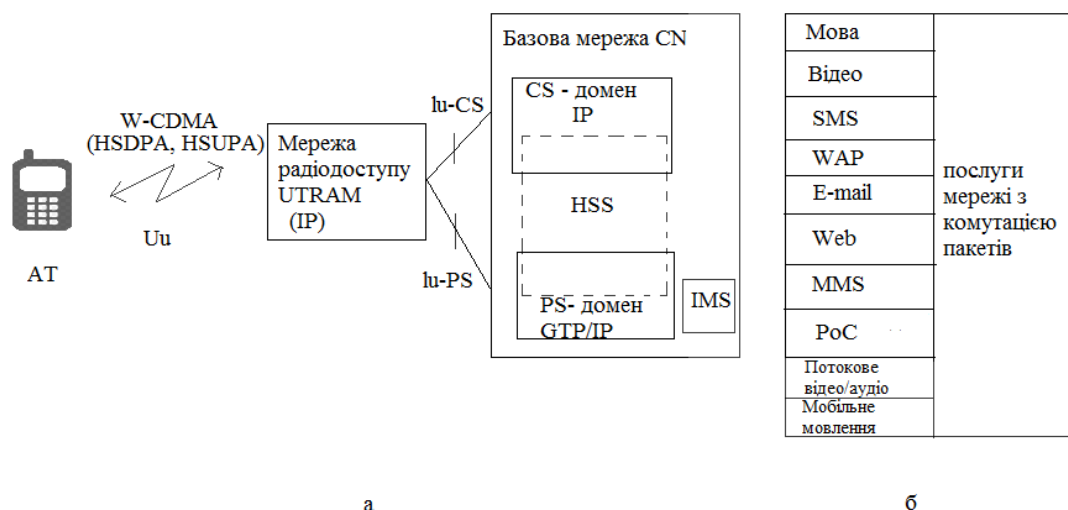


Рисунок 1.3. — Архітектура (а) і послуги (б) системи UMTS згідно Release 6

- загальний доступ до інтерфейсу A/Gb, що дозволяє мереж мобільного зв'язку інтегруватися при більш складних сценаріях їх використання, ніж просте міжмережне підключення;
- підвищену функціональність модуля ідентифікації абонента мережі UMTS (UMTS Service Identity Module - USIM), що дозволяє здійснювати завантаження спеціальних програм і даних в модуль USIM;
- використання багатопроменевих адаптивних антен, заснованих на технології MIMO (Multiple Input, Multiple Output - множинний вхід, множинний вихід) і підвищують пропускну здатність радіопідсистеми (рішення про початок робіт по MIMO було перенесено з Release 6 в Release 7);
- різні сервісні програми (мультимедійні послуги, послуги визначеному розташування абонента, відео- і мовні послуги).

Головні напрямки робіт щодо вдосконалення підсистеми IMS базової мережі, передбачені в Release 7, полягали в наступному:

- забезпечення можливості доступу до підсистеми IMS фіксованих широкопasmових мереж передачі даних (Fixed Broadband Access);
- забезпечення якості послуг в мережах UMTS, що використовують технології HSDPA/HSUPA/Enhanced IMS, на основі механізму управління і принципу гарантованої якості послуг в ланцюжку «кінцевий користувач - кінцевий користувач»;
- забезпечення проходження екстрених викликів в PS-домени і в підсистемі IMS базової мережі CN;

- сумісність здійснювати дзвінки без допомоги з комутацією каналів і сеансів передачі даних підсистеми IMS;
- еволюційний розвиток функцій управління ресурсами мережі (policy control function) і тарифікації для IP-потоків даних;
- забезпечення підтримки послуг визначення місця розташування абонента, аудіо- та відеоконференцій, управління групами користувачів.

Роботи з розвитку Release 7 були зупинені в середині 2007 р.

1.3 Розвиток сімейства LTE

Release 8. Цей реліз дав старт роботам над технічним виглядом мереж мобільного зв'язку нових поколінь, що йдуть за поколінням 3G, які покликані революційно змінити звичні технології. Розробники відмовилися від технології радіоінтерфейсу W-CDMA і перейшли до більш прогресивної технології OFDMA[31]. Основними вимогами до нової системи, що відбилися в Release 8, які показані на рисунку 1.4, були: значне підвищення спектральної ефективності (доведення її до 5 біт/с/Гц); збільшення пропускної здатності в лінії «вниз» до 100 Мбіт/с при ширині смуги одного частотного каналу 20 МГц (з можливістю його масштабування: 1,4; 3; 5; 10; 15 МГц) і до 50 Мбіт/с в лінії «вгору», а також скорочення часу затримки передачі пакетів даних до 10 мс в порівнянні з 80 мс при технології HSDPA (Release 5) і спрощення архітектури мережі.

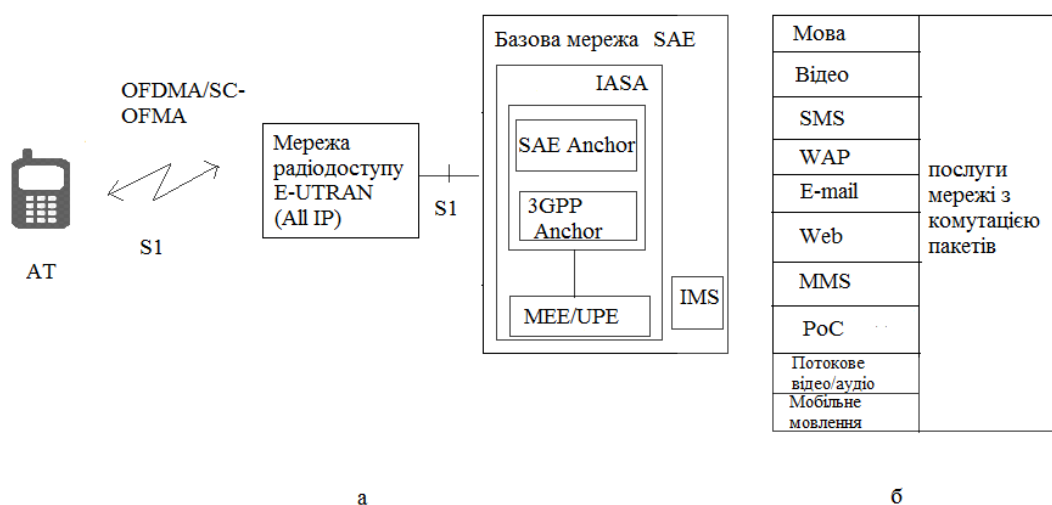


Рисунок 1.4. — Архітектура (а) і послуги (б) системи UMTS згідно Release 8

Основні зусилля розробників Release 8 були направлені на:

- фізичний рівень радіоінтерфейсу (способи забезпечення гнучкого використання каналів із змінною шириною смуги випромінювання/прийому до 20 МГц, впровадження нових технологій модуляції сигналів OFDMA і багатопроменевих антенних технологій MIMO)[26];
- каналний і мережевий рівні радіоінтерфейсу (оптимізація сигналізації);
- архітектуру мережі радіодоступу UTRAN (визначення оптимальної мережної архітектури і функціональних відмінностей від вузлів мережі радіодоступу RAN).

Технологія та архітектура LTE Advanced, розроблена консорціумом 3GPP, є у рамках Release 8 є одним з найбільш перспективних стандартів для розгортання мереж безпроводового широкосмугового зв'язку четвертого покоління (рис.1.5).

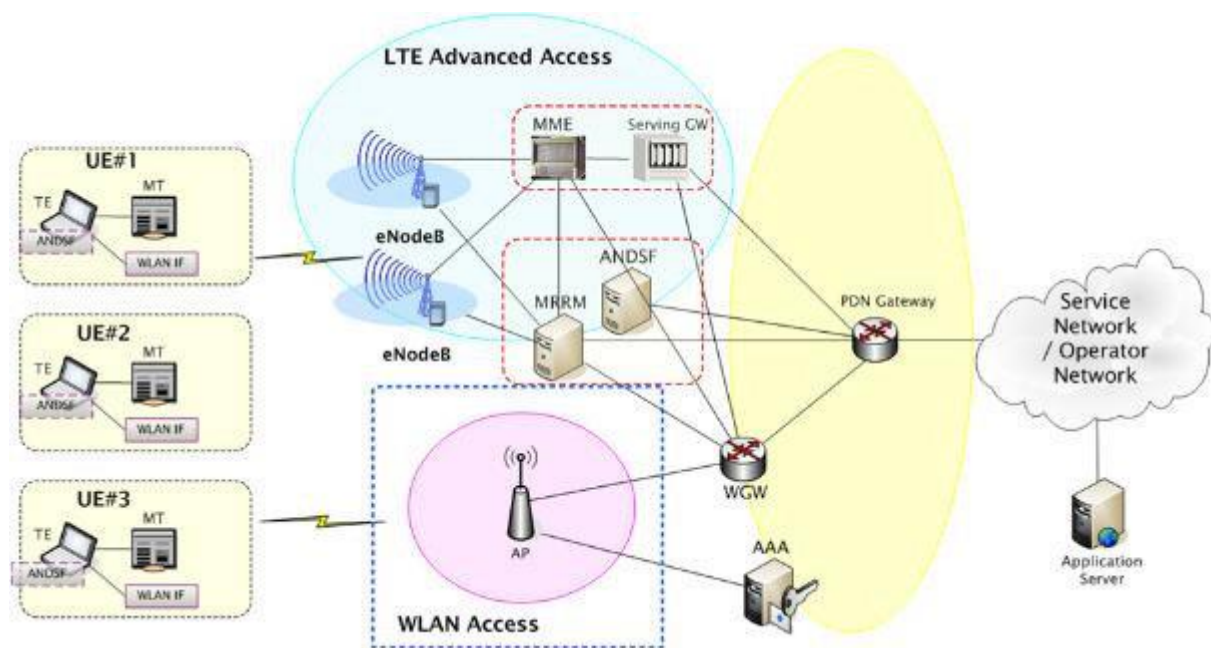


Рисунок 1.5 – Архітектура LTE Advanced

В середовищі 4G-систем мережа радіодоступу та ефірний інтерфейс фактично вдосконалюються, тоді як архітектура базової мережі (тобто EPC) не зазнає значних змін внаслідок систематизованої раніше архітектури SAE (System Architecture Evolution). Основною частиною архітектури E-UTRAN є вдосконалений вузол B (eNB або eNodeB), який забезпечує повітряний інтерфейс між закінченням протоколу площини управління та площиною користувача до користувачького обладнання (UE). Обидва eNodeB є логічним елементом, який

обслуговує одну або кілька комірок EUTRAN, а взаємодія між eNodeB називається інтерфейсом X2. Інтерфейси мережі побудовані за протоколами IP. ENodeB підключені за допомогою інтерфейсу X2, а до об'єкта MME (Mobility Management Entity)/GW (Mobility Management Entity / Gateway) - за допомогою інтерфейсу S1. Інтерфейс S1 підтримував багато взаємозв'язків між eNodeB та MME / GW[8].

Дві сутності логічного шлюзу називаються обслуговуючим шлюзом (S-GW), а інший - мережевим шлюзом пакетних даних (P-GW).

Release 9. Що почалися роботи над Release 9 визначають другу фазу розвитку системи LTE Advanced.

Основні напрямки цього розвитку:

- вдосконалення функціональних можливостей;
- введення нових послуг в мережеві можливості;
- розширення експлуатаційних можливостей;
- створення нових сценаріїв розвитку.

Удосконалення функціональних можливостей LTE в Release 9 буде полягати в реалізації двухдіапазоної або багатодіапазонними передачі даних в одному фізичному каналі, подальше розширення можливостей мережі радіодоступу E-UTRAN, впровадженні нових сценаріїв високошвидкісної передачі даних.

У мережі LTE Advanced передбачено надання нових послуг системою попередження про масову небезпеки (Public Warning System - PWS) в випадку землетрусу, цунамі, торнадо і ін., Введення системи контролю спеціальних послуг, подальший розвиток мультимедійних мовних послуг VoIP (IMS), широкомовних послуг MBMS, послуг визначення позиціонування абонентів (Location Base Services - LBS), послуг M2M (Machine-to-Machine) на основі мереж «машина-машина».

Розширення експлуатаційних можливостей LTE Advanced складається в створенні сервісної-орієнтованої архітектури системи підтримки експлуатації (Operations, Administration, Maintenance and Provisioning - OAM&P), розширенні можливостей контролю експлуатаційних параметрів мережі радіодоступа E-UTRAN та базової мережі SAE, запровадження нових функцій самоконфігурації і самовідновлення в системі OAM&P.

Release 10. Роботи над цим релізом спрямовані на подальший розвиток технології LTE і створення удосконаленої технології LTE Advanced.

Основні вимоги, яким повинна задовольняти система LTE Advanced:

- максимальна швидкість передачі даних в лінії «вниз» - до 1 Гбіт/с, в лінії «вгору» - до 500 Мбіт/с (середня пропускна здатність на одного абонента - в три рази вище, ніж в LTE);
- полоса пропускання в лінії «вниз» - 100 МГц, в лінії «вгору» - 60 МГц;
- максимальна ефективність використання спектра в лінії «вниз» - 30 біт/с/Гц, в лінії «вгору» - 15 біт/с/Гц (втричі вище, ніж в LTE);
- повна сумісність і взаємодію з LTE і іншими системами стандартів 3GPP (GERAN/UMTS).

Для вирішення цих завдань передбачається використовувати радіоканали з більше широкою смугою (до 100 МГц), асиметричне поділ смуг пропускання між лінією «вгору» і лінією «вниз» в разі частотного дуплексу, досконаліші системи кодування і виправлення помилок; гібридну технологію OFDMA і SC-FDMA для лінії «вгору», а також технологію MIMO для антенних систем LTE.

Аналіз тимчасових термінів робіт над технічними специфікаціями ланцюгу систем GSM-UMTS-LTE показує, що типовий етап еволюції технологій мобільного зв'язку, що розробляються і стандартизуються ETSI, продовжуються в середньому два роки. Результати етапу розробки оформляються у вигляді релізу, що є збіркою технічних специфікацій, підготовленого за заданий ETSI період стандартизації[36].

Незважаючи на прискорений розвиток технології LTE, технології мереж мобільного зв'язку 2G і 3G продовжують погоджений розвиток як технології мереж доступу, що розробляються проектом 3GPP в єдиному взаємопов'язаних з технологією LTE плані стандартизації ETSI. Еволюційний розвиток технології мобільного зв'язку GSM-HSCSD-GPRS-EDGE включало в себе дві фази і три релізу: 96, 97 і 98 [3]. Інтеграція технології EDGE в нову систему радіодоступу GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) являє собою процес паралельного з розвитком систем 3G вдосконалення систем 2G з архітектурою мережі з інтеграцією служб (ISDN). Для цього було вирішено включити технічні специфікації на технологію GERAN в майбутні релізи стандарту UMTS в якості варіанту реалізації суміщених мереж GSM/UMTS і не розробляти як самостійні релізи стандарту GSM [3].

Процес стандартизації технології LTE Advanced включає в себе створення трьох релізів, погоджених за часом їх випуску з релізами розвитку технологій GERAN/EDGE і UMTS/HSPA (High Speed Packet Access)

Агрегація операторів дозволяє LTE-A бути втричі швидшою, ніж попереднє покоління LTE[9].

Оскільки маршрутизація LTE-Advanced (LTE-A) перебуває на передовій мережевих технологій, в Інтернеті не так багато ресурсів, які б визначали бізнес-кейси для прийняття послуги. Більшість доступних в Інтернеті ресурсів заповнені жаргоном або застаріли, тобто опубліковані, коли специфікація була випущена за роки до того, як послуга стала доступною.

Незалежно від того, чи є ви експертом, який потребує допомоги у формулюванні аргументів щодо інвестування у технології, сумісні з LTE-A, або ви в значній мірі не знайомі з цією послугою, вважайте це своїм основним посібником.

Переваги LTE Advanced кореняться в агрегації операторів. Перш за все: агрегація операторів - це новаторська нова функція, на якій побудований LTE-A. У звичайних мережах LTE оператори передають дані в декількох смугах частот, але кожен пристрій або маршрутизатор 4G можуть одночасно використовувати лише одну смугу частот. У будь-який момент певні смуги частот можуть бути переобтяжені трафіком, тоді як інші смуги частот залишаються недостатньо використаними. Це означає, що пристрої використовують недостатньо мережевих ресурсів, а якість обслуговування (QoS) може негативно позначитися на великому обсязі використання в одному діапазоні в межах географічної області або коли додатки потребують великої пропускну здатності.

Однак агрегація несучих дає можливість носіям передавати дані на пристрій, як безпроводовий маршрутизатор, через декілька діапазонів мережі одночасно, за допомогою єдиного "зведеного каналу даних".

LTE Advanced пропонує кращу якість обслуговування (QoS). LTE-A використовує більш ефективний протокол планування пакетів і дозволяє операторам гнучкіше керувати радіочастотними ресурсами. Іншими словами, пакети даних, що передаються по мережі, можуть потрапити туди, куди вони прямують, використовуючи більш ефективні маршрути, і є менша ймовірність того, що ці дані будуть втрачені при передачі. Мережеві провайдери можуть краще розподіляти ресурси радіочастотного спектра у своїй мережі, розумно вибираючи, які користувачі підключаються через які смуги частот, щоб покращити якість та пропускну здатність, незважаючи на обмежений спектр (рис.1.6).

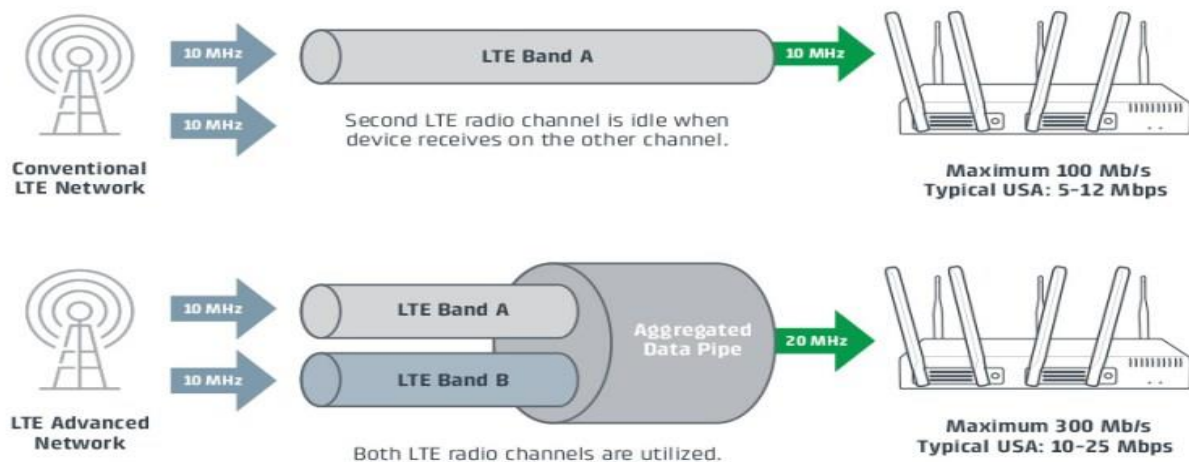


Рисунок 1.6 – Ресурси радіочастотного спектра

LTE Advanced є більш надійним. З односмуговим LTE можливе переривання зв'язку на кілька секунд, коли пристрій перемикає діапазони частот. На відміну від цього, оскільки LTE-A використовує кілька діапазонів частот одночасно, пристрої перемикають діапазони частот всього за кілька мілісекунд. Крім того, навіть якщо одна смуга падає, пристрій залишається підключеним через другу смугу в трубі агрегованих даних[2].

Підприємства зможуть довіряти LTE-A, щоб забезпечити підключення навіть для своїх найважливіших програм. Для задоволення запиту на дані оператори використовують LTE-A та «малі соти».

Хоча традиційний LTE-A вже широко визнаний мобільними та розподіленими підприємствами як важливий фактор, що сприяє бізнесу, одним з потенційних недоліків є потенціал перешкод радіочастотного спектру в густонаселених районах, таких як міські центри та стадіони. Крім того, попит на дані зростає в геометричній прогресії.

Сьогодні оператори мобільного зв'язку агресивно розгортають вузли дрібноклітинного радіодоступу в багатьох міських центрах спільно, намагаючись розширити покриття LTE-A. У цих дрібноклітинних вузлів короткий діапазон, але вони допомагають збільшити пропускну здатність мережі та зменшити перевантаження.

Цей крок операторів дозволить підприємствам продовжити перехід до безпроводових мереж, оскільки оператори зможуть краще задовольнити швидко зростаючий попит на безпроводову пропускну здатність.

LTE-A втричі швидший, ніж попереднє покоління LTE. Мережі LTE поточного покоління не досягають своїх повноцінних швидкостей, тому вам може бути цікаво, чи зможе LTE-A значно покращити продуктивність мережі. Відповідь - так, завдяки агрегації операторів мобільного зв'язку.

При проведенні тесту швидкості в мережі LTE-A на односмуговому LTE була швидкість близько 4 Мбіт / с. Коли вимірювали швидкість для послуги LTE-A, була досягнута швидкість більш ніж утричі швидшої - 15 Мбіт / с. По всій Україні тенденція схожа: для звичайних LTE типові швидкості коливаються в межах 5-12 Мбіт / с, тоді як LTE-A пропонує рекламовані швидкості 10-25 Мбіт / с. Звіти про тести швидкості з використанням маршрутизаторів зі швидкістю 60 Мбіт / с, 80 Мбіт / с і навіть до 156 Мбіт / с показали високу якість в комерційних мережах України (Київстар, Мегафон, Lifecell).

LTE-Advanced доступний по всій території України. Усі основні оператори в Україні швидко впроваджують LTE-A у своїх мережах Київстар розпочали діяльність у великих районах метрополітену і продовжують розширюватися. На даний момент Київстар має значний відсоток своїх LTE-мереж, охоплених LTE-A для надання споживачам послуги Інтернет речей.

Київстар - лідер у галузі LTE-A. Вони першими підтримали LTE-з'єднання за допомогою USB-накопичувача, першими тестували LTE-маршрутизатор із вбудованим модемом, а тепер LTE-A маршрутизатори - це єдина лінійка продуктів маршрутизації на ринку, якими підприємства можуть скористатися LTE-A.

Ось кілька особливостей нових платформ LTE-A:

- Підтримує агрегацію несучих для двох смуг частот;
- Автоматичний вибір оператора на основі SIM-картки.
- Зворотна сумісність із традиційними LTE та HSPA +
- Немає підвищення ціни на маршрутизаторах LTE категорії 3

LTE-A має цілком реальні переваги для мобільних та розподілених підприємств з високою пропускнуною спроможністю. Наприклад, автобус, що перевозить 60 пасажирів, може використовувати LTE-A, щоб запропонувати більшу пропускну здатність та пропускну здатність мережі, створюючи кращий досвід для мотоциклістів.

Роздрібний магазин з десятками різних додатків та кількома паралельними мережами, які залежать від безпроводового підключення як для основного, так і для відмовостійкого підключення, може насолоджуватися ще більшою

надійністю, кращими параметрами QoS та значно вищими швидкостями для покращення взаємодії з клієнтами.

Це означає, що підприємства, які покладаються на безпроводові мережі, зможуть використовувати та створювати додатки NB-IoT з більшою пропускнуою здатністю, матимуть кращий доступ до хмарного сховища та програмного забезпечення та працюватимуть швидше.

1.4 Технологія вузькосмугового Інтернету речей (NB-IoT)

З розвитком Інтернету речей (Internet of Things, IoT) кількість підключень до мереж мобільного зв'язку операторів збільшиться в рази. За прогнозами Ericsson, до 2021 року загальна кількість підключених до інтернету пристроїв в світі складе 28 млрд. З них 1,5 млрд складуть споживча електроніка і розумні автомобілі, які взаємодіють один з одним за допомогою мереж мобільного зв'язку. У найближчі роки кількість міжмашинного підключень (M2M) буде рости на 25% в рік, більша частина що поставляються на ринок M2M-пристроїв буде підтримувати стандарт LTE-A. У міру зростання ринку IoT стає очевидним, що для багатьох варіантів використання таких рішень існуючі технології мобільного зв'язку недостатні у зв'язку з недостатнім покриттям, високою вартістю кінцевих терміналів і малим терміном служби їх елементів живлення.

Інноваційною технологією Інтернету речей є рішення вузькосмугового IoT (Narrow-Band IoT або NB-IoT). Це стільникова вузькосмугово різновид глобальних мереж з низьким енергоспоживанням (Low Power Wide Area, LPWA), яка в першу чергу призначена для додатків міжмашинного взаємодії (M2M). Стандарт NB-IoT відкриє компаніям, що спеціалізуються на наданні телекомунікаційних послуг, широкий спектр нових можливостей. Зокрема, істотно збільшить прибутковість операторів від одного абонента (Average revenue per user, ARPU). Технологія NB-IoT займе свою низькошвидкісну нішу в класі рішень, де пріоритетне значення має безперебійна передача даних і низьке енергоспоживання.

Стандарт NB-IoT був специфікований консорціумом 3GPP в 2016 році в Release 13 (LTE Advanced Pro) і в даний час проходить тестування. Фахівці вважають, що технологія NB-IoT отримає популярність серед операторів, тому що її обслуговування і експлуатація обійдеться їм дешевше, ніж передових на сьогоднішніх день мереж LTE і GSM. Це обумовлено її характеристиками.

Стандарт NB-IoT є двосторонній зв'язок, що діє в частотному каналі шириною 200 кГц. Для того, щоб запустити мережу в експлуатацію, оператору всього лише необхідно встановити на базовій станції спеціальне програмне забезпечення. Це актуально, якщо розгорнути IoT-мережу вже на існуючих частотах.

3GPP продумує модель функціонування мережі. Консорціум пропонує три варіанти розгортання NB-IoT мережі. Перший - це NB-IoT Guard Band, тобто для Narrowband IoT буде виділений окремий частотний спектр. Другий - це In Band, тобто технологія буде розміщена в захисному інтервалу частот мереж LTE. Третій - отримав назву Stand Alone. Відповідно до його концепції, NB-IoT і LTE працюють в одному частотному діапазоні.

Таким чином, мережа NB-IoT можна розгорнути в частотних діапазонах, в якому в даний час функціонує стандарт GSM, після їх рефармінг в LTE-A, або в «захисних» інтервалах між мережами GSM і LTE. Швидкість передачі даних в NB-IoT досягає 200 кбіт / с, що є достатнім для пристроїв, періодично передають однотипні дані невеликого обсягу.

Наступною найважливіших особливостей технології NB-IoT є можливість підключати до однієї соте базової станції до 100 тисяч пристроїв NB-IoT, що в десятки разів перевищує можливості діючих стандартів мобільного зв'язку. Це дозволяє отримати додаткову комерційну вигоду на основі застосування аналізу NB-IoT LTE-A -даних методами великих даних (Big Data). В рамках співпраці із суміжними галузями оператори, на додаток до продажу послуг зв'язку, отримують можливість продавати аналітичні дані третім особам.

Такі переваги стандарту NB-IoT LTE-A дозволяють значно збільшити зону покриття, забезпечивши зв'язок важкодоступних місцях і регіонах.

LTE-Advanced Pro (LTE-A Pro) є версією стандарту LTE і також відомий як "4.5G". Завдяки значному збільшенню швидкості передачі даних, а також покращенню мережевої ефективності та пропускної спроможності, це ще один крок уперед від LTE-Advanced (рис.1.7).

Звісно, що LTE-A Pro, як "супершвидкісний тракт даних" забезпечує швидкість до 1,2 Гбіт / с, поєднуючи агрегацію несучих, використання неліцензованих смуг, схему антени 4 × 4 MiMo та збільшену схему модуляції на 256 QAM.

Поточні перспективи розвитку мобільного зв'язку п'ятого покоління дають підстави очікувати революцію в області міжмашинної взаємодії.

The technology enabling the data super highway
(where passenger = data)



For this example, think of baseline LTE technology as a single highway with standard size cars traveling on it.

Highway expansion

Carrier Aggregation
is like adding a highway



Unlicensed Band
is like moving some traffic
to parallel service roads



4x4 MIMO
is like adding a highway
on top of a highway



Additional passengers per vehicle

256 QAM
is like adding more people per vehicle



Рисунок 1.7 – Діаграма LTE-A Pro, як "супершвидкісний тракт даних"

Новий стандарт LTE-A Pro вже пропонує швидкість з'єднання в декілька Гбіт / с, проте це є не єдиним нововведенням. Перехід на 5G має на увазі появу цілої екосистеми, в рамках якої мобільний зв'язок зможе бути використана більш широко і різноманітно, ніж зараз. В силу того, що передбачуваний розрив між LTE і 5G буде дуже суттєвим, світові виробники обладнання та провідні міжнародні організації в сфері зв'язку та комунікації вже зараз ведуть активну роботу щодо забезпечення плавного переходу на новий стандарт що розробляється до 2021 р.

Так LTE-Advanced Pro стане технологічним мостом між сьогоднішнім і майбутнім. У такій ситуації важливо забезпечити поступовий перехід на нове обладнання. Для вирішення цього завдання LTE Advanced Pro максимально можливо наблизить свої параметри і характеристики до 5G. Підготувати існуюче обладнання LTE-Advanced для роботи в стандарті LTE-Advanced Pro буде можливо зробити з мінімальними витратами. Nokia, Huawei і Qualcomm представляють конкретні напрацювання в цьому напрямку.

Об'єднання несучих частот буде більш масштабним: 32 несучих замість п'яти в 3GPP Release 12. Розвиток MIMO призведе до масивного MIMO 4x4. Застосування даної технології і зростання ступеня QAM модуляції до 256

збільшить швидкість передачі і дозволить зменшити фізичний розмір передавачів на базових станціях. У LTE-Advanced Pro з'явиться гнучке управління сигналом в просторі, що підвищить проникнення мережі в кожному випадку міської забудови.

Крім зростання якості доступу до інтернету з новим стандартом оператори зв'язку зможуть підвищити якість звичайних голосових дзвінків на основі технології VoLTE. Сценарії, в яких працюватиме NB-IoT LTE-Advanced Pro, також будуть розвиватися у напрямку до зближення зі сценаріями застосування 5G[27].

Призначені для користувача пристрої будуть тримати зв'язок і з базовими станціями, і з іншими користувацькими пристроями. Ці пристрої будуть об'єднуватися в самоорганізуючі мережі. У такому сценарії абоненти перестануть бути кінцевими користувачами. Тепер вони стануть надавати зв'язок іншим людям і пристроям.

2 МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ 4G

2.1 Основні елементи LTE/LTE Advanced

З точки зору інженерного планування мереж 4G, крім створення завершеної ультрасучасної мобільного системи, необхідна інтеграція в існуючу на даній території концепцію мобільного зв'язку. Дана стратегія передбачає створення об'єднаної мережі з урахуванням умов, необхідних для підтримки взаємодії мережі 4G з існуючими мережами 2G/3G[5].

Основною метою створення стандарту четвертого покоління LTE можна назвати нарощування можливостей високошвидкісних систем мобільного зв'язку, зменшення вартості передачі даних, можливість надання широкого спектра різноманітних послуг. До кардинальних відмінностей мережі LTE 2G/3G відносяться:

- принципово інші методи формування групового сигналу;
- значно розширений логічний рівень і відмінне програмне забезпечення;
- підвищена абонентська ємність, набагато більші швидкості передачі у висхідному і низхідному каналах, більш розумне використання частотного ресурсу.

Основна відмінність елементної частини радіосистеми LTE від мереж 2G/3G в тому, що в даних мережах відсутній контролер базових станцій. Дану функцію частково виконують самі базові станції eNB. Базові станції LTE взаємодіють безпосередньо один з одним за допомогою інтерфейсу X2 через транспортну мережу Mobile Backhaul. У класичній архітектурі 2G/3G базові станції виробляють обмін даними тільки через контролер (топологія «зірка»).

Радіопланування в разі LTE істотно не відрізняється від цього процесу для 3G-мереж і включає в себе фази:

- визначення приблизних бюджетів радіоканалів;
- детальне моделювання поширення радіохвиль;
- оптимізація і точна настройка для кожної вишки (БС);
- тестові випробування і коректування.

Порівнюючи бюджет радіоканалу HSPA (3G), LTE має перевагу близько 2 дБ за рахунок менших значень інтерференції. Більш високі частоти 2600 МГц

кращі для щільної міської забудови, оскільки дозволяють організувати більше сот на одній і тій же площі, що переважно для великих швидкостей передачі при великій кількості абонентів. Частоти 800 МГц можна використовувати в заміській місцевості, так як вони забезпечують більше покриття при меншій ємності на одиницю площі і за містом зазвичай не потрібні такі швидкості, як в місті, так як щільність абонентів значно менше.

Після отримання оператором зв'язку частот і проходження всіх необхідних процедур узгодження, найбільш важливим є питання транспортної інфраструктури. Добре, якщо у оператора вже є транспортна IP/MPLS (Multiprotocol label switching) - мережа достатньої ємності. Мережі 2G/3G часто в якості транспорту використовують SDH (TDM) мережі, яка показана на рисунку. 2.1.

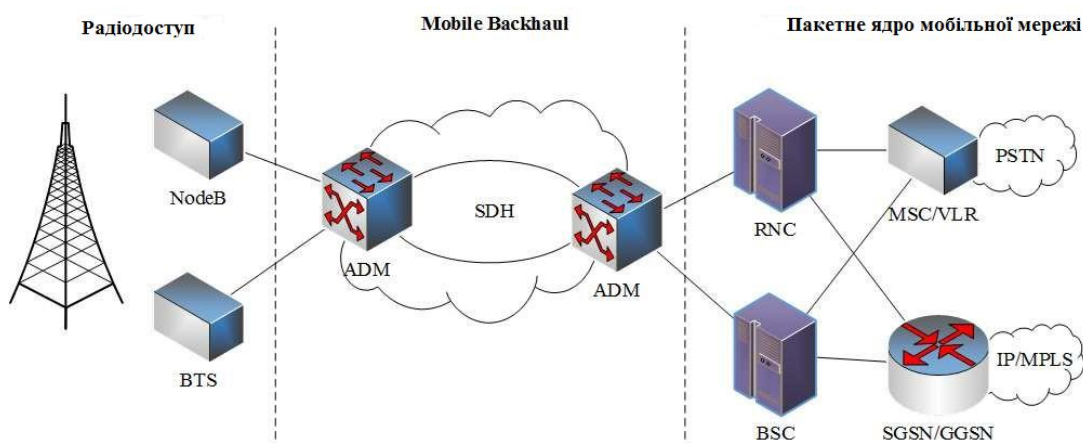


Рисунок 2.1 – Схема мобільної мережі з TDM Mobile Backhaul

Ємність даних мереж розрахована в основному на передачу невеликих об'ємів трафіку і голоси. Модернізація таких мереж часто пов'язана з додатковими великими інвестиціями і не завжди приносить очікуваний гнучкість і масштабованість при збільшенні ємності.

Основні питання, що виникають при проектуванні мереж Mobile Backhaul для LTE:

- Передбачувані точки підключення БС(базова станція) і ємності каналів (визначається на етапі радіопланування);
- інтерфейси, що підключаються БС до маршрутизатора Cell-Site-Router;
- тип LTE-стандарту, передбачуваного до впровадження на мережі;
- яким чином буде здійснюватися синхронізація БС;

- сервісна складова.

З першого питання має значення розташування майбутніх або існуючих точок мережі Mobile Backhaul. Від цього залежить, які канали, якої ємності і в які місця необхідно протягувати. На жаль, прокладка каналів не завжди можлива і в якості альтернативи використовують підключення прольотів пакетними радіорелейними лініями (РРЛ) «точка-точка», сучасні рішення яких пропонують радіоканали до 1 Гбіт/с і більше.

На даний момент актуальними є LTE FDD і LTE TDD. Основна відмінність між ними - спосіб поділу каналів на прийом/передачу. LTE FDD має на увазі дві несучі частоти для приймально передачі, LTE TDD - одну несучу частоту, але поділ за часом. Це має принципове значення з точки зору синхронізації між БС. Технологія LTE FDD увазі достатність частотної синхронізації, LTE TDD обов'язково вимагає фазову синхронізацію. Технологія LTE Advanced спочатку має на увазі використання фазової синхронізації, тому доцільніше відразу розглядати фазову синхронізацію з прицілом на майбутнє[12].

2.2 Організація і контроль елементів LTE/LTE Advanced

В цілому процес міграції від мереж 3G до LTE менш витратний, так як багато операторів вже побудували серйозні транспортні мережі IP/MPLS з відповідною оптичною інфраструктурою при переході від 2G до 3G. Сучасні базові станції 3G модернізуються в БС LTE, при цьому необхідно додати антени MIMO і оновити ПЗ.

В інтегрованих мережах пропонується використовувати вже розгорнуті в мережах 2G/3G елементи основної мережі, такі як SGSN і GGSN.

SGSN - це вузол обслуговування абонентів GPRS, основний компонент GPRS-системи по реалізації всіх функцій обробки пакетної інформації. Він є точкою з'єднання між системою базових станцій (BSS) мережі радіодоступу (RAN) і базовою мережею (CN), яка взаємодіє з HLR (Home Location Register) - централізованою базою даних, яка містить інформацію про кожного абонента даної мережі. SGSN можна назвати аналогом комутатора MSC мережі GSM. SGSN виконує наступні функції:

- контроль доставки пакетів даних користувачам;
- взаємодія з реєстром власних абонентів мережі HLR або аутентифікація;

- моніторинг користувачів, що знаходяться в режимі online;
- перетворення кадрів GSM у формати, які використовуються протоколами TCP (Transmission Control Protocol)/IP глобальної комп'ютерної мережі Internet;
- реєстрація абонентів, знову «з'явилися» в зоні дії;
- шифрування даних відповідно до алгоритму шифрування в технології GPRS;
- збір надходить білінгової інформації, тобто інформації про використання мобільних послуг, їх тарифікацію, виставлення рахунків абонентам і т.д.

GGSN - це вузол, що входить до складу GPRS Core Network і забезпечує маршрутизацію даних між GPRS Core network (GTP) і зовнішніми IP-мережами. Крім маршрутизації, GGSN забезпечує запити на аутентифікацію до RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) сервера, а також взаємодія з серверами домашніх імен DNS (Domain Name Server) для визначення IP адреси, запитаного користувачем. Основною функцією GGSN маршрутизація даних, що йдуть до абонента і від нього через SGSN.

Функціями GGSN є:

- адресація даних;
- динамічна видача IP-адрес;
- відстеження інформації про зовнішніх мережах і власних абонентів;
- зберігання маршрутизуючої бази даних, бази даних з адресами і фільтрує бази даних основної мережі, після введення LTE мережі, що необхідно для підтримки функцій, які виконуються MME і SAE- GW.

Одним з варіантів мережевого вирішення даної інтеграції є контроль збереження в так званих незалежних мережах 2G/3G доступу існуючих елементів основної мережі - SGSN і GGSN, а також включення нових пристроїв, таких як MME, SAE-GW (SAE Serving Gateway), які з урахуванням контролю передачі міжсистемних функцій, які підтримують LTE доступ, яка зображена на рисунку 2.2.

Переваги контролю впровадження незалежних (інтегрованих) мереж[17]:

- LTE мережу є мережею вторинного розгортання і планування, що служить фактором, що виключає негативний вплив існуючої мережі (2G/3G);
- впровадження LTE мережі не знижує якості послуги 2G/3G.
- недоліком впровадження незалежних (інтегрованих) мереж є:
- низька ефективність передачі між 2G/3G і LTE;

- збільшення обладнання ядра мережі;
- збільшення експлуатаційних витрат.

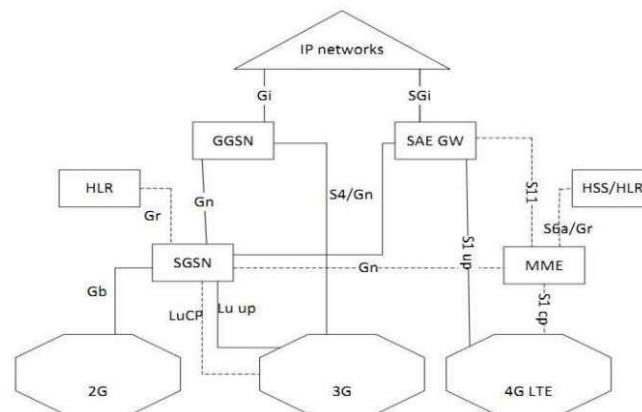


Рисунок 2.2 – Функції контролю взаємодії обладнання різних поколінь

Іншим варіантом мережевого рішення є створення гібридних мереж шляхом поновлення старого SGSN з тим, щоб він підтримував функції MME, або, навпаки, підключення MME, що підтримує функції старого SGSN, і, відповідно підключення нового SAE-GW зображено на рисунку 2.3.

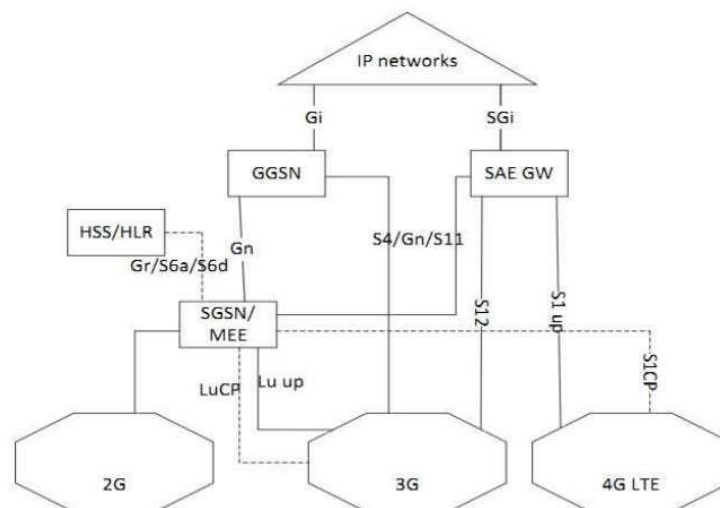


Рисунок 2.3 – Контроль гібридних мереж

Перевагою контролю впровадження гібридних мереж є:

- можливість поширення опорної мережі на основі існуючих мереж, що позбавляє від необхідності повторного розгортання мережі;
- можливість спільного використання мережевих ресурсів 2G/3G і LTE мереж;

- висока ефективність передачі інформації між 2G/3G і LTE.

Недоліками є:

- нова мережа знижує якість послуги 2G/3G;
- існуючим мережам необхідно оновлення з тим, щоб підтримувати функції MME.

Третім варіантом мережевого рішення є створення так званих незалежних 2G-мереж, в результаті відділення старих вузлів SGSN і GGSN для підтримки 2G-мережі і підключення MME і SAE-GW/P-GW для 3G/LTE зображено на рисунку 2.4.

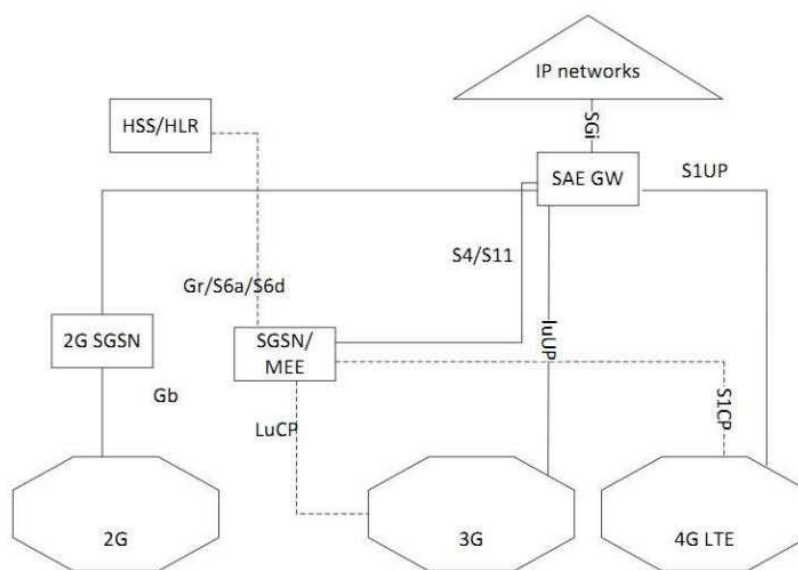


Рисунок 2.4 – Контроль незалежних 2G-мереж

Перевагою контролю впровадження незалежних 2G-мереж є поступове зниження мережевого тарифу 2G.

Недоліками їх впровадження є:

- необхідність додаткових підключень для подальшого відділення 2G від існуючих змішаних 2G/3G мереж;
- збільшення витрат на технічне обслуговування.

Отже, першочерговим завданням при створенні мереж LTE в містах та густонаселених районах є наявність умов, необхідних для підтримки взаємодії мереж LTE з існуючими мережами 2G/3G. Таким чином, на підставі вищевикладених критеріїв найбільш раціональним є перший варіант мережевих рішень (незалежні мережі).

На наступному етапі побудови мереж LTE необхідно поступове оновлення вузла обслуговування абонентів SGSN, що підтримує функцію MME. Так як MME забезпечує доступ мережі 2G/3G для управління площиною мережевий інтеграції, то послуги мережі плавно перейдуть від 2G/3G до LTE. Таким чином, для виконання вище перелічених умов найбільш прийнятною є другий варіант мережевих рішень (гібридні мережі).

На кінцевому етапі побудови мереж LTE, при збільшенні числа користувачів мережами LTE, відбувається повне оновлення всіх мереж при підтримці MME функції MME/SGSN. Поступова інтеграція 3G і LTE мереж усуне 2G-мережу, тому для кінцевого етапу побудови мереж LTE можна використовувати третій варіант мережевих рішень (незалежні 2G-мережі).

2.2.1 Контроль взаємодії LTE - LTE оператора

На рисунку 2.5 показано з'єднання між двома абонентами однієї і тієї ж служби VoLTE (Voice over LTE). Передбачається, що вони не розташовані в зоні покриття однієї і тієї ж осередки.

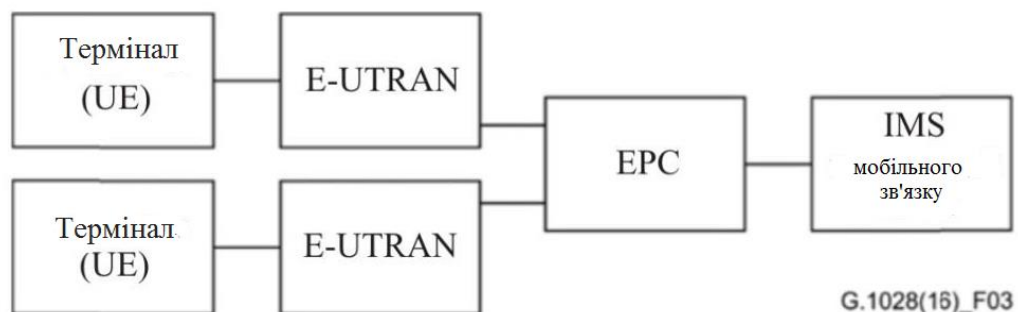


Рисунок 2.5 – Гіпотетична еталонна модель з'єднання LTE - LTE в одній і тій же мережі

2.2.2 Контроль з'єднання LTE - LTE між двома взаємопов'язаними мережами

На рисунку 2.6 показано процес контролю з'єднання між абонентами служб VoLTE двох різних операторів мобільного зв'язку. Базові мережі IMS приєднані, що дозволяє забезпечити контроль при безперебійної передачі сигналів сигналізації і площині користувача.

Передбачається, що це приєднання засноване на IP (рішення мультимплексування з тимчасовим поділом каналів (TDM) не розглядається). Також передбачається, що в обох мережах включена функція TrFO (Transcoder-free operation) поверх SIP - SIP-I.

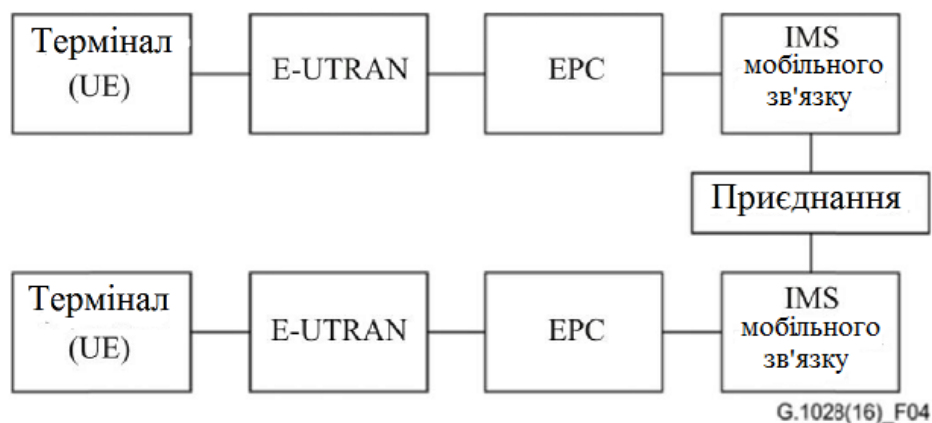


Рисунок 2.6 – Гіпотетична еталонна модель з'єднання LTE - LTE між двома приєднаними мережами

Можна розглянути два випадки контролю з'єднання VoLTE:

- дві мережі приєднані безпосередньо, що дає можливість використовувати один і той же кодек - як у випадку мережі мобільного зв'язку загального користування (PLMN) - і короткі PDD з наскрізною затримкою;
- дві мережі приєднані через проміжну мережу CS, що збільшує PDD і наскрізну затримку, знижує швидкість кодування і навіть може призвести до втрати високої чіткості голосу (HD-голосу) (якщо мережа CS не підтримує кодек WB AMR).

2.2.3 Контроль конвергенції LTE з 3G

При конвергенції абонент VoLTE з абонентом CS IMS мобільного зв'язку підключається до базової мережі 3G, як показано на рисунку 2.7, що дозволяє забезпечити безперебійну передачу контролюючих сигналів сигналізації і площині користувача[28].

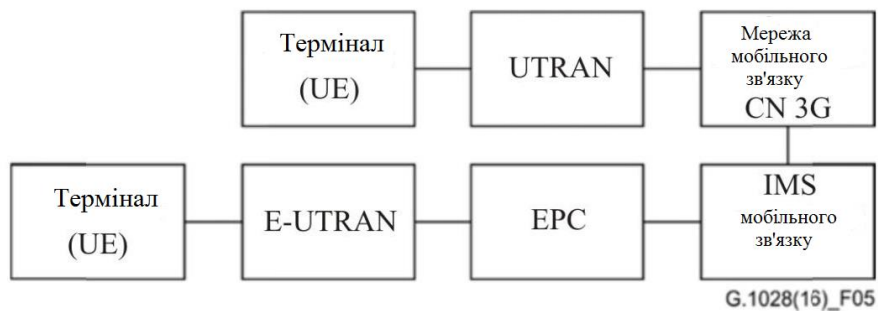


Рисунок 2.7 – Гіпотетична еталонна модель конвергенції LTE - 3G

2.3 Контроль параметрів мережі VoLTE

Точки вимірювання для контролю мають вирішальне значення для виявлення проблем як економічних, так і експлуатаційних, які необхідно вирішити для обмеження кількості зондів, роботів та інших інструментів.

Мета полягає в тому, щоб забезпечити гарне уявлення покривається території в статистичному плані для обліку, моніторингу та діагностики із застосуванням відповідних джерел або інструментів вимірювання (зондів, роботів, лічильників та реєстраторів викликів - CDR).

Можна передбачити три види точок контролю та аналізу результатів вимірювання, які зображенні на рисунку 2.8:

- в кінцевих точках, де кінцеві користувачі отримують доступ до послуг і використовують їх (в даному випадку A і J);
- в інтерфейсах, де доступний абонентський план, в загальному випадку в прикордонних точках між мережевими магістралями або технологіями передачі; в даному випадку B, D, E і G;
- в точках присутності службових елементів, пов'язаних з програмою сигналізації; в даному випадку в точках C, F і H (але також і E).
- Вимірювання в приміщеннях замовника абсолютно необхідно для відповіді на важливе питання про те, як якість обслуговування сприймається кінцевими користувачами. Воно дає реальне уявлення про наскрізному з'єднанні, отримати яке більше ніде.

Зрозуміло, виникає питання про представленості: скільки потрібно контрольних точок вимірювання. Можуть бути різні варіанти.

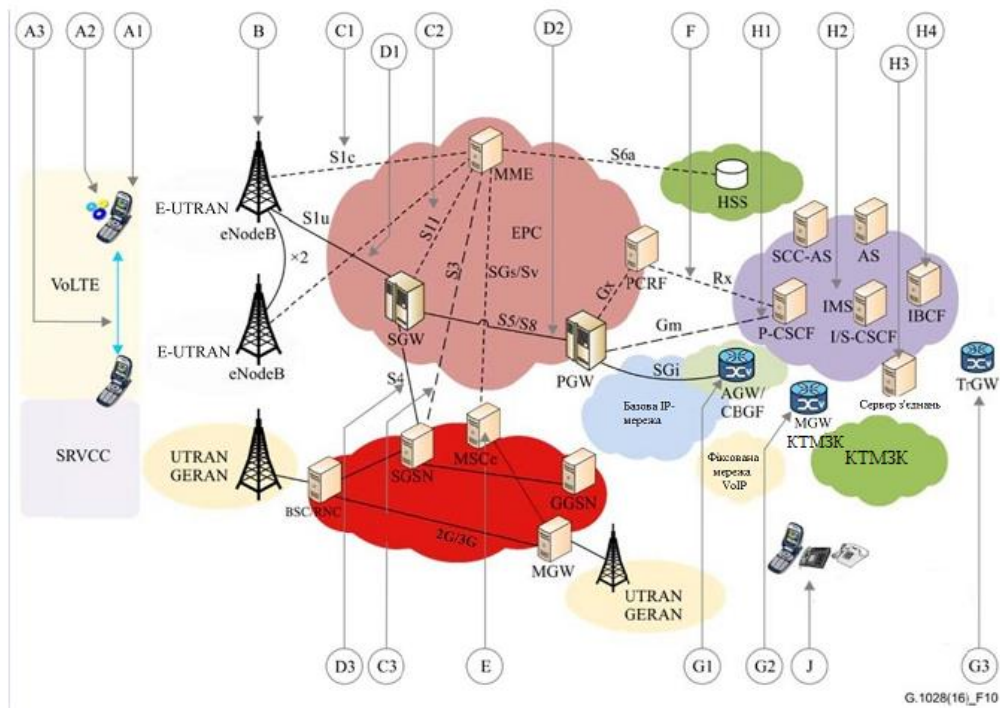


Рисунок 2.8 – Точки контролю вимірювання QoS в мережі VoLTE

Контрольна точка вимірювання A1 призначена для вимірювань з метою обліку (кампанії ручних вимірювань).

Фактично ця контрольна точка не обов'язкова для спостереження. Але з боку оператора багато оцінок QoS (Quality of service) з використанням цієї методики проводяться щороку по всій мережі з метою нормативного регулювання або контролю. Таким чином це спосіб перевірити QoS і спробувати вирішити виниклі проблеми.

Він дозволяє перевірити наскрізні показники - в основному точності, але також і доступності і безперервності.

Така методика зазвичай заснована:

- на хорошому і представницькому покритті території країни (сільські райони, міста різного розміру і т. д.);
- на добірці репрезентативних ситуацій з'єднань (в приміщенні, на вулиці, в автомобілі, в поїзді і т. д.);
- на добірці репрезентативних пристроїв в мережі оператора;
- на добірці репрезентативних періодів часу доби виклику;
- на добірці репрезентативних викликів. Необхідно враховувати вузькосмугові і широкосмугові виклики;

– на достатній кількості вимірювань для отримання точного уявлення про QoS оператора і відповідних статистичних даних.

Контрольні точки вимірювання A2 і A3 призначені для вимірювань, в яких присутність кінцевого користувача в точці A1 замінено інструментами, що моделюють його поведінку і оцінку якості. Вони рекомендуються для цілей обліку, в основному за наскрізними показниками точності, а також доступності, безперервності і швидкості обслуговування.

У цьому випадку потрібні інтрузивні роботи, інструменти для вимірювання покриття мережі, аналізатори радіоінтерфейсів і програмні агенти. Зважаючи на високу вартість таких рішень може здійснюватися лише стратегія вибіркової перевірки. Вибір місць виміру, пристроїв і періодів часу відповідає аналогічним критеріям для A1, але з меншими обмеженнями, оскільки це автоматичні інструменти.

Контрольна точка A2 знаходиться всередині терміналу. Там програмний агент може отримати доступ до декодувати сигнал і/або інформації про те, як обробляється зв'язок (встановлення з'єднання, переривання з'єднання, поведінка буфера IP-тремтіння і т. д.). Такі рішення, як правило, дуже рентабельні, здатні збирати дані по дуже великим групам користувачів і пристроїв, але можуть зажадати участі або зворотного зв'язку з боку кінцевих користувачів.

Для A3 потрібні інтрузивні інструменти. Це можуть бути або статичні рішення, засновані на роботах (тоді увага має бути зосереджена на швидкості, точності і безперервності обслуговування), або рухомі рішення (так звані інструменти вимірювання покриття мережі, в яких велика увага також приділяється характеристикам радіомережі).

Як звісно, з економічних та експлуатаційних причин можна передбачити лише стратегію вибіркової перевірки з використанням таких інструментів (як правило, менш десяти точок вимірювання для загальнонаціональної мережі). Більш того, якщо інструмент вимірювання виявить проблему, то це означає, що вона, можливо, в рівній мірі зачіпає багатьох користувачів.

Внаслідок невеликого числа вимірювань, отриманих в результаті цієї вибіркової стратегії, такі інструменти використовуються в основному для цілей обліку. Інструменти для вимірювання покриття мережі також часто використовуються для діагностики, коли підвищення QoS пов'язано з оптимізацією покриття мережі.

Важливо розуміти, що це наскрізне вимір дозволяє виявити або підтвердити

наявність проблеми, але рідка вказує на джерело погіршення, якщо тільки воно не походить від самого пристрою.

Частина мережі, що відноситься до доступу, є важливим джерелом збоїв (найбільша кількість мережевих елементів). Тому контроль за нею також необхідний. Однією з основних труднощів є облік радіочастотної частини, яка, без сумніву, різниться в залежності від обраної області.

Контрольна точка В локалізована в вузли eNodeB, який є першою точкою входу в мережу LTE-A. Ця точка вимірювання передбачає моніторинг як радіоінтерфейсу, так і напрямки EPC (Evolved Packet Core). Стратегія передбачає контроль відділення трафіку VoIP від решти трафіку даних на основі відповідного індикатора класу трафіку (QCI).

Вона спрямована на вимір:

- радіохарактеристик в сотах - рекомендується спеціально для цілей діагностики по робочим характеристикам мережі. Разом з точкою A2 eNodeB забезпечує правильне уявлення характеристик радіопокриття зони;
- потоків системи сигналізації для визначення статистики викликів - настійно рекомендується для цілей обліку, моніторингу та діагностики наскрізних показників до злочинності, безперервності, точності і ступеня використання послуг, а також робочих характеристик мережі.

Інструменти спостереження від постачальників RAN можуть допускати глобальне агрегування цих видів інформації по всіх вузлах eNodeB.

Стратегія вимірювання для цієї точки повинна бути швидше дешевою в реалізації (лічильники продуктивності, доступні з пристрою), ніж вичерпною.

Контрольні точки C1-C3 відповідають інтерфейсів EPC (фактично всі вони розташовані близько до об'єкту управління рухливістю (MME), де можна вводити і аналізувати найбільш важливі повідомлення сигналізації.

Вони рекомендуються для цілей обліку, моніторингу та діагностики наскрізних показників доступності, безперервності, точності і ступеня використання послуг. Рекомендується вичерпний доступ до всіх даних всіх сеансів, в основному за допомогою використання зондів або реєстрації викликів (CDR) елементів мережі.

Контрольна точка – C1 охоплює сигналізацію між MME і радіодоступом (інтерфейс S1), C2 контролює зв'язок з обслуговуючим GW (інтерфейс S11), а контрольна точка – C3 націлена на інтерфейс Sgs з сервером MSC.

Слід зазначити, що трафік, зібраний по всіх інтерфейсах, покриваються

контрольними точками С, туннелірують (GTP v2-C).

Ці контрольні точки вимірювання особливо важливі для аналізу:

- статистики каналу EPS;
- управління рухливістю (статистика НО, оновлення області маршрутизації);
- управління абонентами (пряме підключення до HSS).

Як і С1, С2 і С3, ці контрольні точки розташовані всередині ЕРС, але покривають інтерфейси, в яких можна вводити і аналізувати потоки реального часу (з використанням протоколу RTP).

Контрольна точка D1 розташована на виході між ЕРС і радіодоступом (інтерфейс S1u обслуговуючого GW), а контрольна точка D2 охоплює зв'язок між обслуговуючим GW і GW PDN (Packet System Architecture) (інтерфейси S5-S8).

Обслуговуючий GW є опорна точка для забезпечення мобільності всередині LTE, а також між GSM/GPRS, 3G/HSPA і LTE. Він підтримує QoS транспортного рівня шляхом маркування IP-пакетів відповідними кодовими точками DiffServ на основі параметрів, пов'язаних з відповідним каналом.

GW PDN - це точка підключення до зовнішніх IP-мереж через інтерфейс SGi. Він також грає ключову роль в підтримці QoS IP-послуг для кінцевих користувачів.

Ці важливі контрольні точки вимірювання роблять доступною всю інформацію про якість зв'язку. Вони настійно рекомендуються для цілей обліку, моніторингу та діагностики наскрізних показників доступності, безперервності, точності, швидкості і робочих характеристик мережі. Рекомендується вичерпний доступ до всіх даних всіх сеансів, в основному за допомогою використання зондів або CDR елементів мережі.

Контрольна точка вимірювання Е розташована на кордоні між ЕРС і базовою мережею 3G. Відповідним обладнанням є сервер MSC, який управляє викликами і рухливістю в мережах 2G і 3G (наприклад, в разі SRVCC). Сервер MSC також відповідає за функції TFO і TrFO. У багатьох випадках сервер MSC суміщений з функцією контролера шлюзу середовища (MGCF), що відповідає за створення та анулювання з'єднань в MGW між доменами IMS і CS.

Зважаючи на це дана точка рекомендується для цілей моніторингу та діагностики більшості показників, що стосуються сполучень, при яких відбувається роумінг між мережами LTE і 2G або 3G. Відповідні показники в основному відносяться до доступності, безперервності і швидкості надання

послуг.

Функція регулювання політики та нарахування плати (PCRF - Policy and Charging Rules Function) є центральним органом прийняття рішень, пов'язаних з управлінням політикою і нарахуванням плати (PCC). Ці рішення можуть ґрунтуватися на даних з різних джерел, в тому числі:

- на конфігурації оператора в PCRF, яка визначає політику, яка застосовується до даних послуг;
- на інформації про контракт даного користувача, отриманої зі сховищ профілів абонентів (SPR);
- на інформації про послуги, що отримуються від функції програми (AF);
- на інформації з мережі доступу про використовувану технологію доступу і т. Д.

Контрольна точка вимірювання F призначена для моніторингу радіоінтерфейсу між PCRF і функцією управління сеансом проксі-виклику (P-CSCF) домену IMS. Вона рекомендується для цілей обліку, моніторингу та діагностики показників доступності, безперервності, швидкості і ступеня використання послуг.

Ця група контрольних точок вимірювання відповідає шлюзів середовища (GW). GW - це важливі місця для отримання конкретної інформації про оцінку стану базової мережі (втрати IP-пакетів, затримки і тремтіння), кодека в базовій мережі, транскодування та використання TrFO. Це контрольні точки, що представляють інтерес для цілей моніторингу та діагностики щодо таких показників, як точність обслуговування і робочі характеристики мережі.

GW різного типу підтримують належний моніторинг медіапотоків (RTP) не тільки для взаємодії служб між EPC і іншими мережами:

- G1 - MGW IMS - це GW, що використовується для закріплення медіаканалів між двома користувачами VoLTE, а також в разі SRVCC (НО від VoLTE до CS мобільного зв'язку) або взаємодії VoLTE з CS мобільного зв'язку попереднього покоління. Цей шлюз також забезпечує функціональність взаємодії між VoLTE і користувачами фіксованої мережі VoIP (з перекодуванням AMR/AMR-WB - ITU-T G.711).

- G2 - MGW КТМЗП - це місце, де можна проводити моніторинг, облік і діагностику (робочих характеристик мережі) для вихідних IP-потоків (з IP в КТМЗП). Це також те місце, де виконується ехоподавлення сигналів, що виходять

з КТМЗП (що найцікавіше);

- G3 - шлюз транкінга (TrGW) при взаємодії з іншим оператором IP-домену.

Контрольні точки Н1, Н2, Н3 і Н4 вимірювання всередині платформ IMS. Інформація моніторингу, яку можна тут збирати, пов'язана з трафіком сигналізації. Дані зондів, які можна розгорнути з боку платформи, повинні доповнюватися інформацією, отриманою від CDR і лічильників. Інформація моніторингу, зібрана в відповідних точках вимірювання, відноситься до готовності, безперервності і ступеня використання послуг. Залежно від послуг (голосова пошта, конференц-зв'язок і т. Д.) Контроль точності і робочих характеристик мережі також може представляти інтерес для виявлення проблем чутності.

Замість єдиної точки рекомендується розділити введення параметрів на різних рівнях:

- Н1 - розташована в інтерфейсі між EPC (PDN GW) і IMS (P-CSCF). Ця точка охоплює пасивний моніторинг інтерфейсу Gm - першого інтерфейсу, в якому централізована нетуннелірована SIP-сигналізація, яка надходить від усіх користувачів в мережі;

- Н2 - глобальна точка моніторингу, розташована на платформі IMS (що включає щонайменше такі елементи, як I- і S-CSCF, AS і SCC-AS), яка ідеально підходить для обліку використання послуг, оскільки аналіз буде статистично дуже достовірним. Дані моніторингу, зібрані в цій точці, зосереджені на лічильниках виконання і даних про нарахування плати. Оскільки найбільш підходящий елемент платформи для збору статистики може залежати від показника, в визначеннях показників повинна бути зазначена докладна інформація про інтерфейс збору даних;

- Н3 - точка вимірювання (на сервері викликів/MGCF) може використовуватися для вичерпного аналізу протоколу сигналізації, пов'язаного з усіма викликами, що виходять в мережу КТМЗП, оскільки сервер з'єднань задіяний у всіх операціях узгодження виклику. У цій точці вимірюються показники готовності послуг (і інші показники з меншим пріоритетом, які стосуються безперервності і принцип роботи даного продукту мережі);

- Н4 - управляє IBCF, де виконується з'єднання між двома доменами операторів (включаючи запис даних про нарахування плати). Тут можна відстежувати інформацію сигналізації SIP по міжмережному з'єднанню.

Точка вимірювання J - це аналог точки A для мережі з комутацією каналів. Тут можна виміряти ті ж показники в тих же цілях (за винятком робочих характеристик радіомережі) і з тієї ж стратегією вибірки.

Комутація каналів в даному випадку означає всі можливі інтерфейси: КТМЗП, 2G/3G PLMN, а також фіксований VoIP-доступ через порт FXS DSL-маршрутизатора.

Облік дає загальне уявлення про значення послуги QoS, можливо в порівняльній перспективі (між країнами або з вітчизняними конкурентами), і про його зміну з часом (поздовжнє уявлення). Він також дозволяє визначити категорії клієнтів, які отримують послуги погіршеної якості.

Фактично дані для цілей обліку можуть забезпечувати всі точки вимірювання. Для цієї мети можуть бути корисні навіть не повністю репрезентативні дані, наприклад зібрані методом інтрузивних вимірювань.

На основі таких вимірювань можуть бути побудовані такі інформаційні панелі:

- загальне уявлення про використання послуг (кількість клієнтів, кількість викликів, тривалість з'єднань, коефіцієнт відтоку);
- характеристики сервісних платформ і мережевого устаткування (доступність послуг і безперервність обслуговування);
- лічильники QoS (готовність, PDD, середня експертна оцінка (MOS), безперервність з'єднань).

Дані моніторингу можуть забезпечувати всі точки вимірювання, здатні дати уявлення про наскрізному значенні QoS або про внесок ділянки мережі в це значення. Моніторинг гарячого режиму (з попереджувальною сигналізацією) забезпечує інформацію в режимі реального часу, пов'язану з погіршенням якості обслуговування, впливає на велику кількість клієнтів.

Діагностика забезпечує додаткову інформацію за допомогою:

- глибокого аналізу клієнтів або доступу нижче порога в спробі встановити причини проблем і проаналізувати дані з різних джерел (CDR, зонди), зібрані під час прояву проблеми;
- дистанційного тестування/перевірки конфігурації, включаючи трасування і аналіз в основних вузлах мережі;
- дослідження на місці, включаючи трасування в приміщенні клієнта або в мережі доступу.

Незважаючи на те, що VoLTE заснована на нових мережевих технологіях,

вона залишається службою телефонії, використання якої підпорядковується всім вимогам, що пред'являються кінцевими користувачами, зокрема щодо QoS. Тому положення, що вже містяться в існуючих Рекомендаціях МСЕ-Т, що стосуються вимірювання та оцінки сприйманого якості послуг голосового зв'язку, в більшості випадків також відносяться і до VoLTE[35].

Існує два підходи до оцінки якості наскрізної передачі голосу.

– Параметричні інструменти використовують хорошу кореляцію між технічною інформацією про з'єднання і відповідною якістю наскрізної передачі, більш прийнятною кінцевими користувачами, для отримання щодо точної оцінки при низькій вартості реалізації. Такий інструмент можна передбачити в прикордонних точках, близьких до кінцевих користувачів, для кращого прогнозування індивідуальної якості зв'язку або всередині мережі для гарної оцінки загального впливу робочих характеристик мережі на якість наскрізної передачі. В [ITU-T P.564][34] описаний загальний клас параметричних моделей прогнозування якості передачі голосу, які забезпечують високомасштабовану оцінку якості з використанням інформації заголовка пакетів IP/UDP/RTP. Крім того, в [ITU-T P.564][34] наведено критерії ефективності моделей цього типу, які працюють з вузькосмуговою передачею мови.

Ще один тип параметричних інструментів – E-модель, описана в [ITU-T G.107][32], яка широко використовується як інструмент диспетчеризації передачі. Більшість факторів, присутніх в моделі (тепер вона адаптована для IP-передачі та WB- телефонії, см. [ITU-T G.107.1][33]), застосовні до VoLTE.

– Сигнальні моделі набагато складніше параметричних інструментів, оскільки вони вимагають введення і аналізу мовного сигналу. Тому вони в основному використовуються в ракурсі точка для дуже точного вимірювання якості наскрізної передачі голосу в даний момент часу і в певному місці (і головним чином для даної служби з даними кінцевим пристроєм). Кілька таких інструментів розробив МСЕ-Т: в [ITU-T P.862][29] і [ITU-T P.863][30] описані моделі с повним еталоном, а в [ITU-T P.563][31] - одностороння реалізація (обмежена вузькосмугова телефонія).

3 СИСТЕМА ЯКОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРАФІКУ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

3.1 Методи управління трафіком Інтернет речей

З поширенням на ринку ряду постачальників послуг, що базуються на Інтернеті речей, було б важко вибрати відповідну послугу Інтернету речей відповідно до вимог серед величезного пулу доступних послуг, що мають подібні можливості.

Параметри якості обслуговування (QoS), що визначають послугу, можуть бути використані для відповідного вибору. Розглядається IoT як склад трьох можливих компонентів: речей, об'єкта інфокомунікацій та обчислювальної сутності, а контроль трафіку IoT може включати параметри QoS для кожного з цих компонентів.

Більшість додатків IoT мають велику кількість різномірних пристроїв у формі датчиків і виконавчих механізмів, з різницею в обробці, зберіганні, потужності та функціональності. Потім ці відмінності генерують велику кількість різномірного трафіку, що призводить до складних проблем у якості обслуговування (QoS), розподілі ресурсів та конфігурації мережі.

Поточне управління мережею вже вирішує проблеми, які створює перевантаження трафіку, і вже існують рішення для управління мережею, спрямовані на контроль мережевих ресурсів та пріоритет трафіку [10]. Ці можливості зазвичай називають якістю обслуговування мережі (QoS). Метою QoS є ефективніший контроль використання мережевих ресурсів та забезпечення необхідних рівнів якості обслуговування, використовуючи такі характеристики мережі, як пропускна здатність, затримка, джиттер та надійність.

Крім того, додатки в мережі можуть також додавати спеціальні можливості QoS для гарантій SLA додатків або контролю витрат. Те, як програми використовують дані, та їх характеристики можуть краще визначити моделі QoS, наприклад, у потоковому відео, де буферизація та якість зображення змінюються відповідно до поведінки користувача та якості мережі.

Хмарні обчислення та Fog Computing намагаються пом'якшити вплив масивного IoT-трафіку на мережі та пристрої та обробку даних. Використання Fog Computing, що працює на краях мережі, дозволяє мінімізувати навантаження на всю мережу, обслуговуючи вже попередньо оброблені та агреговані дані IoT. Це

дозволяє програмам використовувати географічний розподіл точок даних IoT, щоб тримати транспортний потік ближче до споживачів. Програми IoT можуть скористатися цими механізмами, щоб створити більш відповідне управління QoS. Однак, оскільки додатки та пристрої IoT поширюються географічно і збільшуються в кількості, агрегування даних та попередня обробка в Fog недостатня для компенсації значного збільшення трафіку IoT у мережі. Чисте зменшення трафіку IoT за допомогою агрегування та попередньої обробки також автоматично покращує QoS для масивних даних IoT[11].

Використання даних IoT та характеристик трафіку важливо для створення стратегій QoS, які краще обслуговують програми IoT. Знання того, як пристрої IoT передають дані та як програми споживають ці дані, полегшує правильне застосування QoS.

Структура PSIoT- Orch architecture (Publish/Subscribe, Quality of Service, Software) - це система управління QoS для управління трафіком Інтернету речей, які об'єднані у схожі шлюзи IoT по краю мережної інфраструктури. У цьому рішенні агрегатори дозволяють управляти QoS IoT на межі мережі, включеної в загальномережеві специфікації, область застосування та характеристики IoT.

Структура PSIoT-SDN (Software-Defined Networking) розширюється на звичайній операційній системі управління QoS, використовуючи програмованість мережі SDN у поєднанні з моделлю розподілу смуги пропускання – BAM (Bandwidth Allocation Model) LTE-A.

Можна оцінювати вдосконалення QoS при інтеграції фреймворку з мережевим менеджером SDN і те, як це позитивно впливає на QoS трафіку IoT через мережу LTE-A. Як такий внесок у структуру PSIoT-SDN полягатиме в інтеграції підходу QoS на межі мережі LTE-A зі стратегією розподілу пропускну здатності мережі на основі моделей BAM, яка контролюється SDN.

Можливості структуру PSIoT-SDN та методи управління трафіком IoT, а також те, як вона поєднується з SDN, щоб запропонувати розширені можливості QoS для трафіку IoT (рис.3.1).

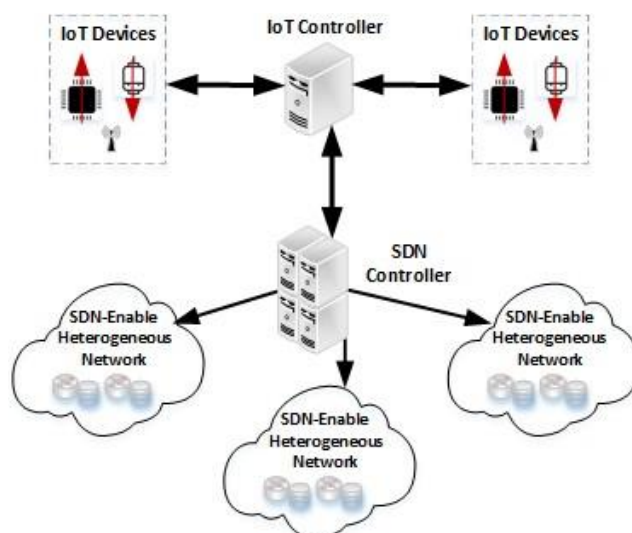


Рисунок 3.1 – Структура управління SDN трафіком IoT LTE-A

Управління IoT LTE-A на основі SDN дозволяє краще контролювати маршрутизацію трафіку та конфігурацію мереж IoT та LTE-A, дозволяючи мережам легше реагувати на потреби мережевого трафіку. Можливості динамічної конфігурації мереж SDN чудово поєднуються з неоднорідністю трафіку IoT, що дозволяє мережі краще маршрутувати IoT трафік та управляти його впливом на всю мережу[38].

Інтеграція фреймворків IoT із SDN забезпечує більший контроль над трафіком IoT LTE-A. На рисунку 3.1 представлений вигляд на високому рівні типової архітектури інтеграції IoT-SDN.

Фреймворк PSIoT-Orch складається з 3 основних компонентів:

- Оркестратор трафіку;
- Хмароподібні агрегатори даних шлюзу IoT (IoTGW-Ag), що виконують функції видавців Pub / Sub;
- Клієнти Pub / Sub, будь то додатки для кінцевих користувачів або центри обробки хмарних технологій.

Спілкування відбувається шляхом обміну повідомленнями через мережу з централізованим оркестратором, кількома клієнтами та виробниками.

На рисунку 3.2 показано, як компоненти розподіляються в мережі.

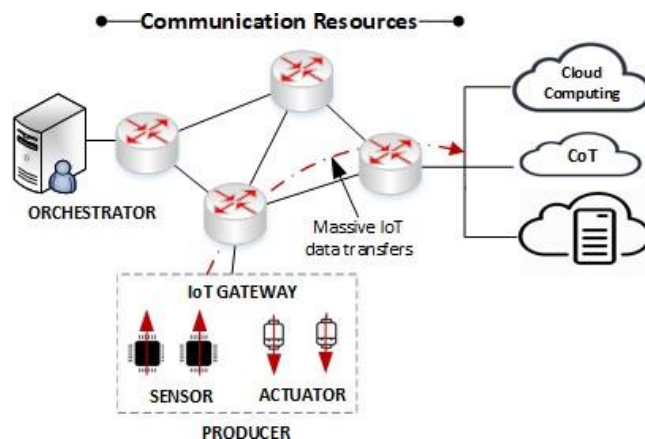


Рисунок 3.2 - Основні компоненти фреймворку PSIoT-Orch

IoTGW-Ag - це схожі на хмарні вузли, які виконують роль агрегаторів даних IoT та виробників Pub/Sub. Ці вузли можуть приймати інші обов'язки, пов'язані з IoT, такі як попередня обробка даних, резервне копіювання або кешування. Кожен IoTGW-Ag підключається до оркестратора PSIoT, який управляє передачею трафіку від багатьох агрегаторів у мережі. Організатор може використовувати свій контроль над кожним IoTGW-Ag в мережі для управління потоком IoT-трафіку.

Рисунок 3.2 ілюструє, як фреймворк розміщений у мережі може використовувати потік даних IoT, управляючи обмеженнями потоку трафіку на кожному IoTGW-Ag в мережі, згідно з даними IoT характеристиками.

Організатор Pub/Sub має знання про кожну підписку на IoTGW-Ag, а також рівні QoS, необхідні для кожної підписки на теми. Це дозволяє йому визначати швидкість передачі IoT дані від кожного агрегатора в мережі, щоб максимізувати пропускну здатність підписок QoS вищого рівня [10].

Фреймворк PSIoT-Orch покладається на часову чутливість трафіку IoT для визначення його рівня QoS. Хоча управління швидкістю передачі агрегаторів не збільшує загальну пропускну здатність трафіку IoT, воно робить це для більш пріоритетних підписок на теми IoT. Дані IoT із вищим пріоритетом можуть передаватися швидше порівняно із загальним завантаженням трафіку IoT в мережі.

Підводячи підсумок, QoS управляє PSIoT-Orch в агрегаторах від імені трафіку IoT, управляє трафіком в чергах за допомогою оркестратора (рис. 3.3).

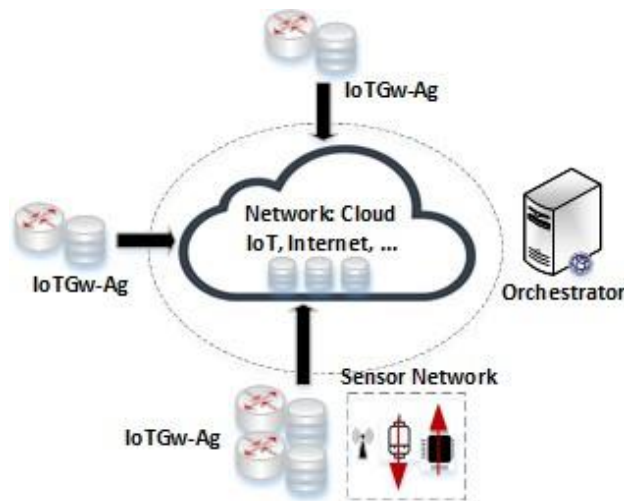


Рисунок 3.3 - Архітектурні компоненти PSIoT-Orch: Агрегатори оркестру та IoT

В архітектурі PSIoT-Orch забезпечення рівня якості QoS підтримується лише на рівні межі в агрегаторах. Цей підхід підходить для будь-якої мережевої інфраструктури, включаючи Інтернет та LTE-A.

3.2 Моделі управління параметрами якістю QoS на основі SDN

Фреймворк PSIoT-SDN вводить контроль якості QoS на мережевому рівні в фреймворк PSIoT. Метою є досягнення управління QoS як на рівні межі, так і на рівні мережі, використовуючи можливості управління QoS на агрегаторах, що надаються організатором PSIoT, та запровадити стратегію розподілу пропускної здатності мережних взаємодій на основі SDN[34]. Для цього управління SDN поєднується з підходом до розподілу смуги пропускання та для розподілу ресурсів мережевих посилань.

В архітектурі PSIoT-SDN передбачається, що, по-перше, трафік IoT неоднорідний по відношенню до нього вимог QoS і присутній у кількох локаціях мережі. З цих високо розподілених місць трафік IoT повинен переходити від датчиків IoT до агрегаторів, а звідти за допомогою контрольованої мережі до своїх споживачів.

Компоненти архітектури PSIoT-SDN показані на рисунку 3.4.

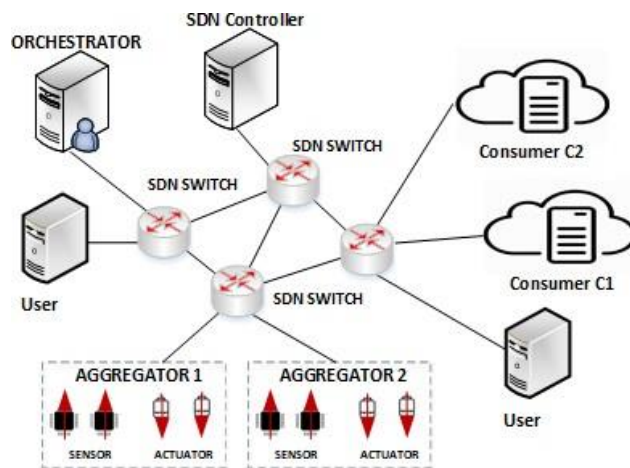


Рисунок 3.4 - Компоненти архітектури PSIoT-SDN

Ці фактори роблять так, що пошук спільної ієрархії потреб QoS для трафіку IoT є складнішим і зазвичай призводить до адаптації вимог QoS відповідно до можливостей локальних пристроїв та мережевих ресурсів.

По суті, в архітектурі введено контролер SDN, що дозволяє програмувати потоки IoT на комутаторах, розгорнутих у мережі.

В архітектурі PSIoT-SDN передбачається, що, по-перше, трафік IoT неоднорідний по відношенню до його вимог QoS і присутній у кількох локаціях мережі. З цих високо розподілених місць трафік IoT повинен переходити від датчиків IoT до агрегаторів, а звідти за допомогою контрольованої мережі до своїх споживачів. Ці фактори роблять так, що пошук спільної ієрархії потреб QoS для трафіку IoT є складнішим і зазвичай призводить до адаптації вимог QoS відповідно до можливостей локальних пристроїв та мережевих ресурсів.

Фреймворк PSIoT-SDN створений для роботи поверх управляючої мережі, яку він може програмувати безпосередньо. Передбачається, що фреймворк має прямий контроль над ресурсами мережевих каналів або рішеннями про маршрутизацію з використанням розгорнутого інтерфейсу SDN. Це робить так, що управління QoS IoT фактично має два компоненти:

- Управління трафіком QoS IoT, що забезпечується контролем всіх виробників даних IoT в чергах IoTGW-Ag;
- Управління ресурсами зв'язку за допомогою регулювання пропускну здатності між мережевими комутаторами по всьому шляху між агрегаторами та споживачами, що використовують SDN.

SDN забезпечує динамічну конфігурацію мережі, маршрутизацію та QoS в мережах, і може розглядатися як союзник при роботі з трафіком IoT. Інтеграція

мережевого управління з підтримкою SDN у системи IoT може допомогти точніше налаштуватись та виконати вимоги QoS IoT.

Інтеграція управління мережею SDN в рамках PSIoT-SDN дає можливість покращеного QoS з кращими гарантіями пакетного QoS завдяки тому, що пропускна здатність каналів буде ефективно розподілятися серед користувачів мережі.

Функціональні блоки контролера SDN проілюстровані на рисунку 3.5:

- Інтерфейс з оркестратором PSIoT;
- МAM-подібний модуль розподілу смуги пропускання (МAM - модель максимального розподілу);
- Інтерфейс мережевого програмування SDN / OpenFlow.

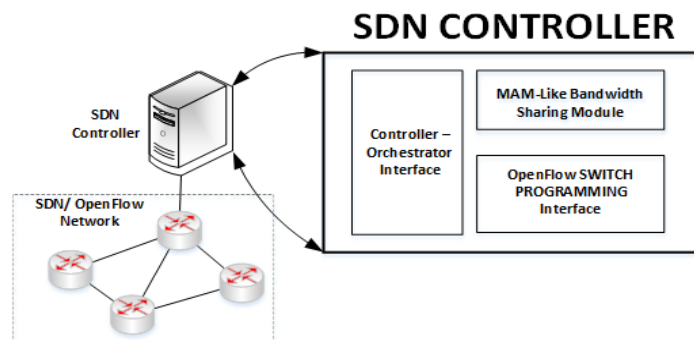


Рисунок 3.5 - Модулі контролера SDN

Інтерфейс контролера SDN взаємодіє з організатором PSIoT і відповідає за інтерпретацію надходять команд від організатора, що вимагає встановлення шляхів зв'язку між агрегаторами IoT (виробниками) та споживачами IoT.

МAM-подібний модуль - це схема розподілу пропускної здатності, яка використовує стратегію розподілу смуги пропускання, визначену для моделі МAM. Поділ пропускної здатності - це часто вживана концепція, досліджувана в моделях розподілу пропускної здатності (BAM), яка розподіляє та ефективно управляє обмеженими мережевими ресурсами [10]. Модуль, подібний до МAM, в основному відстежує використовувану пропускну здатність для всіх посилок на шляху між виробником IoT та споживачем IoT[39].

Модель МAM/ВAM передбачає, що пропускна здатність лінії зв'язку ділиться без будь-якого спільного використання між набором класів трафіку [21]. Для кожного класу трафіку -TC (Traffic Class) виділяється зріз смуги пропускання, а користувачам мережі виділяється і дозволяється використовувати

лише смугу пропускання, виділену для його класу. Цей ліміт є обмеженням пропускної спроможності - BC (Bandwidth Constraint).

У рамках PSIoT-SDN класи трафіку та обмеження пропускної здатності були визначені та налаштовані наступним чином:

Клас трафіку 0 (TC0) підтримує весь мережевий трафік з низьким пріоритетом, в тому числі від IoT;

Клас трафіку 1 (TC1) підтримує певний трафік середнього пріоритету, не пов'язаний з IoT;

Клас трафіку 2 (TC2) підтримує трафік з високим пріоритетом, крім IoT, через мережу.

Пропускна здатність, виділена для кожного класу трафіку, є рішенням управління, налаштованим як BC0, BC1 і BC2.

Інтерфейс програмування мережі контролера SDN налаштовує комутатори для встановлення шляхів для IoT-трафіку по мережі. Шляхи між виробниками та споживачами попередньо обчислюються з використанням будь-якого алгоритму маршрутизації.

Потік роботи контролера SDN проілюстрований на рисунку 3.6.

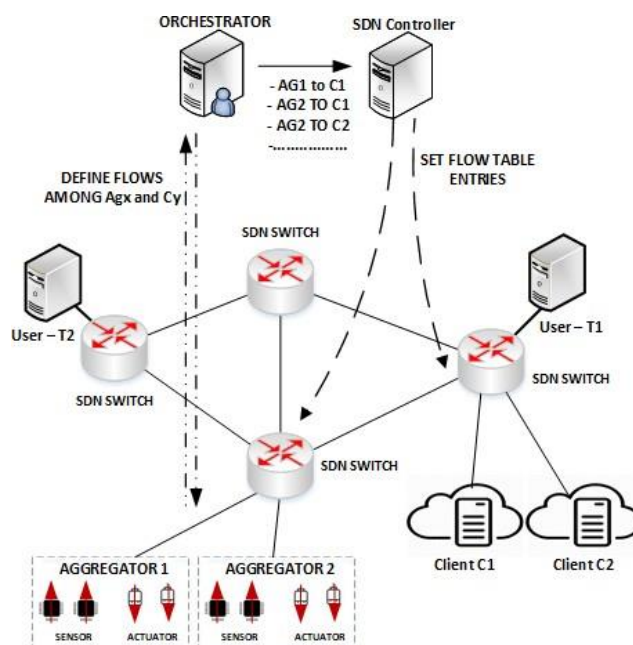


Рисунок 3.6 - Робота контролера SDN

Контролер SDN використовує ці обчислювані шляхи для конфігурації таблиць потоків перемикачів по шляху. Він контролює використання пропускної здатності мережі та розподіл пропускної здатності класу IoT на рівні мережі. У

міру зміни трафіку контролер може виділити додаткову пропускну здатність для IoT-трафіку, переназначивши TC потоків IoT-трафіку до TC з доступною пропускну здатністю у посланнях. Це робиться за допомогою PSIoT-Orch, що передає згруповані потоки трафіку у вигляді пар вихідних пунктів призначення до модуля, подібного до MAM, на контролері SDN.

Це дозволяє зростаючому на вимогу трафіку IoT підтримувати відповідну пропускну здатність, дозволяючи PSIoT-SDN використовувати додаткову пропускну здатність, виділену контролером, для збільшення швидкості передачі даних IoT відповідно до вимог QoS.

3.3 Модель підтримки та контролю параметрів якості QoS агрегованого трафіку

Для дослідження пропонується структурна модель підтримки та контролю параметрів якості QoS агрегованого трафіку Інтернету речей, яка представлена на рисунку 3.7.

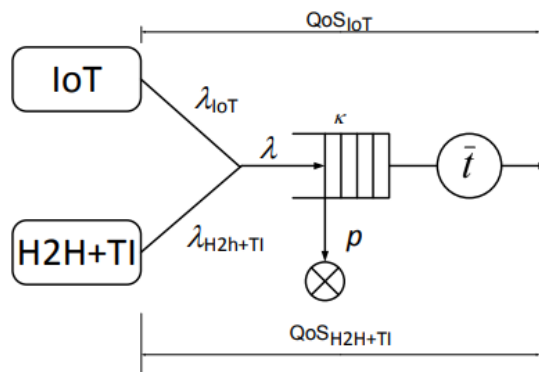


Рисунок 3.7 – Структурна модель підтримки та контролю параметрів якості QoS агрегованого трафіку

В склад моделі контролю трафіку Інтернету речей включені: генератор трафіку IoT для імітації роботи елементів системи, генератор трафіку базових послуг мереж загального користування та трафік - TI, позначений -H2H + TI.

Потоки трафіку подаються на комутаційний вузол, модель якого може бути використана як система масового обслуговування з комбінованої дисципліною обслуговування (з очікуванням і відмовами).

При цьому середній час обслуговування пакета (повідомлення) дорівнює \bar{t} .

Інтенсивність трафіків:

- Інтернету речей λ_{IoT} ,
- H2H λ_{h2h} ,
- інтенсивність агрегованого потоку $\lambda = \lambda_{IoT} + \lambda_{h2h}$.

Допустимо, що з ймовірністю пакети p поступають на вхід системи, в якій всі позиції в черзі зайняті і можуть бути відмови (втрати). На виході системи агрегований потік має сумарну інтенсивність - λ .

Змішаний потік з властивостями на вході системи визначається властивостями обох потоків, тому в цьому випадку, вони можуть відрізнятися як від властивостей трафіку Інтернету речей так і від властивостей традиційного трафіку.

Показники якості обслуговування при функціонуванні системи характеризуються, як ймовірність втрат (відмов) пакетів (повідомлень) та затримка доставки пакетів (час очікування в черзі і час обслуговування).

Вимоги до значень показників якості обслуговування мають специфічні послуги, які формують трафік в інфраструктурі фіксованих та мобільних мереж. Представляє суттєвий інтерес властивості обслугованого трафіку, де на них можуть впливати методи обробки пакетів (повідомлень) та участь інших мережевих елементів на виході системи також.

В процесі дослідження взаємодія розглянутих потоків трафіку можна проводити аналіз, розрахунки та оцінювати показники якості підтримки потоків змішаного трафіку IoT і H2H.

Модель системи масового обслуговування, яка запропонована та описана вище, розглянута як система G/G/1/k. Точні аналітичні моделі в даному випадку для системи відсутні, що дозволяє оцінити ймовірність втрат пакетів і затримки доставки (часу очікування в черзі).

Для аналізу та оцінки ймовірності втрат, наприклад, в роботі [13] в подібній системі при встановлених параметрах розподілів, які характеризують трафік на вході та процес підтримки пакетів, може ефективно реалізовуватися метод дифузійної апроксимації з виразом наближеної оцінки:

$$p = \frac{1-p}{\frac{2}{C_a^2 + C_s^2} + 1} \rho^{\frac{2}{C_a^2 + C_s^2} n_b}, \quad (3.1)$$

де C_a^2 і C_s^2 – квадратичні коефіцієнти варіації розподілів вхідного потоку і часу обслуговування, відповідно,

nb – розмір буфера,

ρ – завантаження системи.

Наближена оцінка середнього часу доставки пакета може бути отримана за допомогою [16]:

$$T = \frac{\rho \bar{t}}{2(1-\rho)} \left(\frac{\sigma_a^2 + \sigma_s^2}{\bar{t}} \right) \left(\frac{\bar{t}^2 + \sigma_s^2}{a^2 + \sigma_s^2} \right) + \bar{t}, \quad (3.2)$$

де σ_a^2 , σ_s^2 – значення дисперсії інтервалу часу між пакетами і часу обслуговування,

\bar{a} – середнє значення інтервалу між пакетами,

\bar{t} – середній час обслуговування.

При цьому має сенс досліджувати можливість застосування наведених вище наближених рішень для аналізу та оцінки якості обслуговування агрегованого потоку трафіку в умовах роздільної оцінки якості обслуговування змішаного трафіка H2H і трафіка IoT.

Допустимо, що потік фонового трафіка - людина-людина (H2H) має властивості самоподібного потоку (коефіцієнт Херста $H = 0,7 \dots 0,9$). Умови базуються на фактах, що більшість потоку трафіка, наприклад, в мережах мобільного зв'язку становить передача відео.

Передача відео сучасними терміналами мобільних станцій породжує самоподібний (пачковий) трафік.

Можна допустити про те, що трафік M2M є детермінований потік, який визначається як процес періодичної відправки даних системи моніторингу та сканування[22]. M2M трафік в таких випадках створюється системами моніторингу і диспетчерського управління – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), які виробляють періодичний опитування стану датчиків.

Імітаційна модель моделювання AnyLogic. Для побудови імітаційної моделі використана система імітаційного моделювання AnyLogic, яка забезпечує дискретні події імітаційні моделі.

Наприклад, для моделювання самоподібного потоку трафіка комутації пакетів для IoT використані: генератор послідовності незалежних подій, інтервали часу між якими випадкові і мають розподіл Парето:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{kx_m^2}{x^{k+1}} & x \geq x_m \\ 0 & x < x_m \end{cases}, \quad (3.3)$$

де x_m и k – параметри розподілу.

Математичне сподівання і дисперсія визначаються згідно:

$$E(x) = \frac{kx}{k-1}, \quad D(x) = \left(\frac{x_m}{k-1}\right)^2 \frac{k}{k-2} \quad (3.4)$$

На рисунку 3.8 представлені приклади реалізації найпростішого ($H = 0,50$) і самоподібного потоку ($H = 0,75$).

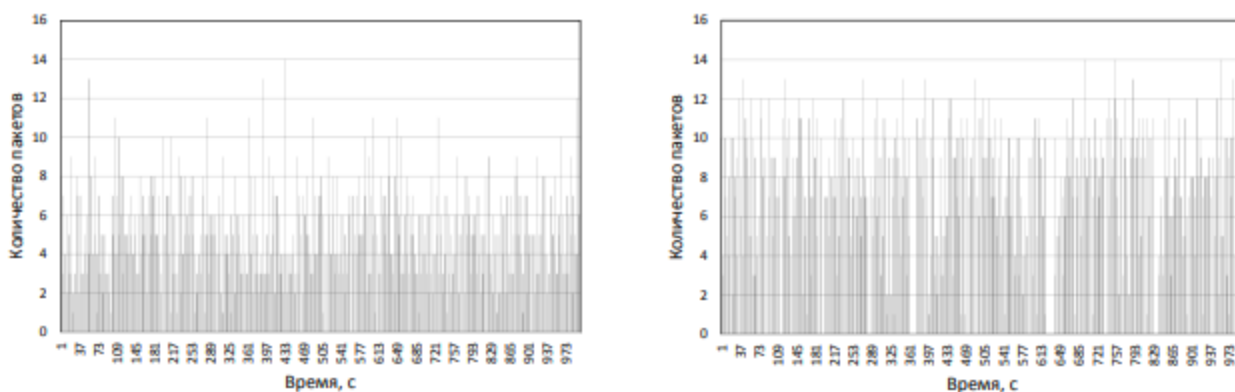


Рисунок 3.8 – Найпростіший і самоподібний потоки

На рисунку 3.9 приведена практична реалізація агрегованого трафіку ($H2H + M2M$) зі значенням коефіцієнта Херста $H = 0,8$, коли детермінований потік являє собою регулярний потік із заданою інтенсивністю пакетів.

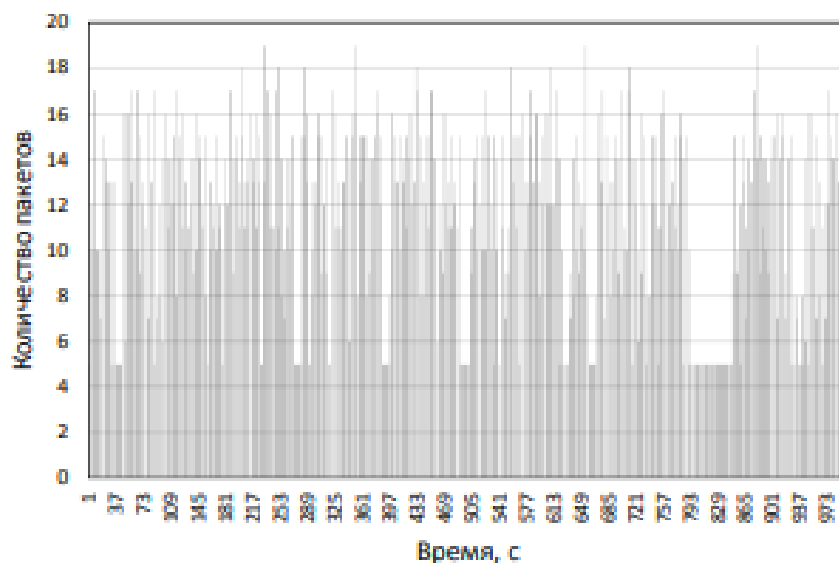


Рисунок 3.9 – Діаграма реалізації агрегованого трафіку ($H = 0,8$)

Оцінка коефіцієнта Херста проводиться методом аналізу зміни дисперсії [23]. Графіки залежностей дисперсії вступника і вихідного потоків від інтервалу агрегування потоку наведені на рисунку 3.10.

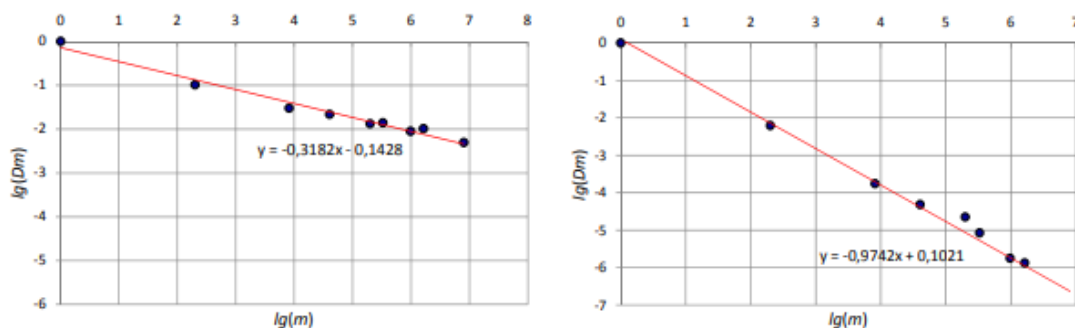


Рисунок 3.10 – Оцінка коефіцієнта Херста для вхідного і обслугованого потоків ($H = 0,80$ і $H = 0,51$, відповідно)

Таким чином, приклад показав, що для високої інтенсивності трафіку (0,9 Ерл) значення коефіцієнта Херста обслугованого потоку залежить від інтенсивності навантаження, при високому значенні якої властивості вихідного потоку визначаються результатами процесу підтримки параметрів якості.

При побудові моделі допустимо, що час обслуговування має відображати час передачі пакета по лінії зв'язку. Час передачі пакета залежить від розміру пакета і швидкості передачі даних в інфраструктурі фіксованих та мобільних

мереж. Якщо остання постійна (таке припущення можна прийняти для фіксованих мереж), то час передачі потоку трафіка визначається тільки розміром пакета, а функція розподілу - довжиною пакета.

Згідно вимог QoS мінімальний і максимальний розміри пакетів – обмежені (16 – 64000 байт). Виходячи з аналізу результатів досить великої кількості вибірових вимірювань, можна зробити висновок, що значна частка пакетів в фіксованих мережах має або відносно малу довжину, або максимальну довжину. Пакети, що мають проміжне значення довжини, становлять значно меншу частку. Для апроксимації розподілу довжини пакета з метою моделювання вибрано бета-розподіл [18]

$$f(x) = \frac{1}{B(u,v)} x^{u-1} (1-x)^{v-1}, \quad (3.5)$$

де u, v – параметри форми,

$B(u, v)$ – бета-функція.

Емпірична гістограма часу обслуговування, отримана при моделюванні приведена на рисунку 3.11.

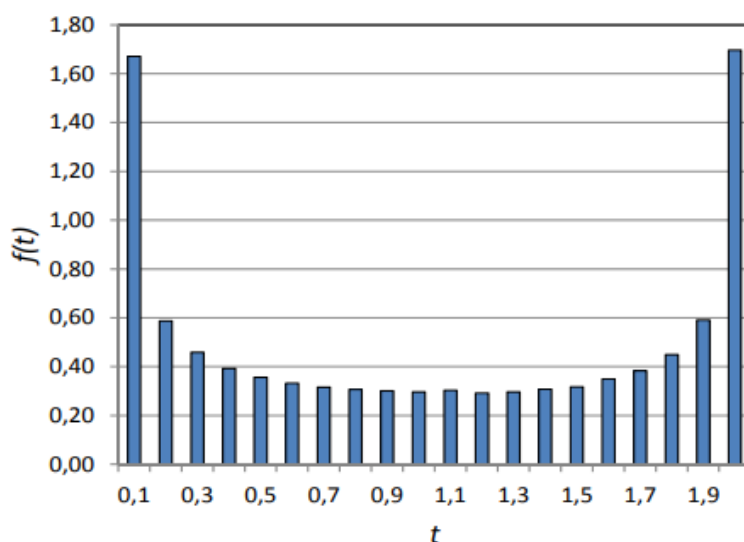


Рисунок 3.11 – Гістограма часу обслуговування

Результати даного розподілу довжини пакета характерно для трафіку Інтернет та послуг IoT.

Різні програми IoT/LTE-A можуть створювати пакети різної довжини, проте в даній моделі можна орієнтуватися на послуги моніторингу та диспетчерського

управління, при реалізації яких в даний час використовуються пакети рівної довжини (необхідної для представлення даних телеметрії). У даній моделі можна допустити, що довжина пакетів IoT/LTE-A - постійна («короткі» пакети) в умовах забезпечення вимог QoS для потокового трафіку (ймовірність втрат (відмов) пакетів (повідомлень) - 10^{-3} , середня затримка доставки пакетів (час очікування в черзі і час обслуговування – 400мс)), кількість помилок в пакетах – 10^{-4} та пропускної здатності ресурсів при швидкості – 200 КБіт/с .

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗШИРЕНОГО LTE-A

4.1 Модель обслуговування даних LTE-Advanced

Наступне покоління та складна мережа LTE-Advanced регулює безліч настанов, що визначають рух, поведінку та мобільність (якщо мобільні вузли мають бути рухомими). Потім мережеві симулятори можуть, використовуючи цю інформацію, створювати випадкові топології на основі положення вузла, параметрів та завдань між вузлами.

В даний час існує безліч мережевих симуляторів, які мають різні функції в різних аспектах. Короткий список поточних мережевих симуляторів включає OPNET, NS-2, NS-3, OMNeT ++, REAL, SSFNet, J-Sim та QualNet. NS-2 є найпопулярнішим серед наукових кіл завдяки своєму відкритому джерелу та великій кількості бібліотек компонентів.

Багато некомерційних організацій вносять великий внесок у бібліотеку компонента, і було доведено, що режим розробки NS2 є дуже успішним [15]. Як вже згадувалося раніше, моделювання на основі NS-2 як модулятора NS-2 є не просто симулятором, але це дискретна подія, спрямована на підтримку досліджень, що стосуються аналізу комунікацій та мереж. Крім того, NS-2 забезпечує середовища для імітації та моделювання багатоадресних протоколів, мережевого трафіка, хэндоверів, інших мережевих ресурсів та умов для безпроводових та проводових каналів.

У данному дослідженні використовувані NS-2 версії 2.34, і ця версія встановлювалася через Windows XP або Cygwin, де Cygwin забезпечує середовище, подібне до Linux під Windows, оскільки NS-2 підтримується лише операційною системою Linux.

Запропонована модель LTE-Advanced у NS-2, яка показана на рис. 4.1 включає один основний сервер для обслуговування даних, як FTP і HTTP, а також для забезпечення вихідного з'єднання для протоколу - SCTP (Stream Control Transmission Protocol).

Маршрутизатори Gateway1 і Gateway2 підключені безпосередньо до сервера за допомогою дуплексних зв'язків з пропускнуою здатністю до 1 Гбіт/с та затримкою розповсюдження 3мсек [14], [23].

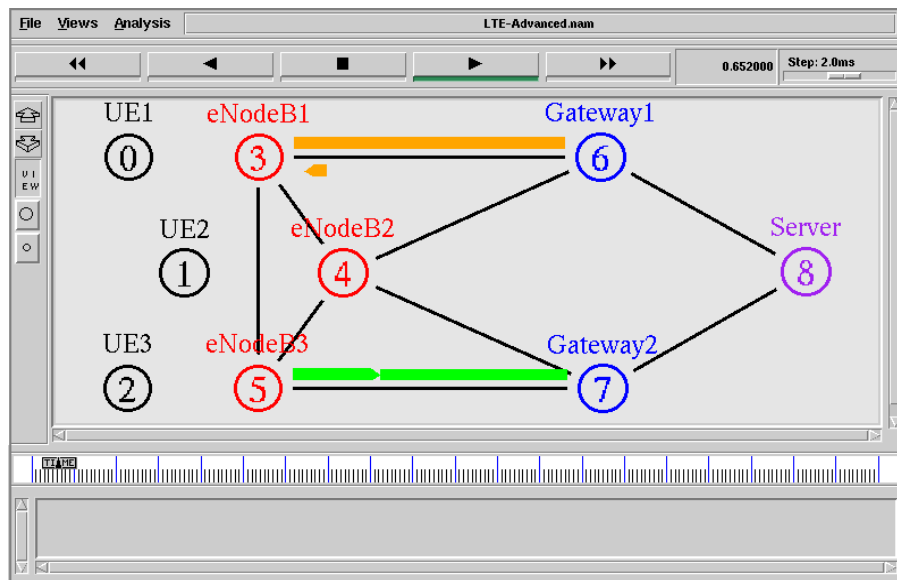


Рисунок 4.1 - Модель обслуговування даних LTE-Advanced у NS-2

Насправді затримка розповсюдження для радіодоступу та мережі за запропонованою моделлю зберігала однакове значення в 3 мсек, що представляє практичну затримку взаємодії посилань та з'єднань у мережах LTE-Advanced.

Функція маршрутизації шлюзу полягає в контролі швидкості поточкових даних з сервера на базові станції eNodeB1, eNodeB2 та eNodeB3. Шлюз в провідному симплексному каналі досягає пропускну здатність - 10 Мбіт/с. Інтерфейс між базовими станціями (X2) дуже важливий у налаштуванні моделі, оскільки взаємозв'язок між eNodeB виявляє сценарій передачі, коли UE переходять з одного eNodeB на інший.

Вузли базової станції відповідають за буферизацію пакетів даних до користувацького обладнання (UE). Кожна базова станція (eNodeB) підключена до смуги відповідного середнього розміру пропускання - X2, який пропонується дорівнювати - 20 Мбіт / с і це представляє розрахунковий та практичний діапазон.

У запропонованій моделі використовуються 3 UE з безпроводовими функціями і кожне UE, з'єднане з eNodeB. eNodeB вузли (1-3) та UE (1-3) не мають повноцінних функцій мобільності, оскільки уникають сценарію хендовера в цій моделі, де це представляє кожний наступний крок. Інші основні параметри запропонованої моделі LTE-Advanced зазначають, що вся лінія зберігається для однієї затримки розповсюдження - 3 мсек, а максимальний розмір пакета SCTP встановлений - 1500 байт, з мінімальним розміром вікна 128 пакетів зі швидкістю 200КБіт/сек.

Остаточна модель перевірена на простих експериментах для оцінки моделі. Ці експерименти засновані на використанні TCP Reno, TCP Vegas, TCP Tahoe та SCTP для порівняння поведінки вікна перевантаження, пропускної здатності та втрат пакетів для кожного протоколу. TCP Vegas покращує алгоритм запобігання заторам TCP Reno. По суті, TCP Vegas динамічно збільшує/зменшує розмір вікна відправлення відповідно до спостережуваних RTT (Round Trip Times) відправляючих пакетів, тоді як TCP Tahoe/Reno продовжує збільшувати розмір свого вікна, доки не буде виявлено втрату пакетів. За допомогою моделювання та реалізації експериментів TCP Vegas може отримати навіть на 40% більшу пропускну здатність, ніж TCP Reno.

Розглянуто ситуації, коли декілька з'єднань TCP Reno та Vegas поділяють вузьке місце, і досліджується справедливість між двома версіями TCP, щоб шукати можливість майбутнього розгортання TCP Vegas. Одним з важливих моментів, який необхідно взяти до уваги, є основна мережа, яку приймає TCP Vegas. TCP Vegas може бути, а може і не бути ефективним, навіть якщо маршрутизатор обладнаний ЧЕРВОНИМ механізмом. Тому в дослідженні розглянуто два механізми планування пакетів - червоний маршрутизатор, а також звичайний маршрутизатор із зворотним потоком.

Результати аналізу показують, що пропускну здатність TCP Reno та Vegas у такій ситуації, при тому, що TCP Vegas не може отримати хорошу пропускну здатність при спільному використанні зв'язку з TCP Reno. Точність аналізу підтверджується порівнянням результатів моделювання. За допомогою результатів аналізу та моделювання показано справедливість між TCP Reno та Vegas.

TCP Vegas отримує значну низьку та несправедливу пропускну здатність у порівнянні з TCP Reno, коли маршрутизатор використовує маршрутизатор із зворотним зв'язком. З іншого боку, коли застосовується ЧЕРВОНИЙ алгоритм, справедливість може бути певною мірою покращена, але все ще існує неминучий компроміс між справедливістю та пропускну здатністю. Тобто, якщо встановлено, що ймовірність випадіння пакетів RED є великою, пропускну здатність TCP Vegas можна покращити, але загальна пропускну здатність погіршується.

Таким чином, TCP Vegas виключно може отримати більш високу продуктивність, ніж TCP Reno, і він має хорошу особливість мати зворотну сумісність із старими версіями TCP.

В даному випадку розмір вікна встановлений на 20 пакетів і короткий період моделювання протягом 8 секунд.

Рисунок 4.2 демонструє порівняння пропускної здатності між варіантами SCTP та TCP з ймовірністю втрати пакетів $P(t) = 10^{-8}$.

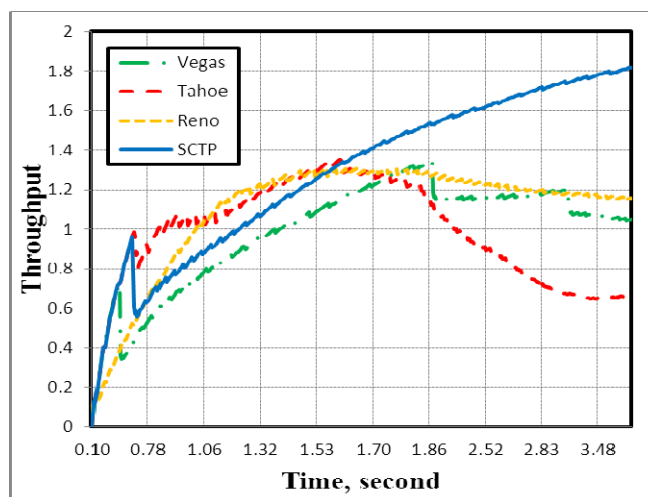


Рисунок 4.2 – Графіки порівняння пропускної здатності для TCP-Reno, TCP-Vegas, TCP-Tahoe та SCTP

Розумний рівень зниження пакетів для Vegas завдяки техніці, що використовується в контролі заторів, тоді як в інших протоколах (SCTP, Tahoe та Reno) фаза запобігання перевантаженню базується на виявленні до першого пакету, який падає, щоб виявити, якщо трапився затор, де які призводять до великої кількості посліду лише для виявлення точки перевантаження мережевого шляху.

TCP-Tahoe не може забезпечити високу продуктивність, оскільки все ще представляє звичайну версію TCP, тоді як TCP-Vegas використовує нову схему контролю заторів, порівнюючи фактичний розмір вікна з очікуваним розміром, щоб забезпечити стабільну поведінку та низький рівень скидання пакетів, як показано на рисунку 4.3.

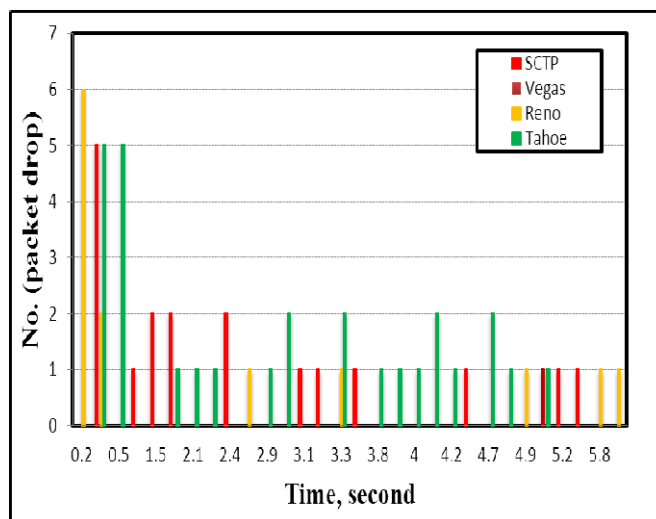


Рисунок 4.3 - Порівняння падінь пакетів для TCP Reno, TCP Vegas, TCP Tahoe та Sctp

4.2 Аналіз параметрів якості взаємодії вузькосмугового Інтернету речей (NB-IoT) та систем LTE-A

Для ефективного та якісного використання ресурсу спектра пристроями NB-IoT можна призначити три різні режими роботи, як показано на рис. 4.4-4.6.

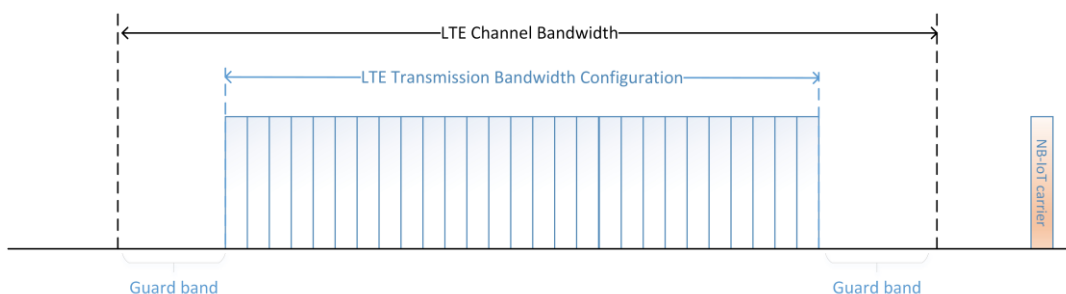


Рисунок 4.4 - Режим роботи NB-IoT Автономна робота

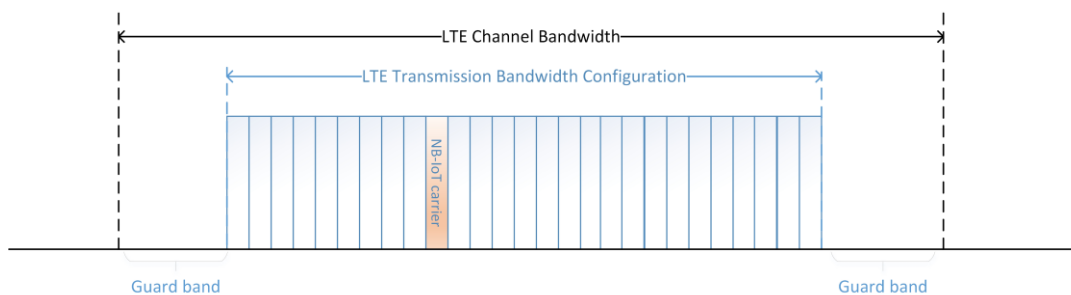


Рисунок 4.5 - Режим роботи NB-IoT Діапазонна робота

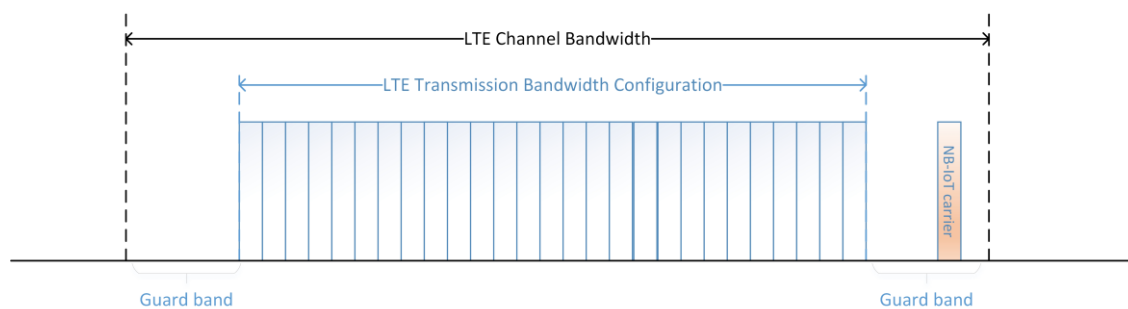


Рисунок 4.6 - Режими роботи NB-IoT Діяльність смуги охорони

Окремий режим роботи на рис. 4.4 також використовує спектр, виділений в даний час для систем GSM. як деякий розсіяний спектр для потенційного розгортання IoT.

Внутрішньосмуговий режим роботи, показаний на рис. 4.5, використовує блоки ресурсів (RB) в межах несучих LTE. Режим роботи смуги на рис. 4.6 використовує RB в охоронній смузі несучих LTE [18].

Останні два режими роботи дозволяють повторно використовувати базові станції LTE (BS), лише оновлюючи їх програмне забезпечення. Однак, оскільки пристрої NB-IoT мають набагато нижчу частоту дискретизації, ніж LTE-A BS, заради низької вартості, повторне використання радіочастоти LTE-A BS (РЧ) (наприклад, аналого-цифровий перетворювач та ВЧ-фільтр) та базової смуги (наприклад, дискретна).

Ланцюг обробки перетворення Фур'є може зруйнувати ортогональність несучої системи мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM), а отже, може призвести до втрати широко використовуваних алгоритмів (наприклад, вирівнювання та оцінка каналів) та методу аналізу продуктивності.

Через різницю в конфігурації фізичного рівня між ресурсними блоками NB-IoT та LTE-A, в режимах діапазону та смуги захисту, ортогональна система руйнується і, таким чином, викликає перешкоди серед піднесучих.

Ефективність взаємодії між LTE-A та NB-IoT була досліджена в 3GPP за допомогою великих моделювань системного рівня [24], і дослідження показує доцільність механізму NB-IoT в діапазоні та в смузі захисту.

Звісно, що NB-IoT зосереджені наприклад, на плануванні [19] та дизайні структури кадру [20]. Дослідження показують, що взаємодії між різними зрізами (тобто службами з різними конфігураціями мережі) базуються на концепції мультисервісу, який може вмістити послуги з різними конфігураціями RF і базової смуги.

Для LTE та NB-IoT розглядаються різні частоти дискретизації, але однакова довжина символу. З таким припущенням, квадратна хвиля робочого циклу сигналу NB-IoT становить 100%.

Це може спричинити трикратні проблеми:

1) Надмірно довгий зразок - тривалість може призвести до енергоефективності, що суперечить початковому наміру проектувати пристрої з низьким енергоспоживанням NB-IoT.

2) Тривалість вибірки NB-IoT повинна бути дуже точною, щоб підтримувати узгодженість із системою LTE, що є проблемою для недорогих пристроїв IoT.

3) Вибірковість частоти серед піднесучих NB-IoT, що може суттєво погіршити продуктивність сигналу NB-IoT.

Для вирішення вищезазначених проблем пропонується розглядати довільну тривалість вибірки (яка також називається довжиною вибірки) для терміналу користувача NB-IoT (UE).

Таким чином, така гнучка модель створює основу оптимізації тривалості вибірки, і можна очікувати значного виграшу. На основі цієї загальної моделі отримано математичне вираження еквівалентної частотної характеристики (CFR) NB-IoT та проаналізовано перешкоди між NB-IoT та LTE-A.

Це показує, що з різною тривалістю вибірки NB-IoT, еквайзер одним натисканням все ще може бути реалізований, щоб зберегти низьку складність алгоритмів приймача. Крім того, висновок показує, що UE NB-IoT вільний від перешкод від LTE-A UE, тоді як перешкоди від NB-IoT UE до LTE-A UE залежать від смуги захисту між ними, а також тривалості вибірки NB-IoT. Ці два фактори можуть суттєво вплинути на рівень перешкод та розподіл у пристроях LTE-A.

Пропонується модель системи взаємодії LTE-A та NB-IoT. Модель системи взаємодії LTE-A та NB-IoT висхідної лінії представлена на рис. 4.7, де застосовуються два різні індекси для розрізнення параметрів LTE-A ($\{\cdot\}_L$) та IoT ($\{\cdot\}_I$).

LTE-A UE та BS у побудованій системі дотримуються звичайних конфігурацій LTE-A, при цьому S_L є частотою дискретизації, тоді як частота дискретизації S_I для NB-IoT набагато менша ніж S_L для підтримки низької складності та енергоспоживання. Не втрачаючи загальності, розглядаємо два RBs, які виділяються (тобто одна для LTE-A та інша для NB-IoT), і кожна BS містить M піднесучих.

Індекс під несучої для LTE-A та NB-ІоТ можна виразити як два неперекриваємих наборів, тобто $\{M_L, M_L + 1, \dots, M_L + M - 1\}$ та $\{M_I, M_I + 1, \dots, M_I + M - 1\}$, відповідно. Потова сторожа між їх становить $B_G = |M_I - M_L| - M$. Припустимо, що розмір DFT для системи LTE-A становить N_L , а розмір DFT для NB-ІоТ UE є N_I . Тоді ми можемо визначити швидкість підвищення вибірки для NB-ІоТ як $G = N_L/N_I$ з $G \in \mathbb{N}^+$ для простоти. Відповідно до теореми про вибірку Найквіста, розмір DFT NB-ІоТ N_I має бути не менше M .

Щоб уникнути впровадження тривіального картографування та виділення піднесучих під час виведення, припустимо $N_I = M$. Але слід зауважити, що висновки у цій роботі можна легко розширити до $N_I > M$.

Припускаючи, що передавальні сигнали LTE-A та NB-ІоТ є x_L та x_I відповідно. Математичні вирази сигналів після проходження через багатопроменевий канал можуть бути записані як:

$$x_{I,tx} = A_I C_I F_{N_I} x_I + \tilde{n}_I \quad (4.1)$$

$$x_{L,tx} = A_L C_L \hat{F}_{N_L} x_L + \tilde{n}_L \quad (4.2)$$

де F_{N_I} - це нормалізована матриця IDFT на N_I -точки, а \hat{F}_{N_L} приймає рядки $M \in \{M_L, M_L+1, \dots, M_L+M-1\}$ рядки F_{N_L} , яка є нормованою IDFT-матрицею на точки N_L . A_I та A_L – це дві матриці, що складаються з h_I і h_L відповідно, в яких $h_I \in \mathbb{C}^{1 \times L_{CH,I}}$, - нормована по потужності імпульсна характеристика каналу (CIR) NB-ІоТ, і $h_L \in \mathbb{C}^{1 \times L_{CH,L}}$ - нормована потужність CIR LTE (відповідна довжина каналу $L_{CH,I}$ та $L_{CH,L}$). C_I та C_L - матриці вставки циклічного префіксу (CP), які можна сформулювати наступним чином:

$$C_I = [0_{L_{CP,I} \times (N_I - L_{CP,I})}, I_{L_{CP,I}}; I_{N_I}] \quad (4.3)$$

$$C_L = [0_{L_{CP,L} \times (N_L - L_{CP,L})}, I_{L_{CP,L}}; I_{N_L}] \quad (4.4)$$

де $L_{CP,L}$ та $L_{CP,I}$ - довжина CP LTE та NB-ІоТ в одиниці відповідної тривалості вибірки. Ми припускаємо, що довжина CP більша за довжину каналу в обох системах, щоб уникнути перешкод між символами (ISI). Останні члени у рівнянні (4.1) та (4.2) (тобто \tilde{n}_I та \tilde{n}_L) - це білі шуми.

Потім, після обробки приймача (наприклад, аналого-цифрового перетворення, видалення CP та DFT), отримані сигнали NB-ІоТ та LTE перед вирівнюванням каналу можуть бути записані як:

$$y_I = \tilde{F}_{N_L}^H R_L \Psi_I U A_I C_I F_{N_I} x_I + v_I + n_I, \quad (4.5)$$

$$y_L = \hat{F}_{N_L}^H R_L A_L C_L \hat{F}_{N_L} x_L + v_L + n_L, \quad (4.6)$$

де перші доданки у рівнянні (4.5) та (4.6) представляють бажані сигнали для NB-ІоТ та LTE, відповідно. Другий термін v_I представляє перешкоди від LTE до NB-ІоТ, тоді як v_L є перешкодами від NB-ІоТ до LTE. Останні доданки n_I та n_L - це додані випадкові гауссові шуми. Зокрема, у шуканій частині рівняння (4.5) та (4.6) $\hat{F}_{N_L}^H$ та $\tilde{F}_{N_L}^H$ є двома підматрицями $F_{N_L}^H$, перша приймає $M \in \{M_L, M_L + 1, \dots, M_L + M - 1\}$ стовпці $F_{N_L}^H$ та останній приймає $M \in \{M_I, M_I + 1, \dots, M_I + M - 1\}$ колони $F_{N_L}^H$, R_I і R_L - це матриці видалення CP, які можуть бути сформовані наступним чином:

$$R_I = [0_{N_I} \times L_{CP,I}, I_{N_I}], \quad (4.7)$$

$$R_L = [0_{N_L} \times L_{CP,L}, I_{N_L}], \quad (4.8)$$

$\Psi_I \in \mathbb{C}^{(N_L + L_{CP,L}) \times (N_L + L_{CP,L})}$ - це діагональна матриця, яка використовується для переміщення сигналу NB-ІоТ до призначених йому піднесучих, а i -м діагональним елементом Ψ_I є:

$$\Psi_I(i) = e^{j2\pi(i - L_{CP,L} - 1)M_I - 1/N_L}. \quad (4.9)$$

Нарешті, найважливішою змінною - U , є $(N_L + L_{CP,L}) \times (N_L + L_{CP,L})$ матриця підвищення вибірки зі швидкістю її дискретизації рівною G . Установивши відповідну матрицю U , можна легко досягти довільної тривалості вибірки NB-ІоТ. Якщо визначена тривалість вибірки NB-ІоТ як b , більшу за довжину вибірки LTE-A, матрицю підвищення вибірки можна сформулювати як:

$$U = \begin{pmatrix} B & 0 & \dots & 0 \\ 0 & B & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & B \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

де $B = [1, 1, \dots, 1]_{1 \times b}^T$ інформація про вищезазначені несучі на увазі умови перешкод v_I та v_L можуть бути записаним як:

$$v_I = \tilde{F}_{N_L}^H R_L A_L C_L \hat{F}_{N_L} x_L, \quad (4.11)$$

$$v_L = \hat{F}_{N_L}^H R_L \Psi_I A_I C_I F_{N_I} x_I. \quad (4.12)$$

4.3 Результати дослідження системи взаємодії LTE-A та NB-IoT

Результати дослідження системи взаємодії LTE-A та NB-IoT у рамках захисного діапазону (тобто B_G) в системі LTE-A з точки зору потужності перешкод на базі методу дискретизації та з точки зору вибіркості потужності сигналу та впливу на систему NB-IoT з аналізом ефективності BER. Розглянуто розширений типовий міський канал (ETU), визначений 3GPP у всіх моделюваннях.

Розміри DFT – $N_L = 300$ м і $N_I = 12$ м, тоді як CP довжини (за кількістю зразків) складають $L_{CP, L} = 25$ м та $L_{CP, I} = 1$ м, відповідно. Крім того, передбачається, що NB-IoT UE модулює сигнали за допомогою схеми квадратурного фазового зсуву - QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) та LTE-A UE зі схемою 16- QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

1. Ефективність LTE в системі співіснування: Щоб показати перешкоди від NB-IoT, рис.4.7 ілюструє середнє значення середньоквадратичної помилки (MSE) для 12-ти піднесучих у призначеному LTE-A BS з $b = [1, 2, 10, 25]$ відповідно. Коли вибірки $b = 25$, система відповідає найсучаснішій системі NB-IoT зі швидкістю-200КБіт/сек [25].

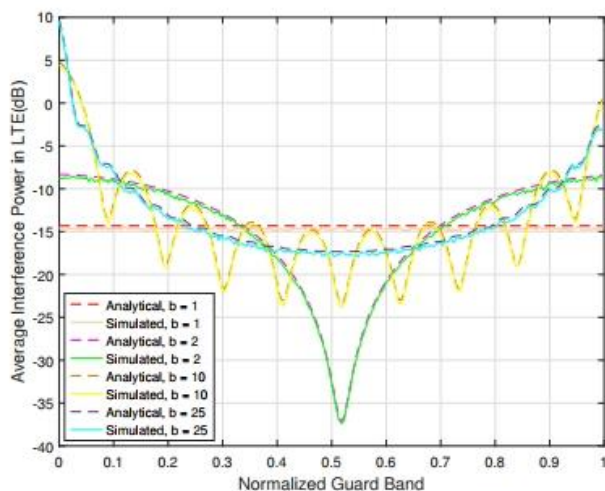


Рисунок 4.7 - Середня потужність перешкод у LTE-A проти $N_{B,G}$ з різними значеннями b .

2. Можна помітити, що аналітичні та модельні результати ідеально збігаються. Як правило, рівень перешкод спочатку знижується зі збільшенням смуги захисту, а потім починає зростати після того, як смуга захисту перевищує половину загальної смуги пропускання. Це пов'язано з круговою властивістю обробки базової смуги. При різній тривалості вибірки перешкод NB-IoT, які потрапляють на піднесучі LTE-A, змінюються по-різному. Наприклад, коли LTE-A і NB-IoT знаходяться близько один до одного (тобто нормалізована смуга захисту $V_{G,N}$ менше 0,2), найкоротша тривалість вибірки NB-IoT призводить до найменшої втручання серед чотирьох випадків; в той час як він створює найбільші перешкоди, коли $V_{G,N}$ (0,4, 0,6).

3D-графік для визначення взаємозв'язку між захисною смугою, зразок NB-IoT довжину та потужність перешкод зображено на рис.4.8. Властивості, представлені на цих рисунках, можуть служити еталоном у процесі вибору / планування ресурсів внутрішнього / охоронного діапазону NB-IoT.

Пропонована комплексна модель системи взаємодії LTE-A/NB-IoT передбачає довільну тривалість вибірки NB-IoT. На основі цієї моделі проведено математичні виведення для дослідження впливу, спричиненого невідповідною частотою дискретизації між низькоякісним пристроєм NB-IoT та LTE-A UE (та BS).

Виявлено, що LTE-A UE страждає від перешкод, які генеруються сигналом NB-IoT, і потужність перешкод є функцією близької форми довжини вибірки NB-IoT, і захисної смуги між призначеними піднесучими LTE-A і NB-IoT.

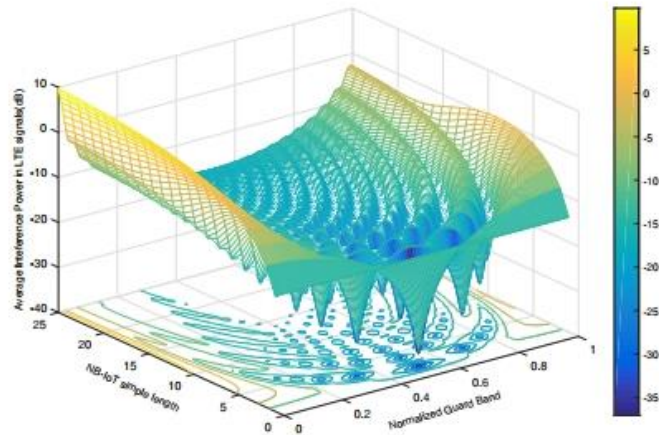


Рисунок 4.8 - 3D-графік для визначення взаємозв'язку між захисною смугою, довжиною вибірки NB-IoT та генерованою потужністю перешкод

Для сигналу NB-IoT, хоча він і не перешкоджає LTE-A UE, бажаний сигнал на стороні приймача змінюється через невідповідність частоти дискретизації.

Більш конкретно, еквівалентна CFR сигналу NB-IoT складається з множення коефіцієнта фазового зсуву та CFR. Чисельні результати проведені, щоб показати ефективність запропонованої моделі системи та висновків.

Модель системи взаємодії LTE-A/NB-IoT може слугувати вагомим керівництвом для розгортання NB-IoT та аналізу співіснування.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі на тему: «Дослідження методів забезпечення якості обслуговування об'єктів 4G» виконано завдання в повному обсязі.

В першому розділі «Аналіз та перспективи розвитку стандартів UMTS/3GPP» було розглянуто розвиток стандарту LTE, який розроблений консорціумом 3GPP, і є одним з найбільш перспективних стандартів для розгортання мереж безпроводного широкосмугового зв'язку четвертого покоління. Також розглянуто розвиток вузькосмугового Інтернету речей, який розгортається в мережах LTE

В другому розділі «Методи забезпечення якості обслуговування об'єктів 4G» розглянуто питання контролю мережі LTE-A, а також контроль впровадження незалежних мереж, гібридних мереж. Дана стратегія передбачає контроль об'єднаної мережі з урахуванням умов, необхідних для підтримки взаємодії мережі 4G з існуючими мережами 2G/3G. Також було розглянуто еталонні моделі контролю взаємодії LTE - LTE оператора, контролю з'єднання LTE – LTE-A між двома взаємопов'язаними мережами і контролю конвергенції LTE з 3G мережами.

Більш детально розглянуто точки вимірювання для контролю мережі VoLTE. Точки вимірювання для контролю мають вирішальне значення для виявлення проблем як економічних, так і експлуатаційних, які необхідно вирішити для обмеження кількості зондів, роботів та інших інструментів. Мета контролю полягає в тому, щоб забезпечити гарне уявлення покривається території в статистичному плані для обліку, моніторингу та діагностики із застосуванням відповідних джерел або інструментів вимірювання.

В третьому розділі «Система якості забезпечення трафіку Інтернету речей» проведена оцінка якості обслуговування трафіку Інтернет речей в мережі LTE-A. Використання даних NB-IoT та характеристик трафіку важливо для створення стратегій QoS, які краще обслуговують програми NB-IoT. Знання того, як пристрої IoT передають дані та як програми споживають ці дані, полегшує правильне застосування QoS. Управління NB-IoT LTE-A на основі SDN дозволяє краще контролювати маршрутизацію трафіку та конфігурацію мереж NB-IoT та LTE-A, дозволяючи мережам реагувати на потреби мережевого трафіку. Можливості динамічної конфігурації мереж SDN поєднуються з неоднорідністю

трафіку NB-IoT, що дозволяє мережі краще маршрутувати NB-IoT трафік та управляти його впливом на всю мережу.

Контролер SDN використовує обчислювані шляхи для конфігурації таблиць потоків перемикачів по шляху. Він контролює використання пропускної здатності мережі та розподіл пропускної здатності класу IoT на рівні мережі. У міру зміни трафіку контролер може виділити додаткову пропускну здатність для IoT-трафіку, переназначивши TC потоків IoT-трафіку до TC з доступною пропускну здатністю у посиланнях. Це робиться за допомогою PSIoT-Orch, що передає згруповані потоки трафіку у вигляді пар вихідних пунктів призначення до модуля, подібного до MAM, на контролері SDN.

Так же розглянуто модель підтримки та контролю параметрів якості QoS агрегованого трафіку. В склад моделі контролю трафіку Інтернету речей включені: генератор трафіку IoT для імітації роботи елементів системи, генератор трафіку базових послуг мереж загального користування та трафік - TI, позначений -H2H + TI.

Аналіз результатів моделювання процесу обслуговування агрегованого потоку показав, що ймовірність втрат пакетів регулярного потоку менше, ніж випадкового потоку (H2H + TI). Причому, ця різниця збільшується зі збільшенням інтенсивності надходження навантаження.

Отримані результати демонструють область застосовності відомих наближених моделей для систем G/G/1/k і G/G/1 для опису коефіцієнта втрат і затримки доставки пакетів.

Аналіз залежності властивостей самоподібності обслугованого потоку від інтенсивності навантаження показав, що властивості вихідного потоку близькі до властивостей вхідного потоку при малих і середніх значеннях інтенсивності вхідних навантаження. При великих значеннях інтенсивності навантаження властивості обслугованого потоку визначаються розподілом часу обслуговування.

У четвертому розділі «Моделювання розширеного LTE-A» проведено аналіз моделі обслуговування даних LTE-Advanced на основі симулятора NS-2. У запропонованій моделі використовуються 3 UE з безпроводовими функціями і кожне UE, з'єднане з eNodeB. eNodeB вузли (1-3) та UE (1-3) не мають повноцінних функцій мобільності, оскільки уникають сценарію хендовера в цій моделі. Модель перевірена на простих експериментах для оцінки моделі. Ці експерименти засновані на використанні TCP Reno, TCP Vegas, TCP Tahoe та SCTP для порівняння поведінки вікна перевантаження, пропускної здатності та втрат

пакетів для кожного протоколу. За допомогою моделювання та реалізації експериментів TCPVegas може отримати навіть на 40% більшу пропускну здатність, ніж TCP Reno. Таким чином, TCPVegas виключно може отримати більш високу продуктивність, ніж TCP Reno, і він має хорошу особливість мати зворотну сумісність із старими версіями TCP. Розумний рівень зниження пакетів для Vegas завдяки техніці, що використовується в контролі заторів, тоді як в інших протоколах (SCTP, Tahoe та Reno) фаза запобігання перевантаженню базується на виявленні до першого пакету, який падає, щоб виявити, якщо трапився затор, де які призводять до великої кількості посліду лише для виявлення точки перевантаження мережевого шляху.

Аналізуючи параметри якості взаємодії вузькосмугового Інтернету речей та систем LTE-A для ефективного та якісного використання ресурсу спектра пристроями NB-IoT можна призначити три різні режими роботи. Окремий режим роботи використовує спектр, виділений в даний час для систем GSM. як деякий розсіяний спектр для потенційного розгортання IoT. Внутрішньосмуговий режим роботи використовує блоки ресурсів (RB) в межах несучих LTE. Режим роботи смуги використовує RB в охоронній смузі несучих LTE.

Результати дослідження системи взаємодії LTE-A та NB-IoT у рамках захисного діапазону (тобто B_G) в системі LTE-A з точки зору потужності перешкод на базі методу дискретизації та з точки зору вибіркості потужності сигналу та впливу на систему NB-IoT з аналізом ефективності BER.

Виявлено, що LTE-A UE страждає від перешкод, які генеруються сигналом NB-IoT, і потужність перешкод є функцією близької форми довжини вибірки NB-IoT, і захисної смуги між призначеними піднесучими LTE-A і NB-IoT. Для сигналу NB-IoT, хоча він і не перешкоджає LTE-A UE, бажаний сигнал на стороні приймача змінюється через невідповідність частоти дискретизації.

Більш конкретно, еквівалентна CFR сигналу NB-IoT складається з множення коефіцієнта фазового зсуву та CFR. Чисельні результати проведені, щоб показати ефективність запропонованої моделі системи та висновків.

Модель системи взаємодії LTE-A/NB-IoT може слугувати вагомим керівництвом для розгортання NB-IoT та аналізу співіснування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. [Електронний ресурс] : мультимед. підручник, Том 1// За редакцією В. В. Поповського, Харків, ТОВ “Компанія СМІТ”, 2018 р. Режим доступу до ресурсу: <http://www.znanius.com/3533.html> - 1012с.
- 2 Багатоканальний електрозв’язок та телекомунікаційні технології [Електронний ресурс]: підручник у 2-х томах. /О. В. Лемешко, В. А. Лошаков, В. В. Поповський, С. О. Сабурова та ін.// за редакцією В. В. Поповського-Х.: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2018. Режим доступу до ресурсу: <http://www.smit-book.com/books.html>- 1012 с.
- 3 UMTS Networks: Architecture, Mobility and Service/ Heikki Kaaranen, Ari Ahtia- inen, Lauri Laitenen, Siamak Naghian, Valteri Nienu(Second Edition), John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
- 4 ETSI TR 122960 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Mobile multimedia services including mobile Intranet and Internet services.
- 5 Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. — М.: Эко-Трендз, 2007.
- 6 Overview of 3GPP Release 4.Summary of all Release 4 Features, 2004.
- 7 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М: Эко-Трендз, 2010.– 284 с
- 8 Скрынников В.Г., Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика – М:Спорт и Культура 2012.– 864 с.
- 9 А.Н. Степунин, А.Д. Николаев. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Томах. – 2-е изд. - Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – 804с.
- 10 Козубенко В.С., Методи конвергенції послуг мобільного зв’язку на платформі IMS, 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті»-2019. 123-127с.
- 11 Козубенко В.С., Дослідження методів контролю послуг NB-IoT, 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті»-2020. 1-4с.
- 12 Козубенко В.С., Сабурова С.О., Перспективи розвитку технології мобільного зв’язку 4G» представлена на П’ятій міжнародній науково-технічній конференція «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних

безпроводових мереж зв'язку, EMC-2019».34-39с.

13 Козубенко В.С., Сабурова С.О, Аналіз трафіку Інтернет–речей 4G, а Шоста міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку, EMC2020».26-40с.

14 Basim K. J. Al-Shammari, Nadia Al-Aboody, and Hamed S. Al-Raweshidy. 2018. IoT Traffic Management and Integration in the QoS Supported Network. IEEE Internet of Things Journal 5, 1 (feb 2018), 352–370. <https://doi.org/10.1109/jiot.2017.2785219>

15 Eleonora Borgia. 2014. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. Computer Communications 54 (2014), 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>

16 Kulik, V.A., Vybornova, A.I. Methods of Complex Testing the Devices of the Internet of Things//Distributed Computer and Communication Networks 2016.

17 Зелигер, Н.Б. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений/Н.Б. Зелигер, О.С. Чугреев, Г.Г. Яновский. — М.: «Радио и связь», 1984 г. — С. 177.

18 Villy, B. Iversen Teletraffic Engineering Handbook. COM Center Technical University of Denmark Building 343, DK-2800 Lyngby Tlf.: 4525 3648 www.tele.dtu.dk/teletra.

19 Шелухин, А.М. Осин Фрактальные процессы в телекоммуникациях/А.М. Шелухин, А.В.Тенякшев. — М.: «Радиотехника», 2003 г. — 479 с.

20 Вадзинский, Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям/ Р.Н. Вадзинский. —СПб.: Наука. — 2001.

21 S. Parkvall, E. Dahlman, J. Sköld, and P. Beming, “3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband,” Elsevier Publishers, Second Edition, 2008.

22 L. Bajzik, P. Horváth, L. Krössy, and C. Vulkán, “Impact of Intra-LTE Handover with Forwarding on the User Connections,” July 2007.

23 F. Khan, “LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance,” Cambridge University Press, New York, 2009.

24 “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) NB-IOT Technical Report for BS and UE radio transmission and reception,” TR 36.802 v.13.0.0, 3GPP RAN4, 2016.

25 C. Yu, L. Yu, Y. Wu, Y. He, and Q. Lu, “Uplink scheduling and link adaptation for narrowband internet of things systems,” IEEE Access, vol. 5,

- pp. 1724–1734, 2017.
- 26 Колюбякин В. «Беспроводные мультисервисные сети»- М.: Теле-спутник. 2016.
- 27 L. Zhang, A. Ijaz, P. Xiao, and R. Tafazolli, “Channel Equalization and Interference Analysis for Uplink Narrowband Internet of Things (NB- IoT),” *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 10, pp. 2206–2209, 2017.
- 28 Парамонов А.И. Модели потоков трафика для сетей M2M/A.I. Парамонов. //Электросвязь. — 2014. — № 4. — С. 11–16.
- 29 Рекомендация МСЭ-Т P.862. PESQ. Perceptual evaluation of speech quality. An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. 2001.
- 30 Рекомендация МСЭ-Т P.863. POLQA. Perceptual objective listening quality assessment. 2011.
- 31 Рекомендация МСЭ-Т P.563. Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications. 2004.
- 32 Рекомендация МСЭ-Т G.107. The E-model: a computational model for use in transmission planning. 2011.
- 33 Рекомендация МСЭ-Т G.107.1. Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks. International telephone connections and circuits — Transmission planning and the E-model. Wideband E-model, 2011.
- 34 Рекомендация МСЭ-Т P.564 Conformance testing for voice over IP transmission quality assessment models. 2007.
- 35 Рыжков А.Е., Сиверс М.А., Воробьев В.О., Гусаров А.С., Слышков А.С., Шуньков Р.В. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. – СПб: Линк, 2012. – 226 с.
- 36 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Высочин В.П. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура. – М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2014. – 384 с.
- 37 Маглицкий Б.Н. Технология LTE систем сотовой связи четвертого поколения /СибГУТИ, Новосибирск. 2010.-168 с.
- 38 Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия LTE. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 156 с.
- 39 Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 188 с.