

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Тема: «Система тестування QoE та QoS в стільникових мережах 5G»

Виконавець: _____ Дмитро ГОЛУБЕНКО
(підпис)

Керівник: _____ Ірина КОЗЛЮК
(підпис)

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Консультант розділу «Охорона праці» _____ Батир ХАЛМУРАДОВ
(підпис)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»
_____ Євгеній БОВСУНОВСЬКИЙ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет авіонавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ ” 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи

Голубенко Дмитра Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система тестування QoE та QoS в стільникових мережах 5G»

затверджена наказом ректора від «07» вересня 2022 р. №1321/ст

2. Термін виконання роботи: з 05.09.2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Аналіз 5G мереж; порівняння всіх поколінь мереж; розгляд QoE та QoS; Дослідження побудови мереж; методи тестування мереж; розробка системи для тестування мереж, розгляд функцій та можливостей мови програмування Java у поєднанні з середовищем розробки Android Studio.

4. Зміст пояснювальної записки: Загальні вимоги до системи тестування QoE та QoS у стільникових мережах 5G; Аналіз розробки мобільних систем.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Таблиці -1, Рисунки – 26

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	05.09.2022- 06.09.2022	Виконано
2	Вступ	07.09.2022- 10.09.2022	Виконано
3	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G	12.09.2022- 20.09.2022	Виконано
4	Дослідження схеми побудови мереж 5G	21.09.2022- 1.10.2022	Виконано
5	QoE та QoS	2.10.2022- 15.10.2022	Виконано
6	Розробка системи тестування	16.10.2022- 24.10.2022	Виконано
7	Опис реалізації системи	25.10.2022- 05.11.2022	Виконано
8	Охорона праці	07.11.2022- 12.11.2022	Виконано
9	Охорона навколишнього середовища	14.11.2022- 19.11.2022	Виконано
10	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	21.11.2022- 30.11.2022	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів

		Дата, підпис
--	--	--------------

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.м.н., проф. Батир ХАЛМУРАДОВ		
Охорона навколиш- нього середовища	к.т.н., доц. Євгеній БОВСУНОВСЬКИЙ		

8. Дата видачі завдання: “22” серпня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис керівника)

Ірина КОЗЛЮК
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випускника)

Дмитро ГОЛУБЕНКО
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Система тестування QoE та QoS в стільникових мережах 5G» містить 107 сторінок, 27 рисунків, 5 таблиць, 26 використаних джерел.

QOE, QOS, ANDROID, JAVA, МЕРЕЖА 5G, СТІЛЬНИКОВІ МЕРЕЖІ, СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ

Об'єкт дослідження – Android застосунок для тестування QoE та QoS в стільникових мережах 5G.

Предмет дослідження – використання Android пристрою для тестування якості та швидкості передачі у мобільних мережах п'ятого покоління, розробка мобільного застосунку, мова програмування Java та середовище розробки Android Studio.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити та дослідити систему за допомогою якої можна проводити тестування у стільникових мережах 5G.

Метод дослідження – Аналіз, порівняння, розробка.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при впровадженні стільникових мереж 5G для тестування їх якості.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G	12
1.1. Актуальність створення системи бездротового зв'язку 5G	12
1.2. Розвиток мобільних технологій	15
1.3. Стільниковий зв'язок 5G	17
1.4. Архітектура системи зв'язку покоління 5G	18
1.5. Технологічні рішення системи бездротового зв'язку 5G	22
1.6. Аналіз впровадження 5G та схема побудови мережі	26
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ 5G	31
2.1. Склад та призначення компонентів схеми мереж 5G	31
2.2. Моделювання каналів у мережі 5G	34
РОЗДІЛ 3. QoE ТА QoS	39
3.1. Виміри QoE в 5G	40
3.2. Поняття інтерактивності	41
3.3. Протоколи тесту на інтерактивність	43
3.4. Приклад шаблону трафіку eGaming в реальному часі	44
3.5. Сценарії вимірювання	46
3.6. Результати тесту на інтерактивність	46
3.7. Точність тесту на інтерактивність	47
3.8. Результати тестування інтерактивності в хороших умовах 4G	48
3.7. Приклад хороших умов NR 5G EN-DC	50
3.8. Приклад 4G/5G з агрегацією операторів	51
3.9. Вплив відстані до сервера на затримку та джиттер	54
3.10. Як вимірювалася затримка	54
3.11. Як затримка пакетів та варіація затримки залежать від відстані до веб-сервера	56
3.12. Вимірювання латентності	60
3.13. Як затримка пакетів і варіація затримки залежать від мобільних технологій ...	61
3.14. Що стоїть за сильними піками мережевої затримки та буферизації	64
3.15. Вимірювання затримки з продуктами Rohde & Schwarz MNT	66
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ	67
4.1. Вимоги до створення системи	68
4.2. Історія та розвиток	68
4.3. Android і 5G мережі	70

4.3. Java	72
4.4. Android Studio – опис	77
РОЗДІЛ 5. ОПИС РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ	83
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ	86
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	97
ВИСНОВКИ	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – програмне забезпечення

ПК – персональний комп'ютер

ОС – операційна система

5G – мобільна мережа п'ятого покоління

XML (англ. extensible markup language) – стандарт побудови мов розмітки ієрархічно структурованих даних для обміну між різними застосунками, зокрема, через мережу інтернет

JDK (англ. java development kit) – комплект розробки додатків на мові Java, що включає в себе компілятор, стандартні бібліотеки класів, приклади, документацію та виконуючу систему

SDK (англ. software development kit) – набір засобів розробки, який дозволяє спеціалістам з програмного забезпечення створювати додатки для певного пакета програм, апаратної платформи, комп'ютерної системи, ігрових консолей, операційних систем

ADB (англ. android debug bridge) – засіб відладки, виявлення помилок в додатках, передачі даних між програмою та девайсом

APK – формат архівних виконуваних файлів додатків, який включає в себе весь код додатку, ресурси, активи, файл маніфесту та нативні бібліотеки

AVD – спеціальний пристрій для емулятора Android, що має визначені властивості, для перевірки роботи розробленого продукту та його відладки

IDE – комплекс програмних засобів, який включає в себе текстовий редактор, компілятор, інтерпритатор, засоби автоматизації збірки, відладчик

JVM – віртуальна машина, на якій виконуються всі мови платформи Java

API – набір готових класів, процедур, функцій, що надаються операційною системою для використання у зовнішніх програмних продуктах

GUI (англ. graphical user interface) – різновид призначеного для користувача інтерфейсу, в якому елементи інтерфейсу (меню, кнопки, значки, списки і т. п.), представлені користувачеві на дисплеї, виконані у вигляді графічних зображень

DPI (англ. dots per inch) – кількість точок на квадратний дюйм, означає роздільну здатність екрану девай

ВСТУП

Актуальність теми. Останні 2-3 роки активно ведуться розмови про швидку появу мереж п'ятого покоління – 5G. Мережі зв'язку п'ятого покоління 5G (Fifth Generation) – новий технологічний стрибок у сфері телекомунікацій, який повинен забезпечити необмежений доступ до мережі для індивідуальних користувачів і їх пристроїв. Вони вирішують численні завдання, які не притаманні мережам попередніх поколінь, наприклад, здійснення необхідної якості зв'язку при зростанні абонентських пристроїв, нестачі частотних діапазонів тощо. Оскільки мережі 5G – це мережі, які лише починають впроваджуватись, то на рівні концептуального проектування необхідна систематизація понять, концептуальних структур за схемами мереж 5G. Для цього пропонується застосувати онтологічний підхід. Усе це визначає актуальність цього дослідження. Основними джерелами інформації для написання роботи стали наукові праці в галузі стільникового зв'язку, онтологічного аналізу, специфікації 3GPP мережі 5G.

Онтологія як спосіб представлення знань про предметну область дозволяє формувати логічно несуперечливі описи схем побудови мереж 5G з урахуванням послуг, які вони надають. В основі опису схем мереж 5G покладено загальновизнану концепцію «мережевого шару (network slicing)». У розробленій онтології пропонується виділити не лише мережевий шар, а й шар, пов'язаний з перенесенням трафіку, схемою мережі, послугами користувача та послугами управління.

При розробці стандарту 5G враховуються вдосконалені можливості LTE і HSPA, а також інших технологій радіо-доступу, орієнтованих на вирішення конкретних завдань.

З моменту появи і до сьогоднішнього дня мережі мобільного зв'язку пройшли величезний шлях розвитку; з'явилися нові типи пристроїв у користувачів – смартфони, планшети, мобільні Wi-Fi роутери і навіть деякі автомобілі. Можливості, які відкривають мобільні технології сьогодні, вже давно вийшли за рамки голосових послуг, створюючи нові види обміну даними, способи спілкування та бізнес-моделі.

Поширення пристроїв привело до дуже швидкого зростання трафіку в мережах по всьому світу. Однак це тільки початок тієї революції, якій сприяє активний розвиток технологій, що з'єднують людей.

На думку експертів, існуюча світова телекомунікаційна інфраструктура у вигляді LTE з плином часу досягає своєї технічної стелі. Цьому буде сприяти бурхливий розвиток різноманітних пристроїв з виходом в інтернет. На даний момент мобільні мережі забезпечують швидкість передачі даних аж до 1 Гбіт/с. Однак є складнощі з чіткою прив'язкою до конкретних смуг спектра частот і їх агрегацією. Є питання і з затримками сигналу. Всі ці питання повинен вирішити стандарт 5G.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити та дослідити систему за допомогою якої можна проводити тестування у стільникових мережах 5G.

Об'єкт дослідження – Android застосунок для тестування QoE та QoS в стільникових мережах 5G.

Предмет дослідження – використання Android пристрою для тестування якості та швидкості передачі у мобільних мережах п'ятого покоління, розробка мобільного застосунку, мова програмування Java та середовище розробки Android Studio.

Метод дослідження – Аналіз, порівняння, розробка.

Практичне значення одержаних результатів. Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при впровадженні стільникових мереж 5G для тестування їх якості.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

1.1. Актуальність створення системи бездротового зв'язку 5G

В даний час завдяки цифровим способам збору, обробки та передачі інформації різко зросли потоки обміну даними у вигляді мовних повідомлень, мультимедійних повідомлень, медіа контенту, онлайн ігор, потокового трафіку та сенсорної інформації. В результаті цього виникла гостра необхідність подальшого розвитку систем зв'язку, в першу чергу – бездротових систем передачі, включаючи як сукупність технічних засобів користувача (приймач, смартфон), так і освоєння нових ділянок середовища поширення (радіочастотного спектру, РНС) призначеного для інформаційного обміну.

Починаючи з 1980-х років, нові покоління бездротового наземного радіотелефонного (стільникового) зв'язку з'являються кожні 10 років. Вже перехід від аналогових технологій першого покоління (First generation, 1G) до цифрових систем (2G, 3G). Оскільки потреби користувача у швидкісному інформаційному обміні постійно зростають, поточні показники, які мають мережі поколінь 2G (GSM), 3G (IMT-2000) та 4G (Long-Term Evolution, LTE), є недостатніми для забезпечення всіх сфер використання широкопasmового зв'язку.

Спочатку під час створення стандарту LTE завдання пошуку нових технологій взаємодії між різними стандартами бездротового зв'язку не ставилося. Мережі мобільного зв'язку 3G і 4G призначалися насамперед для підвищення ефективності таких показників, як пікова швидкість передачі даних та спектральне ущільнення каналів. Однак інтеграція в мережу нових пристроїв, розширення спектру послуг зв'язку, що застосовується, збільшення числа пристроїв, що підтримують концепцію Інтернету Речей (Internet of Things, IoT) призвели до неминучої появи нової концепції надщільної мережі з ультрамалими затримками. Ці характеристики є основними в концепції мереж 5G (5 покоління), що вимагає застосування нових технологій передачі,

кодування та обробки інформації, у тому числі програмно-конфігуровані мережі (SoftwareDefined Networking, SDN), методи віртуалізації мережевих функцій (Network Functions) Virtualisation, NFV), підтримка взаємодії між пристроями (Device-to-Device, D2D).

Існують різні трактування, прийняті визначення поняття «мережі п'ятого покоління 5G». Усі вони зводяться до одного загального визначення: мережі п'ятого покоління 5G – це новий етап розвитку технологій, що є мережами з ультрамалими затримками, які покликані розширити спектр можливостей доступу в Інтернет. 5G мережі дають можливість надширокосмугового бездротового доступу з майже «нульовими» затримками. Основними відмінними рисами мереж зв'язку п'ятого покоління є:

- конвергентна технологія – угруповання окремих компонентів мережі в єдиний інтелектуальний обчислювальний комплекс;
- орієнтування на користувача – надання абонентам кращого сервісу;
- різні технології радіодоступу - використання всього доступного частотного діапазону;
- висока швидкість передачі, ємність мережі та мінімальні затримки.

Слід зазначити, що мережі п'ятого покоління є гетерогенними, тобто вони об'єднують у собі безліч різних мереж. Ця властивість мереж п'ятого покоління сприяє покращенню якості обслуговування користувачів, що знаходяться на межі зон обслуговування базових станцій (БС). Також мережі 5G називають мережами з високою щільністю (High Dense) або навіть надщільними мережами (Super High Dense). Така характеристика мереж п'ятого покоління пов'язана з концепцією IoT. Істотна кількість підключених пристроїв до мережі створює надщільні мережі зв'язку, які здатні здійснити взаємодію пристроїв, що близько знаходяться один від одного, без використання базової станції або маршрутизаторів. Особливостями перспективної технології 5G є набір важливих покращень, спрямованих на збільшення, перш за все, ємності системи зв'язку, включаючи подальше ущільнення мережі малими сотами різних типів. Для мереж 5G характерні більш просунуті форми прямої взаємодії абонентських терміналів для обміну трафіком; використання вкрай високих частот для збільшення швидкості передачі даних та підвищення спектральної ефективності за рахунок

використання складніших багатоантених конструкцій. Ці покращення сприяють розвитку таких напрямів як Тактильний Інтернет, Інтернет Речей, Інтернет Навичок (Internet of Skills). У цілому нині системи бездротового зв'язку п'ятого покоління 5G є логічним розвитком існуючих систем радіозв'язку цивільного призначення щодо збільшення частотного діапазону до 3,4-3,8 ГГц і до 5,8- 5,9 ГГц. Якщо в мережах 4G основний показник це швидкість передачі даних, то в мережах зв'язку п'ятого покоління поряд зі швидкістю лідирує такий показник, як ємність, певні обмеження ємності. У табл. 1.1 представлено порівняльну характеристику систем зв'язку за основними показниками. Виходячи з таблиці 1.1 видно, що система 5G виграє, перш за все, у швидкісній характеристиці. Швидкісні можливості 5G досягають 1 Гбіт/с, що дозволяє називати 5G технологією практично миттєвої передачі даних. Висока швидкість (до кількох гігабіт на секунду), дає можливість не тільки дивитися і транслювати відео в 4К і навіть 8К, а й підтримувати технології віртуальної та доповненої реальності.

Таблиця 1.1

Порівняння характеристик мереж різних поколінь

Стандарт зв'язку	Швидкість передачі даних (максимальна)	Середня швидкість передачі даних	Рік впровадження	Стандарти мобільною зв'язку	Частоти РНС
1G	9,6 Кбіт/с	9,6 Кбіт/с	1980	AMPS/ NMT/TACS	824 – 894 МГц
2G	400 Кбіт/с	100 Кбіт/с	1990	GSM/ GPRS EDGE	400 - 890 МГц
3G	42 Мбіт/с	10 Мбіт/с	2000	UMTS/ HSPDA	1,25 – 2100 МГц
4G	75 Мбіт/с	10 - 100 Мбіт/с	2010	UMTS/ HSPDA	Нижче 6 ГГц
5G	1 Гбіт/с	100 Мбіт/с – 1Гбіт/с	2020	UMTS/ HSPDA	Від 30 до 300 ГГц

Збільшення швидкості в мережі 5G досягається за рахунок підвищення спектральної ефективності мереж 5G у 2-5 разів у порівнянні з мережами четвертого покоління. Це вдалося за рахунок застосування наступних технічних рішень:

- антени Massive MIMO;
- використання нової версії радіоінтерфейсу (New Radio, NR);
- ширша смуга частот (понад 200 МГц). Частотний спектр 5G також має низку відмінностей у порівнянні з попередніми системами зв'язку.

Так, РЧС розбитий на смуги, характеристики яких змінюються із зростанням частоти. Якщо мережі 4G працюють на частотах нижче 6 ГГц, то мережі 5G використовують дуже високі частоти.

1.2. Розвиток мобільних технологій

Завдяки швидкій революції в мобільній техніці мобільний зв'язок став популярнішим видом зв'язку за останні декілька років. Цей розвиток напряму пов'язаний з активним ростом кількості клієнтів мобільних телекомунікацій. Ця революція почалась з 1G – мережа першого покоління, і досягла 5G – мережі п'ятого покоління.

Перше покоління(1G) - Початок 80-х. Перше покоління стільникових мереж використовувало аналогові технології. В таких мережах передавали тільки телефонні розмови. Стандарти 1-G:

- NMT (Nordic Mobile Telephone) - використовується в країнах Східної Північної Європи, Швейцарії, Нідерландах;
- AMPS (Advanced Mobile Phone System) - використовується в Північній Америці і Австралії;
- TACS (Total Access Communications System) - у Великій Британії;
- C- 450 - Західній Німеччині, Португалії та Південній Африці;
- Radiocom 2000 - у Франції і RtMI в Італії.

Першою загальнонаціональною мережею 1G була мережа NTT (Nippon Telegraph and Telephone), яка була запущена в 1979 році в Японії. У 1981 році система була запущена в Данії, Фінляндії, Норвегії та Швеції.

Мережа 1G використовує аналоговий радіосигнал, з частотою 150 МГц, за допомогою методики множинним доступом частотного поділу (FDMA) робиться модуляція голосового дзвінка.

Друге покоління(2G) - технологія бездротового телефонного зв'язку другого покоління розроблена у 1988 році. Було здійснено перехід з аналогового на цифровий сигнал, і стільниковий зв'язок став таким, яким ми звикли бачити його зараз – із сім-картами, передачею даних, повідомлень, MMS, позиціонуванням та голосовими викликами. Однією із причин розробки мереж 2G стала вимога зменшити випромінювання мобільного телефону. Зменшення потужності спричинило зменшення відстані між базовими станціями, що знизило вартість обладнання для них, а також дало можливість позиціонування за їх координатами. Перехід на цифровий сигнал дозволяє здійснювати більше дзвінків на одній смузі частот, тобто. розширює пропускну спроможність системи зв'язку.

Третє покоління(3G) - мережі що працюють на частотах дециметрового діапазону (близько 2 ГГц), швидкість передачі даних досягає 2 Мбіт/с.

Роботи з дослідження та розробки мереж 3G проводились Міжнародним союзом електровз'язку (МСЕ), починаючи з 1980-х років. Результатом стала специфікація ІМТ-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), в якій було об'єднано стандарти, що використовуються в різних країнах світу. У загальному випадку до ІМТ-2000 входять п'ять стандартів, але широкого поширення набули лише два з них: CDMA2000 (у США та Японії) та UMTS (у Європі). У 1999 році організації деяких країн, а саме: Японія, Китай, США, Корея та європейські країни домовилися про створення загального стандарту UMTS. Для робіт зі стандартизації 3G було створено міжнародну групу 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Головним завданням 3GPP є розробка стандартів з огляду на задоволення вимог усіх перелічених країн. Внаслідок цього було висунуто такі вимоги до мереж 3G: універсальність та відкритість всіх інтерфейсів, підтримка мультимедійного середовища, забезпечення

широкопasmого доступу, сумісність з мережами GSM та ISDN, незалежність послуг, що надаються користувачеві від технологій радіодоступу.

3G працює у діапазоні 2100 МГц і має пропускну здатність 15-20 МГц, що використовується для високошвидкісного інтернет-сервісу.

Четверте покоління(4G) - четверте покоління бездротового телефонного зв'язку, заснованого на технології TCP/IP передачі інформації.

Головна особливість мережі 4G це підтримка швидкості до 1 Гбіт/с для абонентів із низькою швидкістю руху та до 100 Мбіт/с для абонентів із високою швидкістю руху (наприклад, у автомобілі) в оптимальних умовах. Для підвищення ефективності передачі в мережах 4G використовуються технології ортогонального частотного ущільнення OFDM і MIMO.

4G розробляється для забезпечення якості QoS та вимоги щодо швидкості, встановлені бездротовим широкопasmовим доступом, послугами мультимедійних повідомлень (MMS), відеочатами, мобільним телебаченням, вміст HDTV, цифровим відеомовленням (DVB), мінімальні послуги, такі як голос і дані, та інші послуги, що використовують пропускну здатність.

На території України продажі та перевикупи частотних ресурсів були проведені у 2018 році.

Про п'яте покоління мобільного зв'язку буде описано в пункті 1.2.

1.3. Стільниковий зв'язок 5G

5G (англ. 5th Generation) — п'яте покоління мобільних мереж або п'яте покоління бездротових систем. Одним із головних завдань, що пропонується для 5G, є створення бази для Інтернету речей (IoT).

Перші дослідження розпочалися у 2008 році. 8 жовтня 2012 року у Великій Британії було створено дослідний центр 5G з метою розробки технології зв'язку для заміни 4G. Перші специфікації Non-Standalone 5G NR (англ. New Radio) були затверджені наприкінці 2017 року на засіданні консорціуму 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Вони описують архітектуру мереж 5G і слугуватимуть орієнтиром на початку

для розгортання мереж 5G на основі вже наявних базових станцій LTE. Також триває робота над специфікаціями мереж Standalone 5G, які нарешті й замінять 4G LTE. Специфікації Non-Standalone 5G NR включають підтримку низькочастотного (600 МГц, 700 МГц), середньочастотного (3,5 ГГц) і високочастотного (50 ГГц) спектра.

Щоб використовувати всі можливості мобільної мережі нового покоління, нам потрібно обзавестися пристроєм, що підтримує цей стандарт, і, звичайно ж, перебувати в межах досяжності базової станції.

Перші смартфони, оснащені модемами 5G, вже з'являються на ринку, в тому числі в середньоціновому і бюджетному діапазоні. Проте, скоріше за все, новий стандарт зв'язку стане популярним лише через кілька років. Експерти вважають, що цей період може затягнутися до п'яти років.

За оцінками аналітиків, до 2025 року лише половина мобільних телефонів у всьому світі буде використовувати мережу 5G, а решта будуть працювати зі старими технологіями – 4G і 3G.

1.4. Архітектура системи зв'язку покоління 5G

Ключовим поняттям будь-якої системи, у тому числі телекомунікаційної (у нашому випадку 5G), є архітектура. Поняття архітектури можна порівняти з своєрідним фундаментом, завдяки якому приходить розуміння про функціонування як окремих складових системи, так і загалом об'єкта, що розглядається в цілому.

Під архітектурою систем зв'язку нового покоління 5G розуміється структура взаємодії підсистем, що виконують функції управління мережею та надання послуг транспортування сигналу. Мережі зв'язку 5G побудовані як гетерогенні на основі архітектури, яка включає ієрархічну структуру сотів різного розміру, що використовують різноманітні технології радіодоступу. У таких системах абонентські термінали під час передачі своїх даних мережній інфраструктурі мають можливість використання декількох радіотехнологій одночасно.

Мережева підсистема 5G включає три підсистеми, які можуть бути сформовані на основі «хмарних» технологій:

- Access Plane – підсистема «хмари» доступу – як розподілена, і централізована архітектура;
- Control plane – підсистема «хмари» управління – глобальні функції цієї з управління мережею;
- Forward plane – підсистема «транспортної хмари» – фізична передача даних у мережу в режимі балансування навантаження.

Архітектура мереж зв'язку 5G визначається такими ключовими факторами, як показано на рис. 1.1. Під радіоінтерфейсом розуміється сукупність протоколів та процедур, що визначають порядок встановлення з'єднань та організації зв'язку по радіоканалу між двома станціями. Радіоінтерфейс 5G планується зробити ще ефективнішим, буде збільшено спектральну ефективність у 3 рази порівняно з мережами 4G, передбачається спектральна ефективність, що дорівнює 60 біт/с на 1 Гц.



Рис.1.1. Фактори формування архітектури мережі 5G

Існують базові технології, що застосовуються до радіоінтерфейсу 5G:

- багатостанційний доступ на основі розріджених кодів (Sparse Code Multiple Access, SCMA);

– фільтроване мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (Flash Orthogonal Frequency Division Multiplexing, FOFDM);

– полярний код (Polar Code).

Технологія SCMA є поділом доступу абонентів до ресурсів мережі на базі «розрідженого» коду. Ця технологія передбачає наявність кодової книги, за допомогою якої бітові потоки різних користувачів перетворюються на кодове слово в одному частотному ресурсі. Відбувається ефект накладання сигналу кодову книгу, який далі обробляється радіоінтерфейсом 5G. Технологія кодування FOFDM дозволяє організувати так звану «гнучку» зміну довжини символу та циклічного префікса. У свою чергу Polar Code є чи ним коригуючим кодом, що має в своїй основі явище поляризації каналу.

Архітектура існуючих мереж мобільного зв'язку була розроблена насамперед для задоволення вимог щодо передачі голосу та традиційних послуг мобільного широкосмугового доступу (Mobile Broadband, MBW) до мережі Інтернет. Така архітектура є недостатньо гнучкою для підтримки послуг 5G. В результаті існують нові аспекти побудови архітектури 5G, такі як:

- складні високошвидкісні гетерогенні мережі, які включають себе кілька ключових послуг, стандартів та типів вузлів;
- потрібна координація мультисервісних технологій;
- необхідна гнучка організація мережевих функцій з підтримкою віртуалізації;
- розгортання мережі здійснюється за мінімальний час у т.ч. «по вимогу».

Фахівці багатьох компаній, у тому числі Huawei (КНР), називають архітектуру 5G сервіс-орієнтованою, тим самим підкреслюючи її основну властивість – гнучке задоволення потреб різноманітних мобільних послуг. Така властивість досягається за допомогою впровадження SDN та NFV. За допомогою такої системи впровадження 5G здатна контролювати такі сфери, як доступ до хмарних файлів, транспорту та основних мереж.

Основна ідея впровадження SDN у рамках 5G полягає в наступному: рівень управління відокремлений від пристроїв передачі даних та реалізується за допомогою

програми. У традиційних комутаторах та маршрутизаторах ці процеси невіддільні один від одного.

SDN має основні переваги, які є безперечним атрибутом успішної організації сучасного «хмарного» (Cloud) середовища:

- спрощення та централізація управління, адміністрування та обслуговування послуг;
- зниження операційних витрат на технічне обслуговування та експлуатацію;
- швидше розгортання необхідних послуг;
- оператори можуть надавати інфраструктуру data-центрів для організації 5G як послуга (Infrastructure as a Service, IaaS) з інтеграцією ресурсів каналів зв'язку та хмарних IT-ресурсів;
- більш ефективне використання ресурсів телекомунікаційної мережі шляхом централізації управління ресурсами та його віртуалізації.

Технологія NFV призначена для запуску кількох операційних систем або кількох "ядер мережі" на одному фізичному сервері. Така технологія дозволяє поширити процес віртуалізації за межі серверів на всі типи мережевих пристроїв. За допомогою NFV іде заміна фізичних мережевих пристроїв з певними функціями на програмні сутності, які виконують такі ж функції на загальнодоступному серверному обладнанні.

Вищепризначені технології доцільно застосовувати для створення 5G з економічної точки зору для досягнення наступних показників:

- незалежне розподілення ресурсів кожного сервісного модуля 5G;
- забезпечення високої масштабованості системи;
- швидке застосування збірних компонентів за принципом Service Independence Block (SIB) замість очікування випуску готового функціонального компонента;
- поява нових віртуальних операторів на ринку;
- збільшення швидкості інновацій.

Безсумнівно, ці показники досягаються лише при комплексному підході до вирішення задач 5G із застосуванням нових технологічних рішень.

1.5. Технологічні рішення системи бездротового зв'язку 5G

З розробкою системи бездротового зв'язку 5G стали з'являтися нові технологічні рішення, такі як:

- системи з багатоканальним входом/багатоканальним виходом (Multiple Input Multiple Output, MIMO);

- Використання міліметрового діапазону (mmWave);

- D2D;

- вбудована підтримка мультитехнологічності.

Ці та інші технологічні можливості сприяють найбільш комплексному застосуванню 5G систем у промисловій та непромисловій сфері. Далі розглянемо кожен технологію докладніше.

Технологія MIMO заснована на використанні кількох антен на передавальній та приймальній сторонах радіосистеми, що дозволяє отримати вигоду у частині просторового рознесення та мультиплексування. Для досягнення максимальної швидкості передачі на вході та виході радіо з'єднання встановлюється рівне число антен. З технологічної точки зору ставиться дільник потоків, який на передавальній стороні буде передавати кілька підтоків інформації з малою швидкістю, число підтоків прямо пропорційно числу антен. Кожен підтік передається на свою антену. В одному з можливих способів організації технології MIMO сигнал передається від кожної антени з різною поляризацією, що дозволяє ідентифікувати його при прийомі.

На приймальній стороні кілька антен, які встановлюються з деяким просторовим рознесенням, як і на стороні, що передає, приймають сигнал з радіоефіру. Прийняті кодовані радіосигнали надходять на приймачі, кількість яких відповідає числу антен та трактів передачі. Сигнали надходять на кожен із приймачів від усіх антен. Далі кожен із суматорів виділяє сигнал того тракту, за який він відповідає.

Залежно від принципу роботи системи, сигнал, що передається 19 може повторюватися через певний час або передаватися з невеликою затримкою через інші антени.

З урахуванням наявних вимог до мереж 5G щодо швидкості передачі очікується, що високочастотні бездротові з'єднання в міліметровому діапазоні РЧС (з'єднання mmWave) стануть невід'ємним компонентом систем зв'язку нового покоління. Справді, частоти від 30 до 300 ГГц, що відповідає довжині хвилі від 10 до 1 мм, мають саме той резерв мережевих ресурсів, який необхідний у межах 5G задоволення всіх потреб користувача. Проект партнерства третього покоління (3G Generation Partnership Project, 3GPP) на даний момент активно розробляє нові специфікації щодо використання міліметрових довжин хвиль. Використання цього діапазону довжин хвиль має такі переваги:

- відносно широка смуга пропускання;
- додаткова ємність мережі;
- підтримка критично важливих програм (нові сервіси Інтернету Речів, мережі з надмалими затримками, надщільні мережі).

Проте в ході вивчення використання міліметрового діапазону в рамках мереж 5G стали з'являтися проблеми, які потребують детального розгляду та вирішення, а саме:

- потрібна розробка та впровадження нових моделей поширення радіосигналу;
- потрібні нові методи формування діаграми спрямованості антен (ДНА), які використовують mmWave;
- необхідно вивчення динамічного управління з'єднанням mmWave у системах зв'язку нового покоління;
- потрібно вивчення питання випадкового блокування передачі / прийому рухомими об'єктами.

Технологія D2D тісно пов'язана з так званими піринговими при20 (Peer-to-Peer, P2P), які становлять вагому частину всього абонентського трафіку. Через безпосередню близькість абонентів один до одного стає зручним вивантажувати всі дані

(трафік) із стільникової системи за прямими з'єднаннями «пристрій – пристрій». Таке системне рішення має низку незаперечних переваг:

- Збільшення швидкості передачі даних;
- Зниження затримки при доставці даних;
- Збільшення енергетичної ефективності з'єднання.

Технологія D2D передбачає взаємодію абонентів мережі без використання централізованої інфраструктури, знижуючи навантаження на неї [11], що, безумовно, також є важливим фактором в оцінці необхідності застосування даної технології. Для роботи технології D2D необхідно виконання двох дій:

- Виявлення сусідів-пристроїв.
- Встановлення прямого з'єднання, наприклад, у рамках технології бездротової локальної мережі з пристроями на основі стандартів IEEE 802.11 (Wireless Fidelity, WiFi).

На сьогоднішній день D2D може застосовуватися як у ліцензованому, так і неліцензованому РНС. Таке подвійне застосування має свої технологічні нюанси.

Ліцензований РНС є обмеженим і досить дорогим ресурсом стільникового зв'язку. Ресурсів такого РНС іноді недостатньо для задоволення потреб користувача мережі. Тому технологія D2D є перспективним напрямом для розвантаження мережі зв'язку. Тут розглядається проблема управління інтерференцією, включаючи контроль доступу до мережі та призначення потужності передачі.

Зазначені проблеми вирішуються за допомогою впровадження ухвалення рішення на користь одного з таких схемних рішень:

- D2D - з'єднання використовують ліцензовані спектральні ресурси. 21 спільно з традиційними стільниковими з'єднаннями;
- D2D – з'єднання використовують виділені радіоресурси;
- D2D - з'єднання не встановлюються і дані передаються стільниковим інфраструктурою.

Також у ліцензійному РНС відбувається впровадження мережевого помічника. Така функція надає можливість ефективної взаємодії в локальній мережі і не потребує виділення сервера розподілу ресурсів РНС. Мережевий помічник керує кожним

з'єднанням «пристрійпристрій». Враховуючи увагу, що в даний час приділяється мережам LTE, LTE-A (і до майбутнього досягнення піку їхнього потенціалу), багато показників розглянутої технології вже розглянуто та оцінено для ліцензійної зони D2D – комунікацій у частині:

- Розробка схеми D2D-Aware (MIMO);
- схеми мережевого кодування;
- Послідовне придушення перешкод;
- бездротовий розподіл відео через D2D.

У неліцензійному РНС (з точки зору 3GPP та ГКРЧ Росії) працюють такі відомі технології, як Wi-Fi та Bluetooth. Їх впровадження відбувається у бездротових персональних та локальних обчислювальних мережах (WPAN/WLAN). На неліцензованих частотах можливе виникнення певної кількості неконтрольованої інтерференції. Через це в такому РНС необхідно застосування надійної технології радіодоступу, яка забезпечить значний захист від випадкових перешкод.

У зв'язку з цим була розроблена технологія Wi-Fi Direct (WFD). Вона дозволяє спілкуватися пристроям без допомоги інфраструктури шляхом надання одному пристрою статусу «Власник групи», а іншим – статусу «Клієнти». Кожен «Власник групи» WFD забезпечує синхронізацію для всіх «Клієнтів» WFD, пов'язаних з ним, що дозволяє пристроям ефективно виявляти один одного та спілкуватися між собою.

На сьогоднішній день кількість пристроїв зв'язку, що підтримують технологію WFD, неухильно зростає, отже рівень потенційної інтерференції також збільшується. Розв'язанням задачі зменшення інтерференції є зниження накладних витрат на передачу сигнальних повідомлень. Тому технологію D2D у неліцензійному спектрі частот доцільно забезпечити формою мережевого сприяння або кооперації між безліччю пристроїв на порівняно обмеженій площі.

Множинність технологій радіообміну в мережах зв'язку нового покоління є основним фактором, де технічні показники та електромагнітна сумісність є важливими для користувачів. Як уже зазначалося раніше, показники швидкості передачі 5G будуть збільшені порівняно з попередніми поколіннями за рахунок збільшення

спектральної ефективності мережі та досягатимуть близько 1...7,4 Гбіт/с. Робочий частотний спектр також матиме нові показники – від 3,4...3,8 ГГц до 5,2...8 ГГц.

1.6. Аналіз впровадження 5G та схема побудови мережі

На сьогоднішній день фахівці галузі телекомунікацій покладають великі надії на впровадження та повсюдне використання систем зв'язку 5G. Мережі 5G для багатьох країн стануть можливістю здійснити технологічний стрибок у більшості сфер діяльності. Вже відомі деякі перспективні сфери застосування мереж п'ятого покоління в сучасних умовах, як показано на рис. 1.2. Розробкою специфікацій, нормативних документів та активним просуванням 5G мереж займаються багато комерційних компаній, науково-дослідні організації, об'єднання та спілки. Основними організаціями, що займаються стандартизацією 5G на світовому рівні, є:

- Міжнародна спілка електрозв'язку (МСЕ): сектор радіозв'язку (МСЕР) та сектор телекомунікацій (МСЕ-Т), в рамках яких були створені: робоча група WP5D «ІМ-системи» у дослідній комісії ІК5 «Наземні служби» та оперативна група (ОГ) ІМТ-2020 у дослідницькій комісії ІК13 «Майбутні мережі, включаючи хмарні обчислення, мережі рухомого зв'язку та мережі наступних поколінь»;

- 3GPP, що займається розвитком технологій мобільного зв'язку 2G/3G/4G та розробкою для них технічних специфікацій на глобальному рівні.



Рис. 1.2. Области застосування мереж 5G

Основні технічні вимоги щодо 5G сформульовані під час виконання європейського проекту IMT-2020. На сьогоднішній день 3GPP розробив специфікацію 5G, яка включає два релізи: Release 15, Release 16. 3GPP встановлює графік, згідно з яким різні технології 5G будуть готові до комерційного використання.

Прискорений графік розгортання 5G, затверджений 3GPP у 2017 році, дозволив операторам з усього світу розробити власні плани комерційного розгортання 5G. Release 15 містить у своїй основі такі функціональні можливості:

- покращений мобільний широкопasmовий доступ (Enhanced Mobile Broadband, eMBB);
- наднадійний міжмашинний зв'язок із низькими затримками (UltraReliable Low Latency Communication, URLLC);
- радіоінтерфейс на базі мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM);
- Взаємодія з системою LTE та ін.

Як зазначалося вище, запуск комерційних мереж зв'язку 5G планується до початку 2020 року. Однак перша хвиля тестових запусків 5G у низці країн уже відбулася – Китай, США, Японія, Фінляндія, Південна Корея. Загалом на кінець березня 2019 року 147 операторів із 72 країн провели тестування 5G. Основна увага в майбутніх специфікаціях 5G буде приділена новим сценаріям використання, включаючи промислові IoT рішення, наприклад, в областях робототехніки та систем телеприсутності. Цьому буде присвячено 16 реліз (випуск) специфікацій проекту 3GPP для URLLC, який планується завершити до грудня 2019 року.

Технологія 5G у перспективі суттєво впливає на економічне зростання та стратегічний розвиток будь-якої держави. За прогнозами експертів, системи зв'язку нового покоління 5G протягом наступних 15 років принесуть світовій економіці дохід у 2,2 трильйони доларів, а використання 5G у міліметровому діапазоні хвиль (частоти 10xГГц) збільшить частку загального вкладу 5G у світовий ВВП та досягне близько 25% від загального обсягу до 2034 року, що становить 565 мільярдів доларів у ВВП та 152 мільярди доларів у податкових надходженнях.

Багато країн створюють свої національні плани розвитку 5G, виходячи з конкретних потреб свого ринку. Так, наприклад, уряд Великобританії в березні 2017 року подав свій звіт щодо нормативної бази 5G – «Next Generation Mobile Technologies: A 5G Strategy for the UK». Уряд Індії сформував «Індійський форум високого рівня 2020 з питань 5G», завдання якого спрямовані на активне 25 розгортання 5G у країні. Європейський Союз (ЄС) розробив свій план – «Стратегія ЄС у галузі розвитку 5G», який має на увазі великі інвестиції на просування мереж зв'язку п'ятого покоління, а також був розроблений план Європейської конференції адміністрацій поштових служб та служб зв'язку (Conference of European Post and Telecommunications, CEPT), в якому основний акцент робиться на виділення частотного діапазону для 5G в Європі.

У 5G передбачено можливість використання сукупності частотних діапазонів, а саме 694–790 МГц для застосування за межами великих міст; частоти 1–6 ГГц, у тому числі 4,4–4,99 та 5,9 ГГц у великих містах. Частоти міліметрового спектра, тобто. вище 24 ГГц, наприклад, 30-55, 66-75, 81-86 ГГц будуть застосовуватися для виборчого покриття малих площ аеропортів, вокзалів, стадіонів.

Очікується, що в мережах 5G буде доступна технологія LAA (Licensed Assisted Access), яка передбачає використання ділянок РЛС, що не ліцензується, для умовно вільного доступу РЕМ із застосуванням вторинних агрегованих несучих (Secondary Carrier Channel, SCC) у груповому каналі. Також буде доступна агрегація із частотами нижче 7 ГГц, у тому числі WiFi. Передбачається, що використання LAA буде можливим у діапазонах 694-870 МГц, а також 4,4-4,99 ГГц, 24,25-29,5 ГГц і 30-55 ГГц.

На додаток до LAA очікується застосування технології загального доступу до РНС, що ліцензується, LSA (Licensed Sharing Access), що забезпечує спільне використання ділянок ліцензованого РНС, виділених з різних радіослужб. Це забезпечить надання додаткового ресурсу РЧС, насамперед для рухомого широкосмугового зв'язку, якщо зміна поділу смуг РЧС, агрегування РЧС небажані. LSA може бути доступна в діапазонах 694–790 МГц, а також 4,4–4,9 та 5,9 ГГц.

Для застосування LSA в мережах 5G використовуватиметься новий функціональний блок – спектральний менеджер (Hierarchical Spectrum Manager, HSM), який

дозволить використовувати лише ресурси РЧС, які доступні для повторного застосування; також HSM розподілить ресурси РЧС 29 між вторинними користувачами. HSM може підтримуватись регулюючим органом, третьою стороною або власником ліцензії РЧС.

Оператори стільникового зв'язку можуть координувати через HSM свої політики використання загального ресурсу РЧС з урахуванням ресурсів РЧС кожного з операторів. Певним недоліком технології LSA буде збільшення затримки встановлення сеансу зв'язку при прийнятті рішення HSM про можливість використання смуг РЧС, оскільки тут буде необхідно додатково зробити запит до геолокаційної бази даних, щоб запобігти перешкодам первинним користувачам РЧС. Технології LSA та LAA будуть доступні для двох сценаріїв застосування мереж 5G, а саме МіоТ та eMBB, але не доступні для URLCC.

Для надання абоненту послуг певного сегмента планується використовувати мережевий шар мережі 5G, як показано на рис. 1.4 який включає в свій склад необхідний набір віртуальних мережевих функцій VNF. Один абонентський термінал може використовувати до восьми таких мережевих шарів. Особливість полягає в тому, що модуль керування доступом та мобільністю AMF має бути загальним для всіх мережевих шарів, що обслуговують абонентський термінал.

Кожен мережевий шар характеризується ідентифікатором мережевого сегмента S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information), а дані про декілька мережевих шарів (всього до восьми) групується у допоміжну інформацію про мережні шари NSSAI (Network Slice Selection). Дані NSSAI формуються окремо для різних мереж мобільного зв'язку, залежно від ідентифікатора наземної рухомої мережі загального користування PLMN-id (Public Land Mobile Network Identifier).

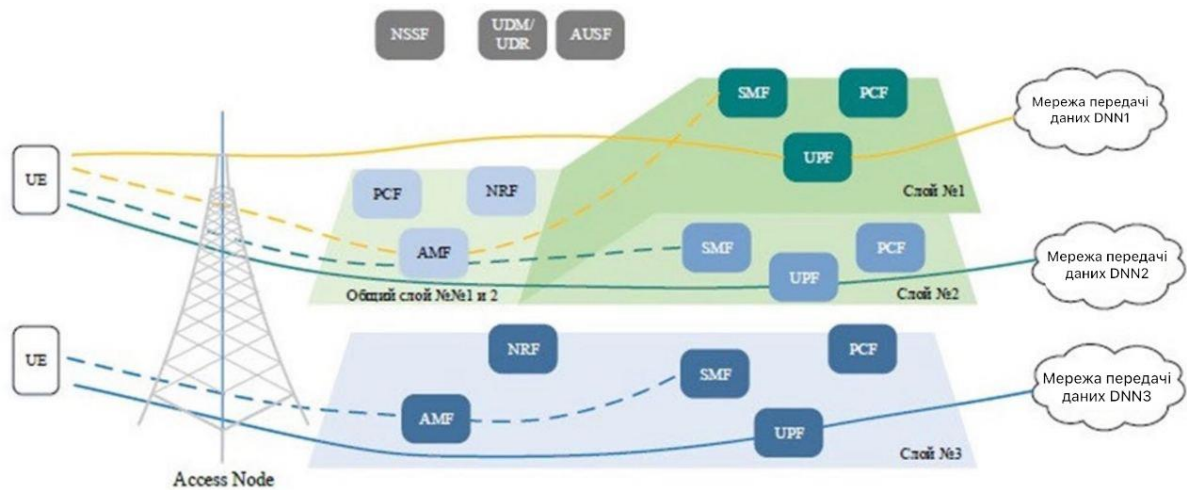


Рис. 1.3. Схема мережевих шарів 5G

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У даному розділі було проаналізовано мережу п'ятого покоління, порівнявши її з попередніми поколіннями, визначено їх різницю а також плюси і мінуси мережі нового покоління. Також проаналізовано технічні подробиці нової мережі та аспекти її впровадження для використання у містах та селах.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ 5G

2.1. Склад та призначення компонентів схеми мереж 5G

Для операторів мереж зв'язку загального користування (ССОП) особливу увагу приділяють плануванню мережі для її ефективної побудови та експлуатації надалі. Планування мережі є комплексним завданням, яке включає такі питання, як: розробка структури мережі, переліку послуг та плану їх впровадження, розрахунок пропускної спроможності мережі, її надійності, продуктивності мережевого обладнання тощо. Також важливими питаннями у процесі планування мережі є оцінка стану телекомунікаційного ринку та динаміки платоспроможності населення з урахуванням соціальних та географічних факторів. Усі вимоги щодо радіоінтерфейсу та планування мережі складають загальні мережеві вимоги, які пред'являються до мереж для їх повноцінного та ефективного функціонування.

Архітектура мережі 5G включає централізоване та децентралізоване розміщення окремих складових мережевих вузлів. Така архітектура базується на концепції надання різних видів послуг та можливості обміну великим потоком даних з використанням технологій NFV та SDN. Основними ключовими можливостями архітектури 5G є:

- Підтримка єдиних алгоритмів та процедур аутентифікації; - Визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу;
- поділ мережевих елементів на мережеві шари (Network Slicing), виходячи з послуг, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів;
- збільшення гнучкості в частині масштабування та розгортання мережі.

Згідно зі специфікаціями 3GPP виділяють 4 типи реалізації самоорганів. 32 низуючих мереж (Self-Organizing Networks, SON) для 5G:

- централізована мережа, що самоорганізується, а саме кросцентралізована

та домен-централізована;

- розподілена мережа, що самоорганізується;
- гібридна мережа, що самоорганізується.

Архітектура мережі забезпечує функціонування централізованої та децентралізованої архітектури 5G, у сукупності вони складають схему мережі. Схема мережі містить три основні принципи реалізації мережі 5G:

- Наднадійні мережі;
- ультра-щільні мережі;
- мережі із надмалими затримками.

Тут виділяють основні характеристики мережі 5G, які засновані на перерахованих вище принципах:

- швидкість з'єднання до 20 Гбіт/с (максимум низхідного каналу DL (DownLink));
- Затримка сигналу 1 мс (User Plan);
- агрегація спектру – можливість агрегації до 16 смуг із різних або з одного діапазону до одного каналу;
- надійність мережі (коефіцієнт готовності) – 99,999% для URLLC (Ultra Reliable Local Link Connection);
- кількість підключень – до 1 млн. на 1 кв. км.

Цикл надання телекомунікаційних послуг у мережах 5G потребує комплексного аналізу сфери телекомунікацій, якість якого оцінюється за допомогою індексу задоволеності клієнта CSI (Customer Satisfaction Index). CSI має 4 етапи, через які проходять телекомунікаційні послуги:

1) Підготовчий етап, який включає: проектування послуг зв'язку, попереднє планування, техніко-економічне обґрунтування з погляду ресурсів та обслуговування мережі.

2) Етап введення в експлуатацію, який включає формування CSI, ув'язування CSI з мережевими ресурсами мережі та готовність до використання споживачами послуг зв'язку.

3) Етап роботи CSI, який включає активацію CSI для використання споживачами послуг зв'язку, функціонування послуг зв'язку відповідно до певної якості обслуговування.

4) Етап зняття з експлуатації CSI включає активацію, після завершення, яким припиняється необхідність використання CSI, процес його експлуатації завершується.

Під послугами користувачеві в мережах 5G розуміється сукупність сервісів з інформування та оповіщення клієнта зв'язку. У мережах п'ятого покоління виділяють поняття MSGin5G (Message Service, використовуване для персоналу та комунікації з 5Gсистемою), яке є службою обміну повідомленнями між пристроями, що підтримують IoT. Для задоволення вимог віддаленого керування та якості передачі сигналу між IoT речами, служба MSGin5G повинна задовольняти наступним вимогам:

- Низька затримка при передачі повідомлень; - Висока надійність доставки повідомлень;

- ресурсоефективність – оптимізація використання ресурсів мережі.

При використанні служби MSGin5G виділяють кілька типів повідомлень:

- двокрапкове кінцеве повідомлення: пересилання повідомлень дит безпосередньо в обладнанні користувача;

- повідомлення «від докладання до точки (application-to-point message)», тобто. передача повідомлення між користувальницьким обладнанням та сервером додатків;

- групове повідомлення, що передається між одним користувачем обладнанням та групою;

- ширококомовне повідомлення, що передається між сервером додатків та всіма користувальницькими обладнаннями конкретної зони обслуговування.

Послуги управління є категорією послуг, що вимагають мінімальну частку затримки за часом. Тут інформація між об'єктами має високий пріоритет та безпеку передачі даних. До таких послуг відноситься, наприклад, технологія підключення автомобіля до будьякого об'єкта в мережі (Vehicle to Everything, V2X). Ця технологія дозволяє самокерованим автомобілям обмінюватися даними один з одним, внаслідок

чого рух таких автомобілів стане безпечнішим і автономнішим. Критерієм, що відображає функціональні аспекти та рівень автоматизації V2X, є LoA (Level of Automation). Тут виділяють наступні стани:

- 0 – немає автоматизації;
- 1 – допомога водію;
- 2 – часткова автоматизація;
- 3 – умовна автоматизація;
- 4 – висока автоматизація;
- 5 – повна автоматизація.

Інший сценарій застосування послуг управління – потокове передавання інформації (5G Media Streaming, 5GMS). У специфікації 3GPP TS 26.501 потокова передача визначається як доставка безперервних у часі даних, виходячи з пріоритету. Потокова передача даних передбачає надсилання інформації в одному напрямку та використання її в міру надходження. Тут слід виділити такі функціональні можливості клієнта на рівні інтерфейсу користувача:

- медіа декапсуляція (Media Decapsulation);
- розшифрування медіа (Media Decryption);
- медіа декодування (Media Decoding);
- медіа презентація та рендеринг (Media Presentation and Rendering).

Послуги управління включають управління ресурсом мережі. Під ресурсом мережі, головним чином, розуміється частотний ресурс, швидкісні та ємнісні показники мережі. Для мереж покоління 5G пріоритетними є вищі частоти – вище 6 ГГц. Сумарна пікова швидкість передачі даних повинна досягати 10Гбіт/с, а просторова ємність мережі - 10Мбіт/с/м².

2.2. Моделювання каналів у мережі 5G

Моделювання каналів у бездротових мережах зв'язку є важливим аспектом щодо оцінки продуктивності системи зв'язку в цілому. Під каналом зв'язку

розуміється сукупність технічних засобів, якими повідомлення передається від абонента А до абонента Б.

Сьогодні існує велика кількість апаратних комплексів, які допомагають реалізувати моделювання каналів, наприклад, імітаційна модель імпульсної характеристики каналу (SMRCIM), програма для обчислення середньої частоти бітових помилок (BERSIM) та ін. розглянути програмний продукт NYUSIM. Він є комплексом програмно-математичних засобів, що моделюють канал зв'язку мережі 5G. Інтерфейс користувача (рис. 2.1) дає можливість введення параметрів моделювання різного роду. Усі параметри умовно поділені на 4 групи:

- Параметри каналу (Channel Parameters);
- властивості антени (Antenna Properties);
- параметри тривимірної послідовності (Spatial Consistency Parameters);
- параметри блокування людиною (Human Blockage Parameters).

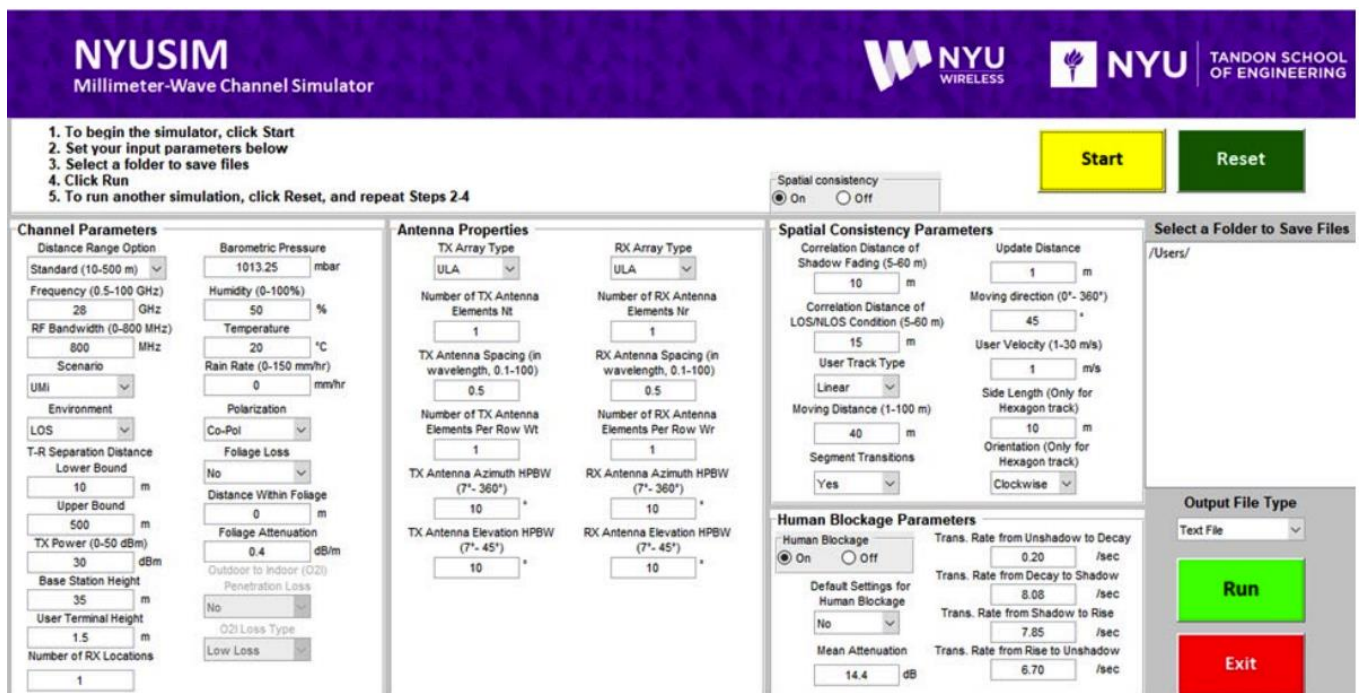


Рис. 2.1. Інтерфейс користувача програми NYUSIM

Моделювання в даному програмному продукті ґрунтується на наступних математичних виразах:

Великомасштабна модель втрати шляху описується виразом (2.1):

$$PLCI(f,d)[дБ] = FSPL(f,1m)[дБ] + 10n\log_{10}(d) + AT[дБ] + \chi\sigma, (2.1)$$

де n – Показник втрати шляху; d – відстань, м; AT – атмосферне поглинання.

Вільне поглинання у тракті $FSPL$ (2.2):

$$-4\pi f \times 10^9 - FSPL(f,1m)[дБ] = 20\log_{10} - = 32,4 + 20\log_{10} - (f), (2.2)$$

де f - Несуча частота; c – швидкість світла.

Зробимо моделювання, використовуючи наступні вхідні параметри:

- Частота: 28 ГГц;
- Ширина смуги частот: 800 МГц;
- нижня межа відстані: 10 м;
- Верхня межа відстані: 100 м;
- Потужність передавача: 30 дБм;
- Вологість повітря: 50%;
- Температура: 20 °С;
- Кількість антенних елементів TX N_t : 1;
- Кількість елементів антени RX N_r : 1;
- Відстань між антенами TX: 0,5 довжини хвилі;
- Відстань між антенами RX: 0,5 довжини хвилі;
- азимут антени TX HPBW: 10°;
- Висота антени TX HPBW: 10 м;
- азимут антени RX HPBW: 10°;
- Висота антени RX HPBW: 10 м;
- блокування людиною: увімкнено.

Результати моделювання наведено на наступних малюнках (рис. 2.2, 2.3, 2.4):

3-D AOA Power Spectrum - 28 GHz, UMi LOS, 83.3 m T-R Separation

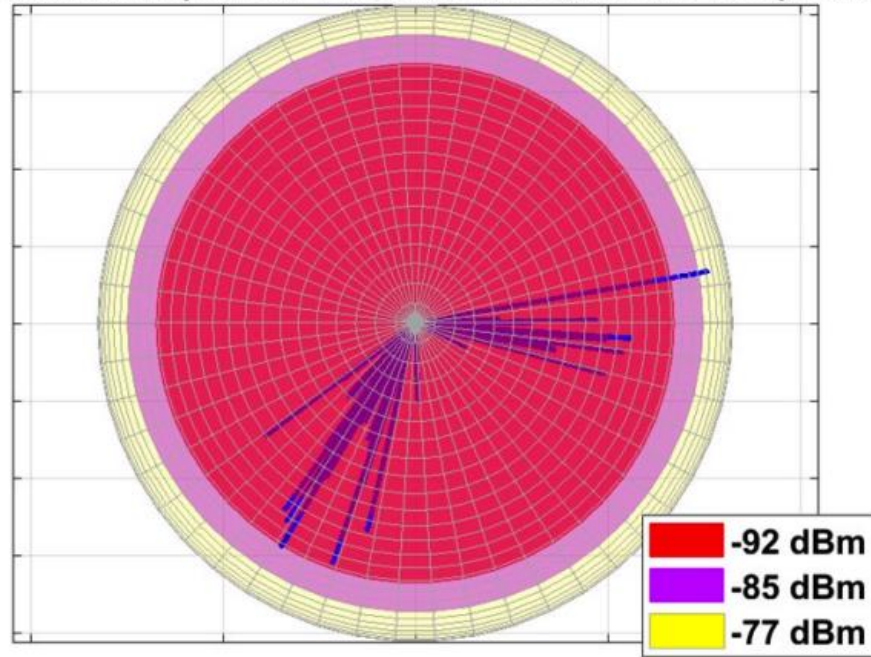


Рис. 2.2. Результат моделювання спектра потужності АОА

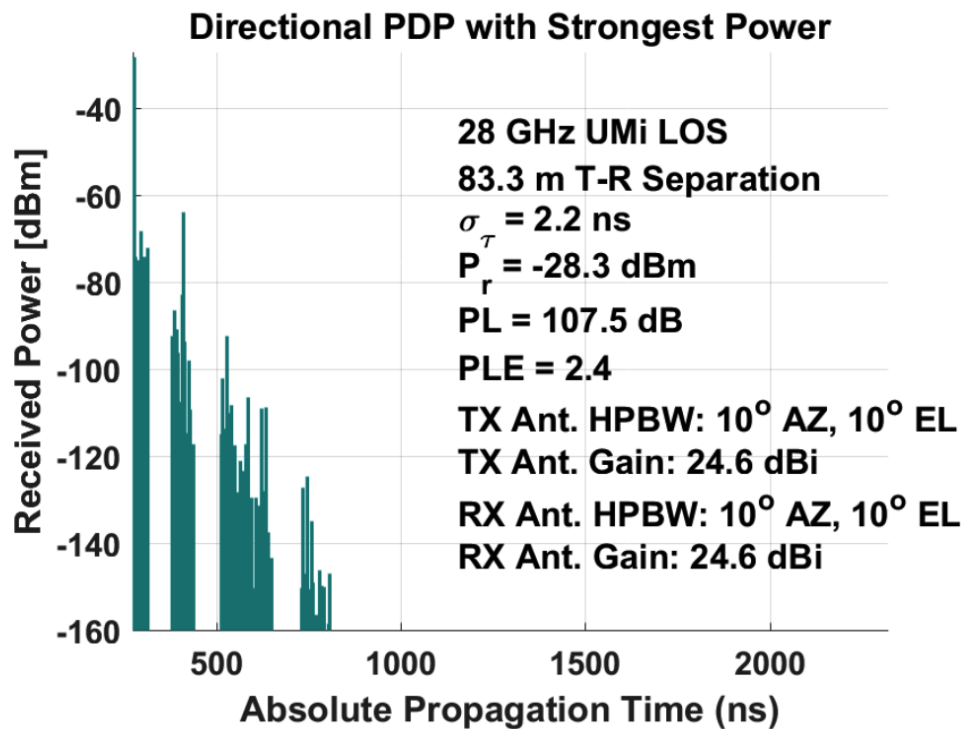


Рис. 2.3. Результат моделювання профілю затримки потужності (Power Delay Profiles, PDP)

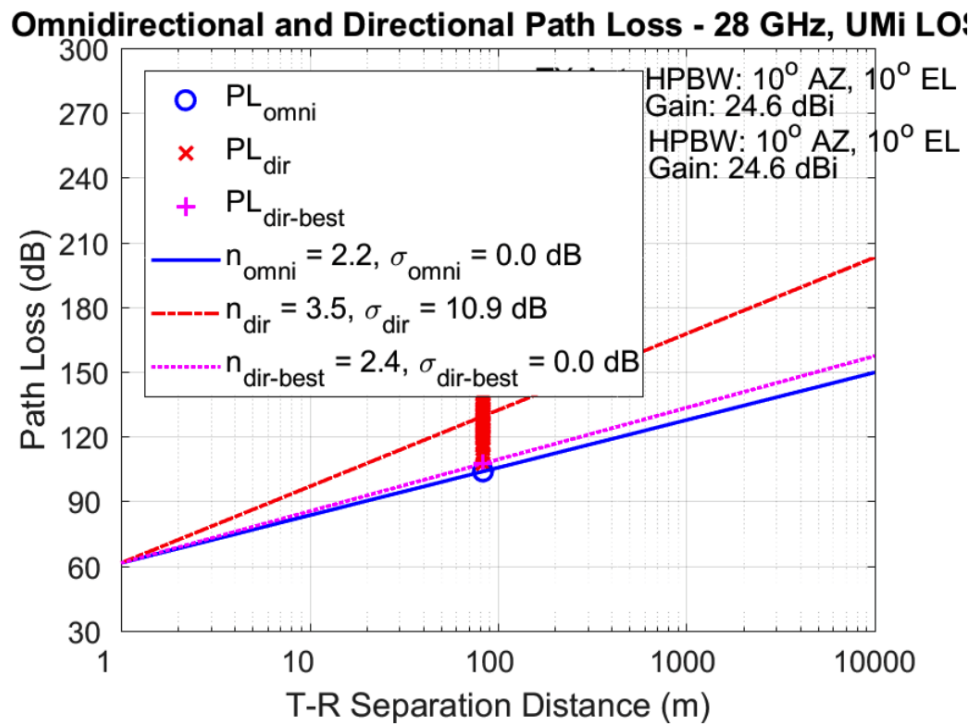


Рис. 2.4. Результат моделювання всеспрямованої та спрямованої втрати шляхи

На основі отриманих результатів моделювання можна зробити висновок про практичну значущість програмного продукту NYUSIM у сфері вивчення та наочного моделювання мереж зв'язку покоління 5G. Отримані графіки на рис. 2.2, 2.3 і 2.4 дозволяють зробити висновок про можливість застосування мереж 5G насамперед для побудови надщільних мереж, які використовуються для покриття порівняно малих площ з великою кількістю приймачів-передавачів інформації, яким потрібні високі швидкості обміну даними, наприклад, інтелектуальні транспорт - ні системи.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У даному розділі було розглянуто архітектуру мереж 5G, а також змодульовано канали у мережі п'ятого покоління.

РОЗДІЛ 3

QoE ТА QoS

Перш ніж говорити про QoS та QoE в технології 5G, слід звернутися до визначення QoS за визначенням Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ): "Сукупність характеристик телекомунікаційної послуги, які впливають на її здатність задовольняти заявлені та неявні потреби користувача послуги". У той же час, за визначенням МСЕ, QoE - це "ступінь задоволення або роздратування користувача додатком або послугою". Очікується, що технологія 5G з усіма її перевагами також буде відповідати значенням QoS, QoE, надійності та високої безпеки. Моделювання для отримання значень QoS з попередніх технологій може не підходити для технології 5G. Це пов'язано зі значенням QoE, присутнім в епоху 5G. Параметри QoS, такі як втрата пакетів, швидкість втрат, мережеві затримки, PSNR і час проходження, вважаються менш ефективними в 5G в основному для медіа-комунікації з відео, тому що при оцінці якості відео-медіа є значення задоволеності, представлене в QoE. Таким чином, хоча параметр QoS все ще вважається життєво важливим, його недостатньо для значення задоволеності користувачів.

У більшості користувачів складається враження, що 5G просто забезпечить більшу швидкість передачі даних. Це дійсно так: пропускна здатність збільшиться завдяки додатковому спектру, який стане доступним для операторів завдяки ліцензуванню частот 5G. Це, безумовно, покращить досвід завантаження, особливо в районах з високим навантаженням. Однак 5G - це більше, ніж просто більша швидкість передачі даних.

Методи моделювання, особливо з певними додатками, є методами, які найчастіше використовуються для отримання значень QoS і QoE. Це моделювання здійснюється з різними типами, починаючи від статистики, краудсорсингу, з використанням інструментів та віртуального моделювання з машинним навчанням, SDN тощо. Використання математичних рівнянь, таких як оптимізація Ляпунова [19], аналіз ланцюгів Маркова [3], алгоритм псевдокоду [4] є підходами для отримання значень QoS.

Методом, який також близький до математичного підходу, є Priority Queue і цей метод часто використовується для наближення вимірювання значення QoS до технологій до 5G. Наступним методом, який часто використовується, є тестовий стенд з обладнанням для вимірювання якості телекомунікаційної мережі. Цей тестовий стенд починається з процесу тест-драйву, що проводиться телекомунікаційними операторами для перевірки мережі, якою вони керують. Тестовий стенд для отримання значення QoS виконується на шляхом введення параметрів віртуально або припускаючи вимірювання існуючої мережі, в даному випадку це технологія 4G.

Основна перевага 5G полягає в масштабованих сегментах мережі, що підтримують індивідуальні транспортні вимоги для критично важливих або менш важливих додатків. Ці сегменти мережі можуть бути налаштовані на надзвичайно короткі затримки, особливо надійні з'єднання або пікові швидкості передачі даних. Надзвичайно короткі затримки дозволять широко використовувати нові типи додатків, такі як мобільні електронні ігри в реальному часі, і представити нові класи користувачів, такі як промисловість або автомобільна промисловість, чий мережеві вимоги відрізняються від людських.

3.1. Виміри QoE в 5G

З розвитком мережевих можливостей необхідно внести деякі суттєві зміни у вимірювання якості мережі.

При проведенні процесу вимірювань для отримання значень QoS та QoE за технологією 5G, його проводили ряд дослідників. Використовуються різні підходи, методи та об'єкти для отримання результатів, які можуть проілюструвати, наскільки перевага технології 5G полягає в задоволенні якості обслуговування для її користувачів. У цьому розділі ми обговоримо різні вимірювання QoS та QoE з групуванням на основі об'єктів вимірювання, методів, що використовуються, а також засобів масової інформації або даних в якості матеріалу для вимірювання.

Фундаментальна концепція QoE і її основні виміри залишаються незмінними, навіть якщо змінюється важливість для користувача і пороги прийнятності. Це також

справедливо і для нелюдських додатків, оскільки буде існувати схема толерантності, де додатки задовольняють свої вимоги, і знижуючий діапазон, де функціональність поступово деградує до точки марності.

Отже, буде існувати модель оцінки для нелюдських випадків використання, яка слідує принципам, подібним до моделі QoE для людських випадків використання. Основними вимірами QoE є

Доступність та стійкість: Чи є у мене взагалі доступ до послуги, і чи технічно підтримується з'єднання?

Час очікування дії (запуск та/або завершення завдання): Скільки часу займає доступ (наприклад, час встановлення зв'язку, налаштування IP-сервісу)?

Якість: Який досвід під час активного використання?

У 5G доступність і стійкість будуть забезпечуватися завжди, і дуже рідкісні збої будуть більш дратувати користувачів, ніж сьогодні; але збої будуть настільки рідкісними, що вони матимуть незначний вплив на загальний рівень якості. Те саме стосується часу доступу та очікування; вони стануть дуже короткими і матимуть незначний вплив на якість.

Ключовим викликом є вимірювання досвіду під час активного використання додатку, наприклад:

Як сприймається якість (наприклад, якість відео)? Який час реакції на дію або інструкцію (наприклад, машині)? Наскільки вільно надається послуга? Чи бувають переривання, обриви зв'язку, чи інший кінець тимчасово недоступний?

3.2. Поняття інтерактивності

Враховуючи, що пропускна здатність не є єдиним ключовим параметром для нових, інтерактивних додатків або послуг управління в режимі реального часу, основними ключовими параметрами мережі є наступні:

- Пропускна здатність (швидкість передачі)
- Транспортна затримка
- Безперервність передачі даних

Звичайно, різні типи додатків і варіантів використання будуть мати різні вимоги в цих трьох вимірах. Завантаження даних, наприклад, оновлення карт, вимагає переважно високої швидкості передачі даних; для телефонії і/або спостереження в реальному часі основна увага приділяється безперервності; а для взаємодії в реальному часі, як в доповненій реальності (AR), вимоги є високими в усіх трьох вимірах.

При використанні трафіку, включаючи затримку або хендовер, переваги полягають в ефективності і є більш специфічними для об'єкта, який є матеріалом для вимірювання. Вибір об'єктів також варіюється до тих пір, поки він знаходиться в межах трафіку і може бути адаптований до типу зв'язку 5G, як і те, що вимірюється. Крім того, об'єкт, який використовує аномалію з умови QoS, має переваги, оскільки він імітує існуючі умови і надає альтернативу для подолання аномального стану. Інші об'єкти, а саме реакція користувача має переваги з точки зору дешевого фінансування, швидка, оскільки безпосередньо отримує відповідь від джерела, може бути зроблена у великих масштабах, а також може охоплювати багато речей, якщо це пов'язано з тим, що отримується або відчувається користувачем. Але в трафіку, як об'єкті, є недолік - відсутність вимірюваних користувацьких елементів, так що він більше орієнтований на вимірювання якості пристрою. Недоліками об'єкта аномалії QoS є те, що стан аномалії не обов'язково виникає і є випадковим, тому він не є загальноприйнятним. В об'єктах з користувацькими елементами також є недоліки, а саме, отримані результати можуть бути інтерпретовані більш ніж одна або дві речі, так що це має можливість бути складним для аналізу.

Вимірювана безперервність і затримка для заданої швидкості передачі даних або навіть для всієї установки, включаючи магістраль і віддалений сервер або пристрій, може бути названа інтерактивністю мережі. QoE залежить від варіанту використання і пов'язаних з ним очікувань і транспортних вимог. Однак, основні ключові показники ефективності (KPI) і технічні параметри однакові; різниця полягає в тому, як вони зважуються в моделі QoE.

Для одночасного вимірювання швидкості передачі даних, затримки та безперервності ми розробили та впровадили інтегративну концепцію тестування - тест на інтерактивність. Ідея полягає в тому, що користувацьке обладнання (UE) виступає в

ролі клієнта, який надсилає потік пакетів на активну віддалену станцію, наприклад, сервер або партнерське UE, яке виступає в ролі відповідача та відображає пакети на UE.

Найбільш важливим аспектом отримання реалістичних результатів вимірювань, таких як в реальних додатках, є емуляція моделей трафіку і навантаження під час вимірювання так, як вони відбуваються в реальних додатках. Це призводить до результатів, які будуть достовірно нагадувати реальний QoS, який буде відчувати користувач програми.

Для вимірювання затримки і оцінки якості передачі недостатньо просто відправити кілька пакетів. Тому реалізований тестовий кейс призначений для емуляції реальних моделей трафіку та створення потоків даних, як у додатках реального часу. На стороні клієнта задається шаблон трафіку, що надсилається - розмір та частота пакетів, і таким чином контролюється швидкість передачі даних.

Швидкість відправки пакетів досить висока, щоб створити квазібезперервний потік пакетів. Оскільки клієнт контролює корисне навантаження пакету, а також час відправлення та отримання, це можна виміряти:

- Швидкість передачі даних TX і RX
- Затримку пакетів в обох напрямках
- Варіацію затримки пакетів (джиттер) як зміну затримки в часі
- Коефіцієнт втрат пакетів
- Коефіцієнт пошкодження пакетів (функція дорожньої карти).

3.3. Протоколи тесту на інтерактивність

Обмін даними тесту на інтерактивність базується на протоколі User Datagram Protocol (UDP). UDP не тільки є основним протоколом для додатків реального часу, але також є протоколом, який є найбільш близьким до фізичного рівня, і дозволяє уникнути додаткового неконтрольованого трафіку за допомогою підтверджень і повторних передач.

Протокол вищого рівня для потоку даних між клієнтом і сервером базується на TWAMP, двосторонньому активному протоколі вимірювання. TWAMP є сучасним протоколом, визначеним організацією зі стандартизації Internet Engineering Task Force (IETF). Він призначений для впровадження в такі компоненти, як міжмереві екрани, маршрутизатори та IP-шлюзи для вимірювання продуктивності.

Клієнт на UE реалізований під Android native для мінімізації впливу ОС та досягнення високої точності вимірювань для реальних вимірювань наднадійного зв'язку з низькою затримкою (URLLC).

Існує цінна відмінність між тестом інтерактивності та пінг-тестами. Простий пінг-тест використовує окремий протокол і призначений для перевірки доступності IP-пристрою в мережі. Він майже не створює навантаження, а транспортна система може не знати про протокол.

Тест на інтерактивність генерує шаблони трафіку, які є типовими для реальних сценаріїв використання. Передача великого потоку UDP-пакетів на високій частоті при моделюванні реального сценарію використання вимагає іншої мережі, ніж відправка серії пінгів, і це дозволить намалювати більш реалістичну картину затримки, джиттера затримки і втрат пакетів.

3.4. Приклад шаблону трафіку eGaming в реальному часі

Оскільки ми хочемо застосувати реалістичне навантаження на мережевий трафік, ми повинні визначити окремі патерни як архетипи для різних додатків. Крім того, можна припустити, що додатки з взаємодією в реальному часі включають в себе якийсь джиттер-буфер, який буде скидати інформацію після певного періоду очікування. Тому основними керуючими параметрами для такого шаблону трафіку є:

- Швидкість передачі пакетів
- Розмір пакету
- Бюджет затримки пакетів (при перевищенні якого пакет вважається втраченим)
- тривалість тесту

Ці параметри не обов'язково залишаються постійними протягом тесту; вони також можуть імітувати стрибкоподібні форми, як це характерно для додатків з тимчасово високоінтерактивними фазами.

У цьому тематичному дослідженні, присвяченому типовим моделям трафіку, що створюються сучасними найбільш вимогливими з точки зору мережі багатокористувацькими онлайн-іграми в реальному часі, я виявив наступне:

- Мобільний трафік не є постійним, а залежить від фази гри
- У звичайних фазах швидкість передачі даних становить близько 100 Кбіт/с
- У фазах високої інтерактивності, з більш ніж 100 одночасними гравцями, швидкість передачі даних збільшується приблизно до 300 Кбіт/с
- Пікова швидкість передачі даних становила близько 1000 Кбіт/с за короткий проміжок часу.

Ці висновки дозволяють нам визначити наступну модель трафіку як складний, але реалістичний сценарій для додатків для електронних ігор в реальному часі:

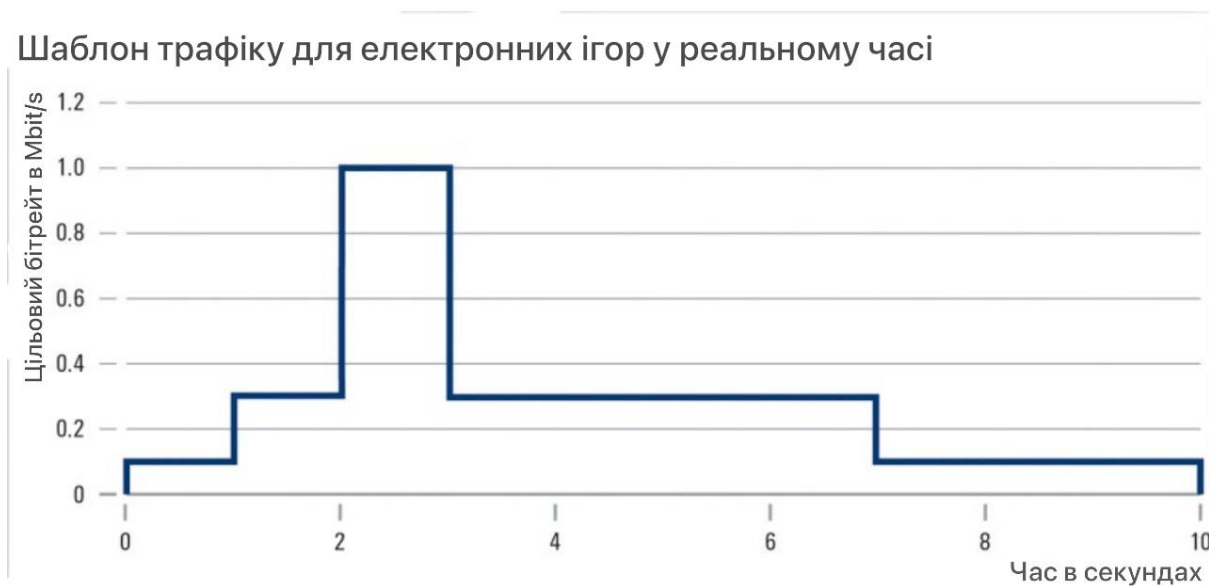


Рис. 3.1. Форма запланованого трафіку з початковою фазою, високоінтерактивною фазою, стійкою фазою та завершальною фазою

3.5. Сценарії вимірювання

Перш ніж розпочати власне тестування, необхідно розглянути ще одну тему. Яке з'єднання слід вимірювати? Тест пропонує високу гнучкість щодо положення сервера, що відповідає. Rohde & Schwarz пропонує легку віртуальну машину Linux, яка може бути встановлена в будь-якому місці в хмарі, приватній мережі або навіть на іншому смартфоні, якщо він має публічну IP-адресу. Крім того, протокол TWAMP підтримується обраними інфраструктурними обладнаннями, яке потенційно може бути розташоване безпосередньо на межі мережі.

Рішення про місце розташування сервера залежить від варіанту використання, що цікавить. Для електронних ігор сервер, як правило, повинен бути розташований десь в хмарі. Для технічного вимірювання радіоінтерфейсу, наприклад, для досягнення наднизьких затримок в 5G, сервер повинен бути розташований якомога ближче до межі мережі.

3.6. Результати тесту на інтерактивність

При налаштуванні трафіку в обидва боки і застосуванні реалістичної моделі трафіку, тест на інтерактивність вимірює індивідуальні затримки декількох тисяч пакетів за один тест. Це призводить до багатого набору технічних KPI і додатково служить вхідними даними для моделі QoE, адаптованої до конкретного додатку. Технічними KPI тесту інтерактивності є

Затримка: Двостороння затримка вимірюється як середній час проходження в обидва кінці (RTT) всіх окремих RTT пакетів, які успішно повернулися назад до відправника сеансу вчасно. Додатково розраховується 10-й перцентиль RTT, що представляє найкращий випадок RTT для поточного каналу.

Варіація затримки пакетів (PDV): Відповідно до RFC 5481, варіація затримки пакетів окремого пакета визначається як відхилення від мінімальної вимірної затримки окремого пакета. Медіана цього розподілу є хорошою мірою варіації затримки.

Коефіцієнт помилок пакетів (PER): Коефіцієнт помилок пакетів виводиться з кількості всіх пакетів, які не були доступні гіпотетичному додатку в необхідний час, включаючи:

- Пакети, які навіть не змогли покинути клієнтський пристрій через перевантаження висхідної лінії зв'язку
- Пакети, які були втрачені по дорозі
- Пакети, які були занадто повільними і прибули після заданого бюджету затримки пакетів; вони відкидаються і вважаються втраченими
- Пакети з пошкодженим корисним навантаженням (функція дорожньої карти).

3.7. Точність тесту на інтерактивність

По-перше, потрібно обговорити точність вимірювань, якої ми досягли в результаті нашої реалізації, оскільки тест на інтерактивність націлений на додатки наднадійного зв'язку з низькою затримкою (URLLC), що стали можливими завдяки мережам 5G. Щоб оцінити точність вимірювань, яка може бути досягнута в ідеальному мережевому каналі, було створено еталонну установку з надзвичайно низькою затримкою.

Смартфон з тестом інтерактивності, запущеним на портативному пристрої Qualcomm, був підключений безпосередньо через Ethernet (через USB-інтерфейс) до сервера Linux, на якому знаходився відбивач сеансів. Вся установка була автономною і не була підключена до Інтернету, щоб жодні фонові дані не могли вплинути на проведення тесту.

У цьому еталонному середовищі було проведено понад 1000 тестів з шаблоном eGaming в режимі реального часу і досягнуто дуже низьких затримок, варіацій затримки пакетів і високого показника інтерактивності. Зокрема, вимірено середню двосторонню затримку $1,26 \text{ мс} \pm 0,01 \text{ мс}$. Середній показник інтерактивності становить 99,6 %. На рисунку 3.2 нижче показано еталонну установку і результати вимірювань одного з тестів, проведених в цій установці для аналізу точності.

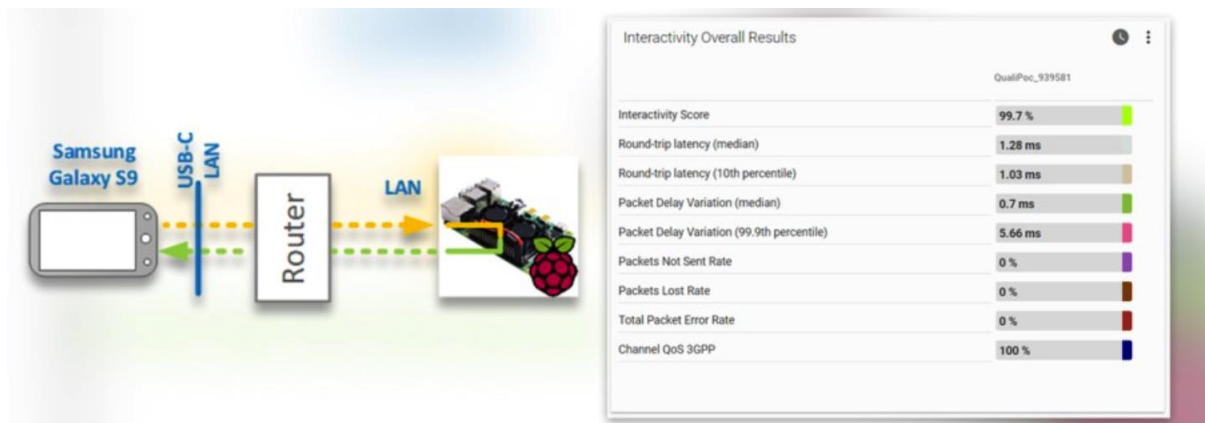


Рис. 3.2. Еталонна установка для аналізу точності (ліворуч); результати вимірювання в еталонному налаштуванні з низькою затримкою

Аналіз коефіцієнтів відхилень показує, що лише 1:5000 пакетів надходять більш ніж на 10 мс пізніше, ніж медіанний RTT. Ці повільніші пакети, ймовірно, спричинені різницею у часі обробки на Android, оскільки це не операційна система реального часу.

В цілому, точність вимірювання є достатньо високою для вимірювання затримок в обидва боки до 1 мс і підходить для вимірювань URLLC.

3.8. Результати тестування інтерактивності в хороших умовах 4G

В якості першого реального польового прикладу ми хочемо показати типовий результат в хороших умовах мережі 4G/LTE з швидким, добре підключеним хмарним сервером всередині країни. У таких умовах ми бачимо, що середні затримки в обох напрямках становлять приблизно від 40 мс до 25 мс. За хороших мережевих умов жоден пакет не втрачається і не затримується за межами бюджету затримки пакетів 2×50 мс, а отже, QoS каналу становить 100 %.

Оцінка інтерактивності є нижчою за максимальне значення 100%, зі значеннями між 75% та 85% через досить довгу затримку в обидва боки для додатків реального часу. Однак навіть у цьому діапазоні можна очікувати задовільного або хорошого досвіду електронних ігор у реальному часі.

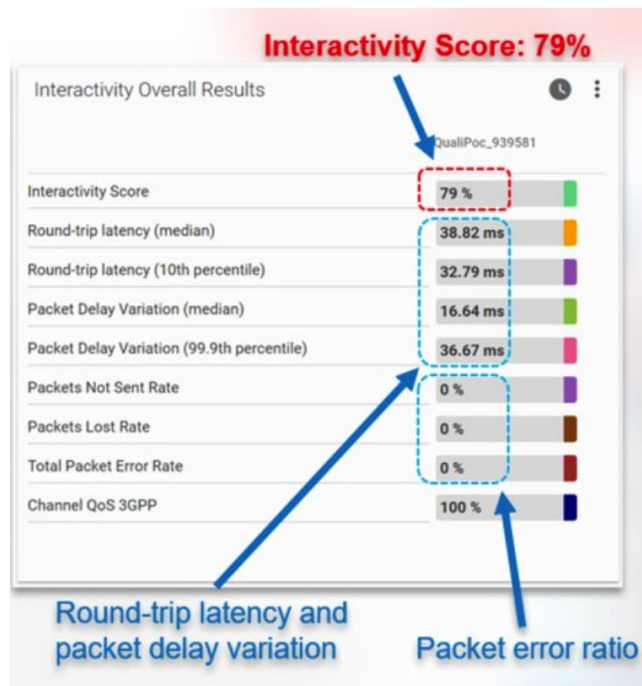


Рис. 3.3. Загальні результати тесту інтерактивності в хороших умовах 4G, представлені в SmartAnalytics

На Рисунку 3.4 нижче кожна зелена риска позначає індивідуальну затримку в обох напрямках для одного пакета. Це дає негайне враження про розподіл затримок у часі. Квазібезперервний потік даних моделі трафіку eGaming імітує реальні моделі навантаження додатків. Це призводить до більш широкого і набагато більш реалістичного розподілу вимірювань, ніж може дати пінг-тест.

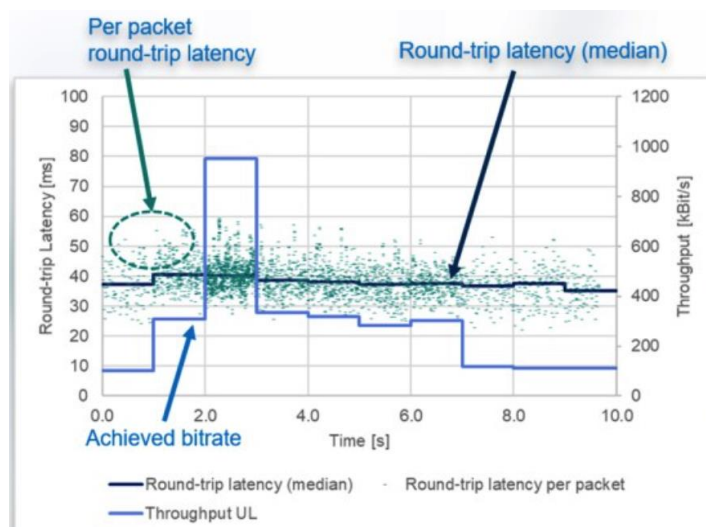


Рис. 3.4: Затримки для кожного пакета та проміжні результати одного тесту інтерактивності в хороших умовах 4G

3.7. Приклад хороших умов NR 5G EN-DC

Зараз, коли з'являються мережі 5G, давайте подивимося, як вони працюють з точки зору затримок і інтерактивності в порівнянні з мережами 4G. Вимірювання в режимі 5G EN-DC з подвійним підключенням в хороших мережевих умовах показують, що затримка, як правило, лише на кілька мс менше, ніж в мережах 4G. Крім того, варіація затримки пакетів також на кілька мс менша порівняно з LTE. Оцінка інтерактивності, таким чином, є вищою і знаходиться в діапазоні від 85 % до 90 %, що свідчить про добрий або дуже добрий досвід електронних ігор в режимі реального часу.

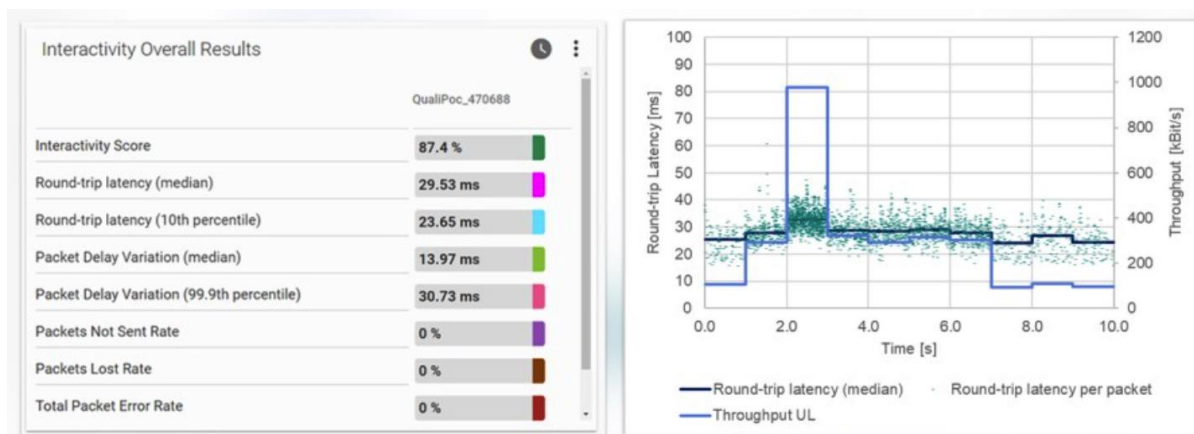


Рис. 3.5. Результати тесту інтерактивності в хороших умовах 5G EN-DC

Причиною відносно невеликої різниці в затримці в обох напрямках між вимірюваннями в мережах 4G і 5G EN-DC є те, що основна радіотехнологія і основна мережа залишаються незмінними. Тому не слід очікувати жодної власної переваги для вимірювань затримок.

Дуже цікавими є результати власної бенчмаркінгової кампанії, проведеної в січні 2020 року в двох європейських країнах з п'ятьма різними провайдерами. 10-й центиль затримки в обидва кінці є мірою для "найкращого сценарію" затримки.

Провайдери А, В, D і Е розгорнули мережі 5G EN-DC, і ми вимірюємо зменшення затримки на кілька мс для 5G в порівнянні з 4G, якщо дивитися на 10% найшвидших передач. Однак провайдер С, який ще не розгорнув 5G, може конкурувати з

затримками 5G в інших мережах завдяки більш високій пропускній здатності, виділеній для мережі 4G провайдера С.

Average round-trip latency 10 th percentile		
Network	4G	5G EN-DC
A	27 ms	23 ms
B	28 ms	24 ms
C	25 ms	-
D	27 ms	24 ms
E	30 ms	28 ms

Рис. 3.6. Результати порівняльного аналізу вимірювання затримки за допомогою тесту інтерактивності в двох європейських країнах.

3.8. Приклад 4G/5G з агрегацією операторів

Тест на інтерактивність особливо цінний для виявлення короточасних проблем в потоці пакетів для високоінтерактивних додатків, таких як тимчасове збільшення затримки, втрачені і сильно затримані пакети і більш тривалі переривання. Такі види порушень, як правило, невидимі для більшості типів тестів додатків.

Існує багато цікавих прикладів для демонстрації виявлення короточасних проблем в потоці пакетів. Ми розглянемо один з них, який представляє кілька репрезентативних подій в одному тесті. Він проводився з моделлю трафіку реального часу eGaming і починався в технології 4G. На третій секунді тесту, коли попит на пропускну здатність зростає, було додано другу 4G-носій.

Ця проста мережева дія часто призводить до тимчасового збільшення затримок, що перевищують допустиму максимальну затримку в 100 мс; втрата пакетів

позначена червоними інтервалами на рисунку 5 нижче. З'єднання відновлюється після завершення реконфігурації мережі. Аналогічні проблеми виникають під час хенд-оверів, а також при додаванні несучої 5G. На останніх двох секундах тесту в умовах стабільної роботи мережі 5G помітне незначне падіння затримки в обидва боки порівняно з 4G.

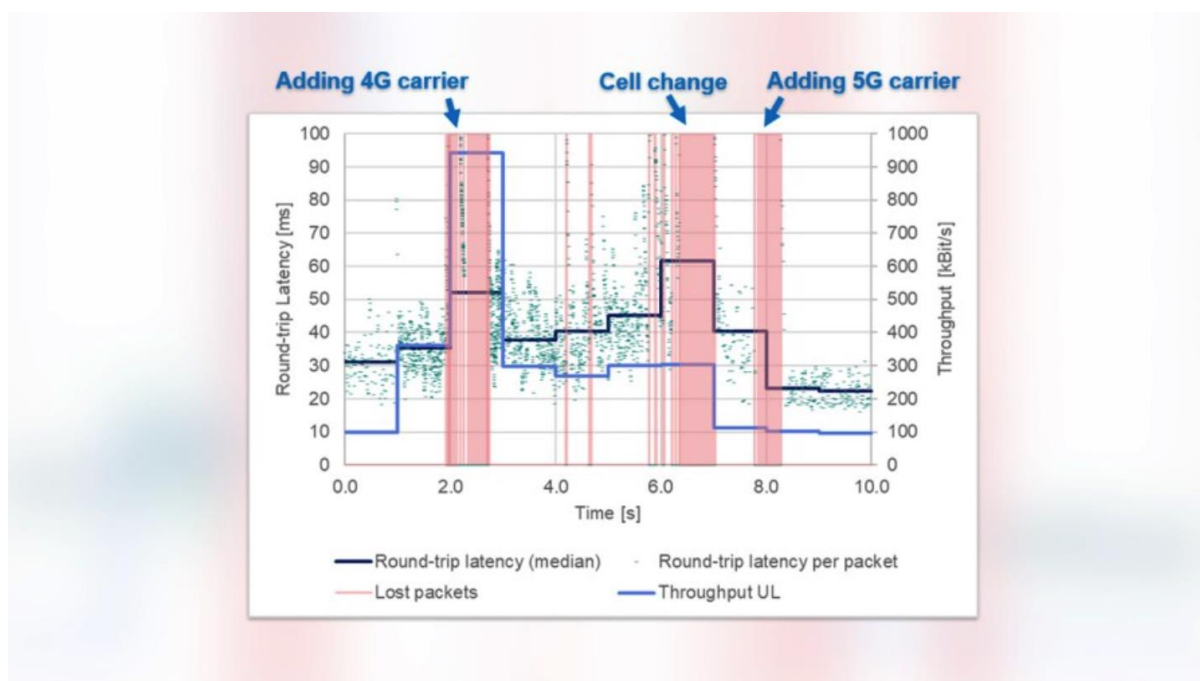


Рис. 3.7: Результати тесту інтерактивності за наявності агрегації несучої та хенд-оверів

В цілому, середня затримка в обох напрямках все ще знаходиться в прийнятному діапазоні, але висока варіація затримки пакетів та втрата пакетів призводять до того, що оцінка інтерактивності становить 0 %. За таких умов роботи мережі неможливо грати в ігри в реальному часі.

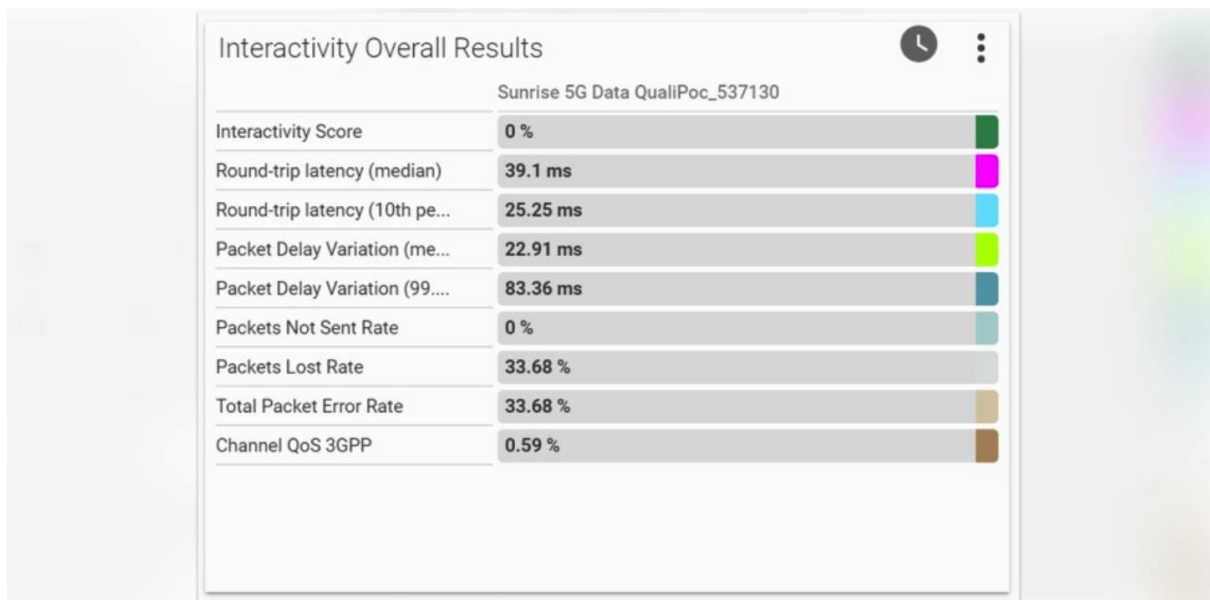


Рис. 3.8. Загальні результати тесту інтерактивності за наявності агрегації несучих і хендовера

Агрегація несучих та агресивні зміни в стільниках максимізують пропускну здатність, але за рахунок затримок та інтерактивності в реальному часі. Цей висновок має бути врахований мережевими провайдерами, оскільки важливість інтерактивних додатків зростає.

У магазині Verizon Store, де проходила презентація, на фасаді був встановлений вузол 5G. І при невеликій відстані між Moto Z3 і вузлом, при наявності прямої видимості, пристрій зміг досягти швидкості 651 Мбіт/с в нижній частині потоку. Порівняйте це з більш пізнім тестом в мережі 4G, який показав 213 Мбіт/с в низхідному потоці. Тим часом, висхідні дані фактично використовують тільки 4G, тому ніякого приросту швидкості для них немає.

Як ця швидкість перетворюється на реальну продуктивність?

Всі відео з роздільною здатністю 1080p на YouTube почали відтворюватися миттєво, коли ми переглядали одне за одним. При прокручуванні кожного відео виникала миттєва пауза, перш ніж відтворення відновлювалося. Однак після переходу на 4G ми не побачили великої різниці, виконуючи ті ж самі дії.

Оскільки більшість з нас не використовує мобільну мережу лише для тестування швидкості, ми одразу ж перейшли до Play Store, щоб завантажити важку гру

PUBG Mobile розміром 1,81 ГБ. У мережі 5G завантаження зайняло трохи більше 4 хвилин 30 секунд. Повторне завантаження в мережі 4G зайняло 6 хвилин і 8 секунд.

Отже, хоча мережа 5G, безумовно, є швидшою з двох мереж, це не на порядок.

3.9. Вплив відстані до сервера на затримку та джиттер

Затримка передачі даних є дуже - якщо не найбільш - важливим фактором для інтерактивних і реальних сценаріїв використання в майбутніх мобільних мережах. Сьогодні основна увага часто приділяється максимізації бітрейту і пропускної здатності для швидкого завантаження, але майбутні додатки вимагатимуть надзвичайно низької затримки для взаємодії в реальному часі. Наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC) є важливим аспектом 5G, що забезпечує дуже низьку затримку по радіоканалах. URLLC вимагає наявності сервера на межі мережі, який ідеально підключається до основної мережі. Незважаючи на те, що радіоканал може підтримувати дуже низьку затримку, не всі з'єднання можуть його використовувати, а загальні сервери контенту мають з'єднання лише за умови максимальних зусиль.

Реальна польова затримка сьогодні включає в себе мережу LTE, підключену до серверів по всьому світу. Як географічна відстань від сервера впливає на час транспортування та джиттер затримки? Щоб відповісти на це питання, з низкою серверів по всьому світу зв'язалися за допомогою мобільних телефонів з різних країн світу. Для отримання реалістичних значень затримок був емульгований потік даних, типовий для додатків реального часу, з використанням двостороннього протоколу активного вимірювання (TWAMP) відповідно до IETF RFC 5753.

3.10. Як вимірювалася затримка

Пінг-тести часто використовуються для тестування затримок. Однак "пінг" використовує спеціальний протокол, який може не запускати планування ресурсів у мережах для реальних додатків. Для більш реалістичних вимірювань затримок був використаний метод TWAMP, який генерує потік даних, що імітує реальний

інтерактивний тип додатку, надсилаючи тисячі UDP-пакетів з корисним навантаженням на сервер-відбивач. Цей метод має дві явні переваги:

Мережа сприймає потік пакетів як такий, що походить від реального додатку, UDP є типовим протоколом для сервісів реального часу і з порівнянними розмірами пакетів

Замість індивідуальних результатів "пінгу", двостороння затримка базується на тисячах індивідуальних затримок пакетів, що забезпечує набагато більш надійну статистику.

Нижче наведено приклад досить стабільної передачі. Він охоплює визначений період спостереження в 30 секунд, і кожна точка представляє окремий UDP-пакет і його двосторонню затримку або час проходження від смартфона через мережу LTE до хмарного сервера в Інтернеті і назад.

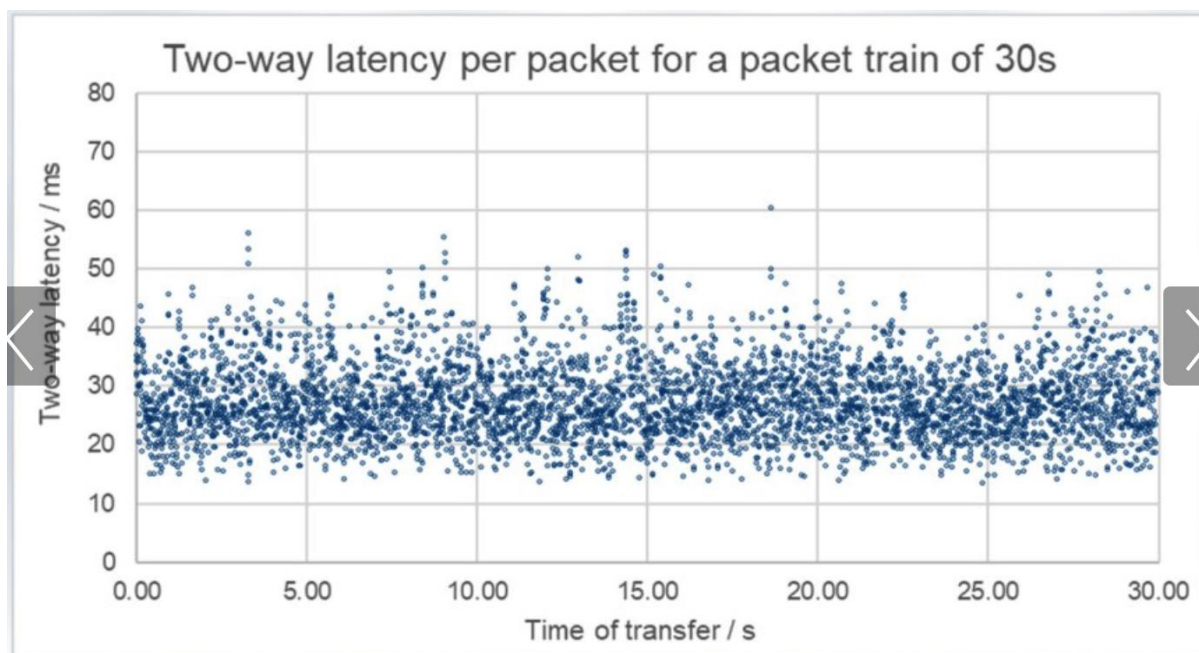


Рис. 3.9. Двостороння затримка на пакет для серії пакетів становить 30 с

Рисунки чітко ілюструють, що затримка не є постійною для даного з'єднання. Під час транспортування пакети буферизуються і ставляться в чергу на декількох етапах, перш ніж рухатися далі. Проміжна буферизація відбувається не тільки на рівні UDP, але і в транспортних блоках на нижчих рівнях. Кожного разу, коли пакет або його частина потрапляє на наступну транспортну ланку, він може мати коротше або

довше очікування перед подальшим транспортуванням, подібно до очікування пересадки на залізничній станції. Час проходження окремих пакетів залежить від стану черги та проміжного часу очікування. Деякі пакети майже не мають часу очікування, в той час як іншим може "не пощастити" і вони чекають довше на кількох зупинках перед тим, як вирушити далі, але більшість проходять з коротшим або довшим проміжним часом очікування. Результатом є середній або середній час очікування.

Розподіл двосторонніх затримок для пакетів у 30-секундному пакетному поїзді має невеликий логнормальний розподіл. Як і очікувалося, жоден пакет не транспортується швидше нижньої межі. Ця межа продиктована виключно фізичними особливостями транспортування та мінімально можливою довжиною всіх проміжних черг на шляху проходження. Більшість пакетів явно мають затримку у вузькому діапазоні вище нижньої межі, але вони набагато швидші, ніж пакети з найбільшою затримкою, що вказує на те, що просте середнє значення не є гарним наближенням для оцінки затримки. Медіана дає надійне уявлення про затримку для більшості пакетів, тоді як 10-й перцентиль є надійним наближенням до найкоротших можливих затримок при встановленні з'єднання.

Однак відмінності в часі транспортування є настільки ж важливими, як і медіана. Для визначення діапазону розподілу необхідний показник джиттера. Таким показником є варіація затримки пакетів (PDV) відповідно до IETF RFC 5481.

3.11. Як затримка пакетів та варіація затримки залежать від відстані до веб-сервера

Очевидно, що затримка залежить від географічної відстані до сервера, але як щодо варіацій затримки джиттера?

Давайте почнемо з затримки, використовуючи медіану вимірної двосторонньої затримки для пакету за період спостереження. Статистичні дані вимагають серії з приблизно п'ятдесяти вимірювань від кожного місця розташування клієнта до кожного сервера. Вимірювання в кожному місці проводяться за допомогою смартфонів у різних локальних мобільних мережах для усереднення відмінностей у мобільному

з'єднанні. Кожен символ на діаграмі означає місце розташування клієнта смартфона, підключеного до одного з серверів. Вимірювання у всіх протестованих локальних мережах були усереднені для окремих локацій. Сервери використовувалися в Північній Америці, Південно-Східній Азії, на Близькому Сході і в Європі.

Існує чітка кореляція з географічною відстанню. Також спостерігається розкид між відстанями по осі x для рівнинної прямолінійної відстані, в той час як фактичні з'єднання використовували існуючі оптоволоконні або коаксіальні кабелі.

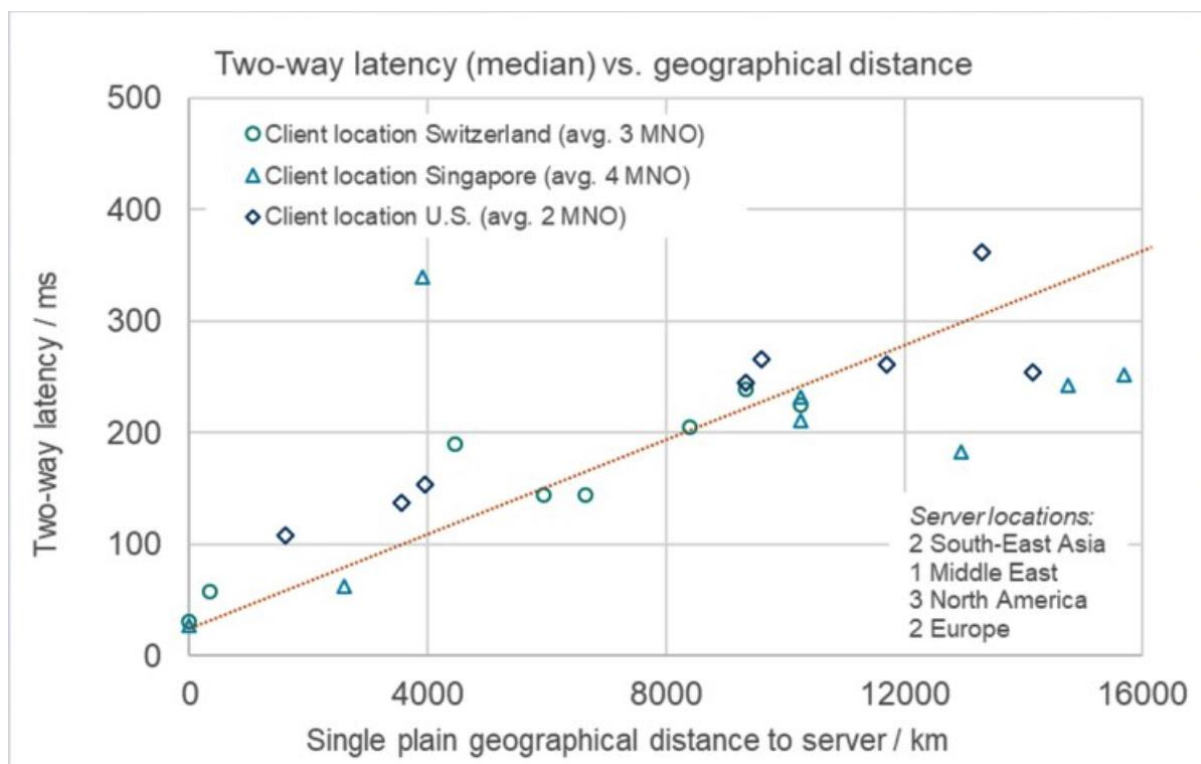


Рис. 3.10. Несподівано довгий час у дорозі спричинений неоптимальним між-міським маршрутом між двома місцями та стосується всіх чотирьох мобільних операторів

Затримка не є однаковою для кожного пакета, а медіанне значення показує чіткий зв'язок між затримкою та відстанню проходження. У додатках в режимі реального часу затримка прибуття окремих пакетів може мати вирішальне значення, що робить варіацію затримки пакетів (PDV) ще однією важливою метрикою.

На наступній діаграмі представлено середні значення PDV для чотирьох операторів в одному місці з LTE-з'єднанням з різними серверами. Кожна форма символу представляє окремого оператора мобільного зв'язку.

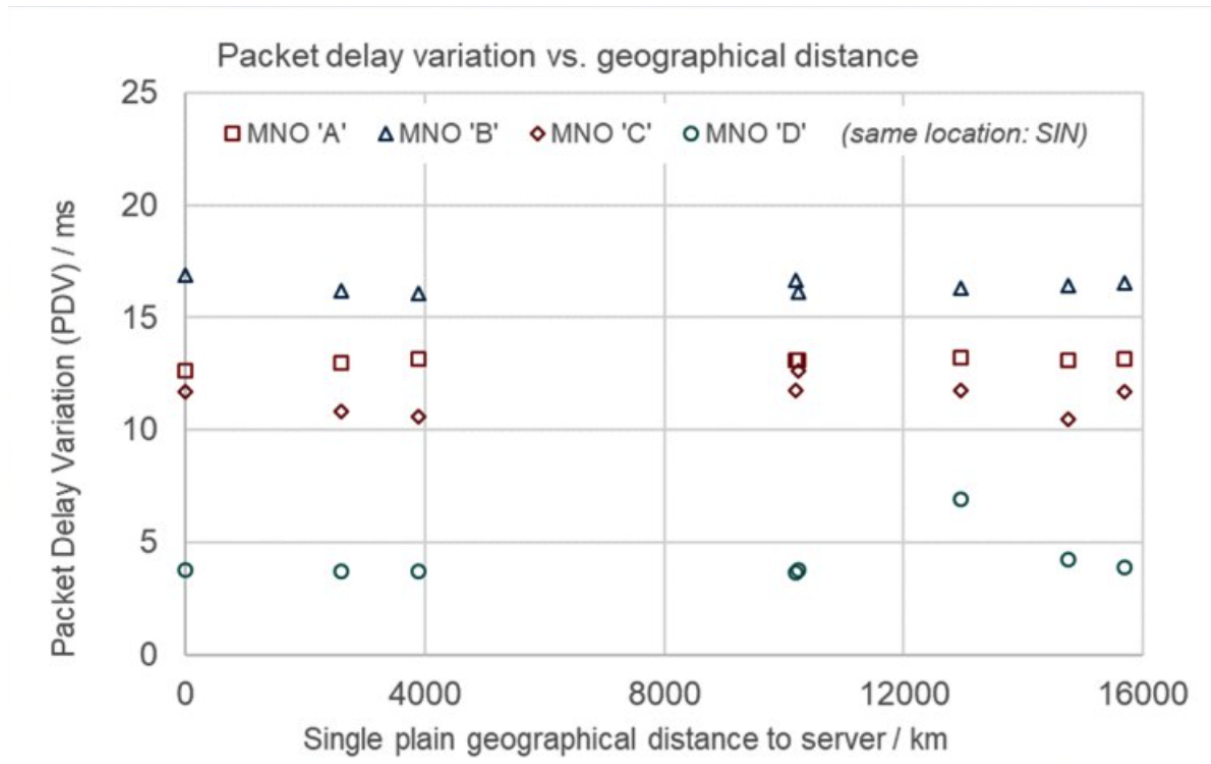


Рис. 3.11: Існують окремі мережі (E і F), де відбувається значно більша варіація затримки. Однак високий PDV також не залежить від відстані до сервера та є характеристикою локальних мобільних мереж

Варіація затримки пакетів явно не залежить від відстані до сервера або від кількості вузлів і стрибків у міжміському з'єднанні. PDV визначається виключно локальною мобільною мережею.

Географічна відстань до віддаленого сервера або клієнта визначає абсолютну затримку. У сучасних мережах LTE затримка від 20 до 30 мс є реалістичною для з'єднання з локальним веб-сервером на відстані в кілька сотень кілометрів. Сучасні мережі 5G EN-DC вже дозволяють зменшити затримку до локальних веб-серверів до 12-15 мс, якщо для висхідної та низхідної лінії зв'язку використовуються носії 5G. Чим коротша і більш кількісно вимірювана затримка, тим важливішою стає відстань до сервера.

Однак відстань до сервера може бути більшою у відносних порівняннях між мережами та кількісними варіаціями затримок. Більш висока базова затримка присутня, але варіації затримок і відмінності між мережами та операторами в цілому залишаються однаковими, оскільки вони визначаються локальними мережами, де відстань до сервера практично не відіграє ролі.

Затримка передачі даних стала дуже, якщо не найбільш, важливим фактором в інтерактивному режимі та режимі реального часу для мобільних мереж наступного покоління. Можливість роботи в реальному часі визначається не тим, як швидко доставляються пакети, а тим, які з них отримуються останніми. Нижче проаналізовано відстань, яку пакети даних повинні долати в каналах мобільної мережі при зміні мережевих умов.

У цьому дослідженні розглядається затримка даних у реальних мобільних мережах. Нещодавно було досліджено, як відстань до сервера може впливати на затримку та джиттер. Тепер потрібно зробити більш детальний аналіз того, скільки часу потрібно для транспортування пакетів даних в мобільних каналах, коли умови мережі постійно змінюються. Зміни в основному пов'язані з переміщенням користувача, але також можуть бути викликані неоптимальним покриттям і перевантаженістю мережі.

Знову ж таки, затримка передачі даних є одним з найважливіших факторів в інтерактивних і реальних умовах використання в мобільних мережах. Наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC), який забезпечує дуже короткі періоди затримок по радіоканалах, є ключовою обіцянкою технології 5G. URLLC вимагає наявності сервера на межі мережі, який ідеально підключений до основної мережі. Незважаючи на те, що технологія радіозв'язку підтримує дуже короткі затримки, це повинно бути вірно для кожного пакета, і потрібно визначити продуктивність при русі, а також в умовах недосконалого радіоканалу. Можливість роботи в реальному часі визначається не найшвидшими доставленими пакетами, а тими, що доставлені останніми.

3.12. Вимірювання латентності

Для отримання реалістичних вимірювань затримок типовий потік даних для додатків реального часу був змодельований з використанням двостороннього протоколу активного вимірювання (TWAMP) відповідно до IETF RFC 5357. Він заснований на протоколі користувачьких дейтаграм (UDP), який застосовується для більшості мережових комунікацій в реальному часі. Ми транспортували тисячі UDP-пакетів до мережевого сервера і назад. Ми вибрали частоти і розміри пакетів, типові для додатків, що працюють в реальному часі. Пакети безпосередньо надсилалися і перехоплювалися за допомогою інтерфейсу IP-розетки в сучасному смартфоні. Така архітектура запобігала додатковим затримкам з боку верхніх шарів операційної системи Android і діяла як технічний вимір або додаток, що найбільше нагадує інтерфейс реального часу для мобільного клієнта.

Пакети передавалися протягом 30 с з бітрейтом 300 кбіт/с і вимірювалася двостороння затримка від передавального мобільного клієнта до відбиваючого сервера і назад.

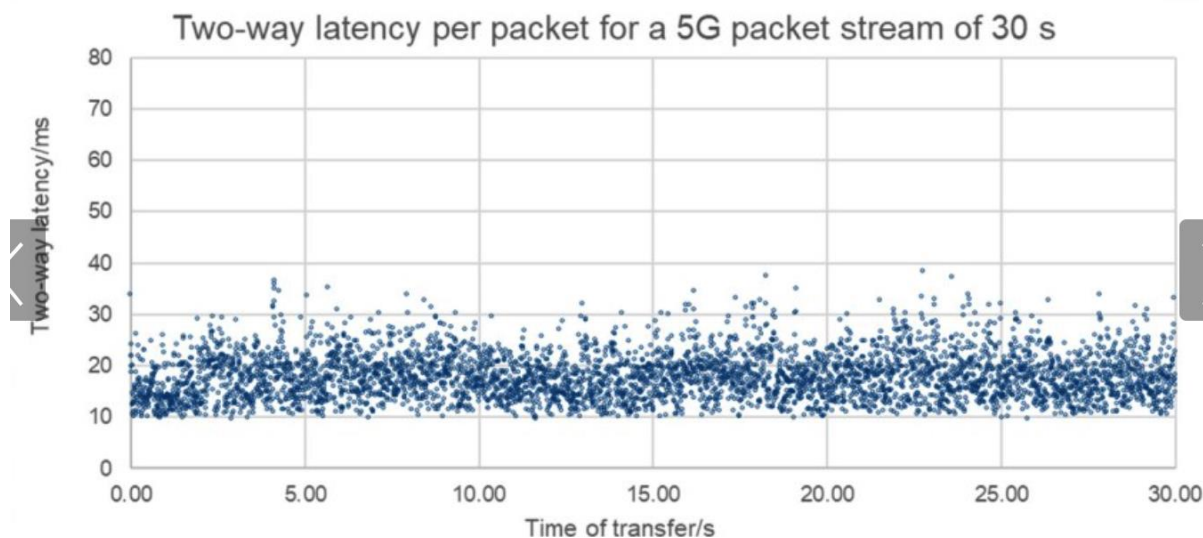


Рис. 3.12. Двостороння затримка на пакет для потоку пакетів 30 с

Цей результат дуже схожий на попередній запис у блозі, але цього разу для висхідних і низхідних каналів використовувалися оператори 5G з неавтономним

з'єднанням 5G, що призвело до скорочення двосторонньої затримки на 10 мс. Цей сценарій швидко показує, що затримка не є постійною величиною для даного з'єднання або мобільного каналу, оскільки транспортні пакети буферизуються і ставляться в чергу на декількох етапах перед тим, як рухатися далі. Така проміжна буферизація відбувається не тільки на рівні UDP та IP, але й на нижчих рівнях у вигляді транспортних блоків.

Двостороння затримка пакетів у 30-секундному потоці пакетів мала незначний логнормальний розподіл. Більшість пакетів чітко мали затримку у вузькій смужі вище нижньої межі, будучи набагато швидшими, ніж найбільш затримані пакети.

Однак, варіація часу транспортування є такою ж важливою, як і медіанна швидкість, і показник джиттера повинен визначати цю варіацію. IETF RFC 5481 вимагає використання варіації затримки пакетів (PDV) у вимірюваннях. Пакети з найдовшим часом транспортування визначають пропускну здатність послуги в реальному часі. 3GPP вимагає час передачі в один бік 50 мс для додатків реального часу, таких як електронні ігри, або 100 мс, якщо розглядати висхідну та низхідну лінії зв'язку разом. Стабільний приклад, наведений вище, легко відповідає цій вимозі. Однак нові послуги і додатки, такі як автоматизація виробництва або управління безпілотниками, вимагають ще більшого скорочення цього дуже жорсткого допуску на затримку до діапазону від 10 до 40 мс в обидва боки.

3.13. Як затримка пакетів і варіація затримки залежать від мобільних технологій

Мобільний канал не має постійних умов передачі, які існують у волоконно-оптичному з'єднанні. Пропускна здатність залежить від місцевих радіоумов, які можуть змінюватися через фізичне переміщення мобільного клієнта і зміни в навантаженні мережі, викликані іншими абонентами. Більш низька якість каналу може зменшити передачу даних разом з реконфігурацією мережі, викликану перемиканням осередків, додаванням або вивільненням додаткових несучих, зміною частот або навіть транспортних технологій.

Потрібно детально вивчити затримку. Наведений вище потік пакетів складається з 150 пакетів в секунду по 250 байт кожен при швидкості передачі даних 300 кбіт/с. Зображення нижче є типовим при дослідженні часу затримки пакетів при зміні мережеских умов. Кожна синя точка позначає отриманий пакет. Зверніть увагу, що вісь у на графіку відкладена до 600 мс, щоб охопити дуже довгий час транспортування. Червоні точки представляють очікувані пакети, які були втрачені або пошкоджені і не були отримані в кінцевому підсумку. Втраченим пакетам було надано штучну затримку в 500 мс для покращення наочності.

Перший графік показує час транспортування пакетів в обох напрямках відносно міток часу, коли пакет починає свою подорож на стороні відправника. Це пов'язано з технічним часом реакції в інтерактивному додатку.

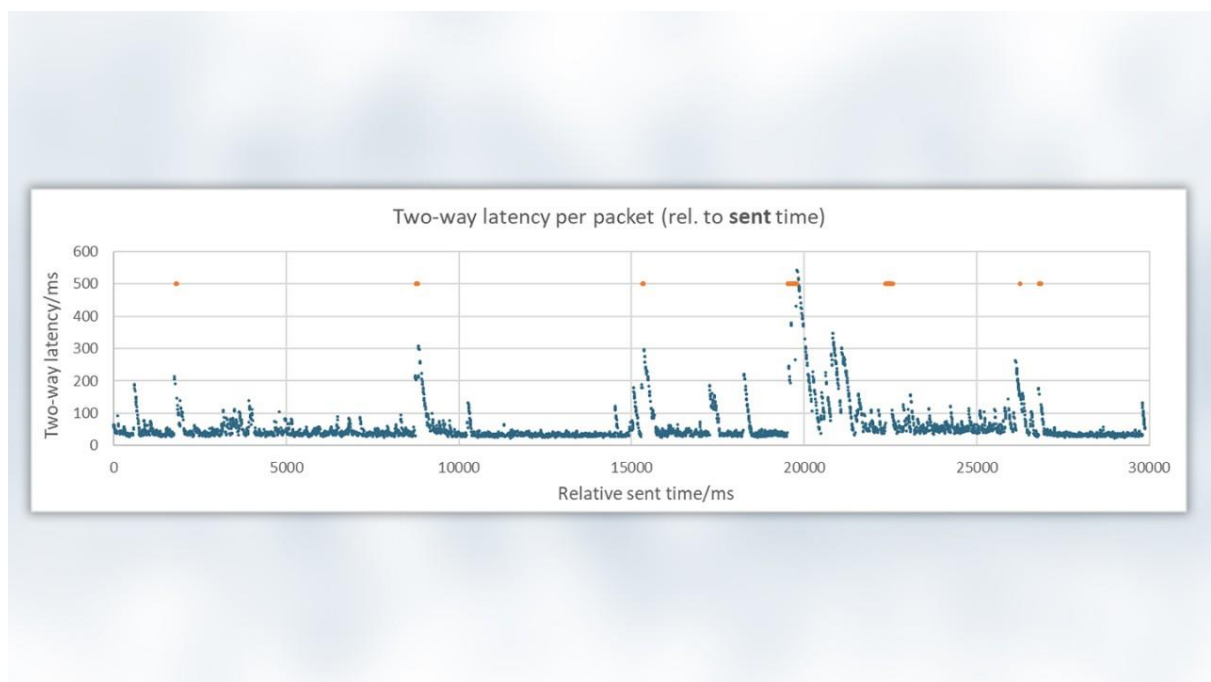


Рис. 3.13: Двостороння затримка на пакет

Існують ділянки, де пакети проходять набагато довше, ніж зазвичай в такому середовищі. Окремі пакети затримуються, але великі групи пакетів нагадують асиметричні зубці пилки. Канал передачі даних - це не провід або ланцюг, який обривається в певній точці. Передача даних відбувається пакетно і складається з багатьох послідовних часткових транспортних компонентів, що нагадують ланки ланцюга. Такі

моделі затримок є типовими, коли пакети тимчасово ставляться в чергу або буферизуються в мережі через тимчасові проблеми з транспортуванням.

Модель "перший прийшов - перший пішов" є типовою для буферизованої мережі, але швидкість заповнення та спорожнення може бути різною. Можна уявити собі буфер, заповнений вхідними пакетами (або обґрунтуваннями на нижніх рівнях), де кожні 1/150 с надходить і зберігається пакет, що призводить до накопичення буферизованих даних. Чим довше дані залишаються в буфері, тим більша затримка.

Як тільки передача в каналі відновлюється і дані рухаються далі, буфер спорожняється якомога швидше, і всі пакети або блоки відправляються один за одним. Перший буферизований пакет проводить в буфері найдовший час, в той час як останній пакет, що надійшов, залишає буфер найраніше, створюючи нахил зменшення затримки. Пакети, що передаються після відновлення каналу, не затримуються і проходять далі, підтримуючи затримку в очікуваних межах.

Ситуація стає ще більш зрозумілою для затримки відносно часу прийому. Після періоду затримки передача пакетів відновлюється, і буферизовані пакети передаються далі якомога швидше. Картина є візуалізацією на основі часу отримання і створює враження про перерви в потоках пакетів або періоди, коли пакети не надходять, хоча вони повинні надходити.

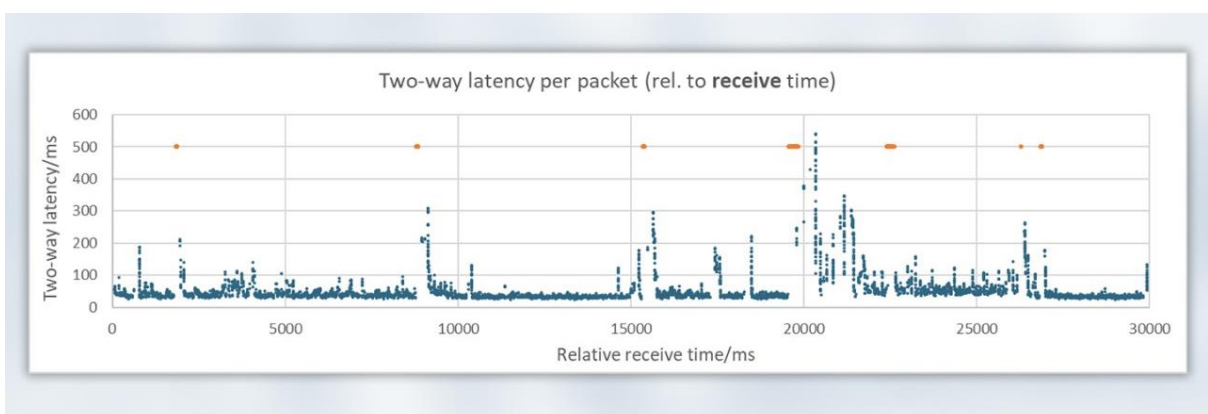


Рис. 3.14. Двостороння затримка на пакет

Це показує, що за будь-якими розривами одразу ж слідує серія пакетів, отриманих одночасно.

Далі ми детальніше розглянемо ці розриви та їх нахил. Піки затримок мають різну висоту і, як правило, мають попередні періоди без надходження пакетів, а іноді пакети навіть втрачаються перед піком.

Це підкреслює припущення про тимчасове зберігання даних у буферах на випадок недостатньої пропускної здатності транспортного каналу або її переривання.

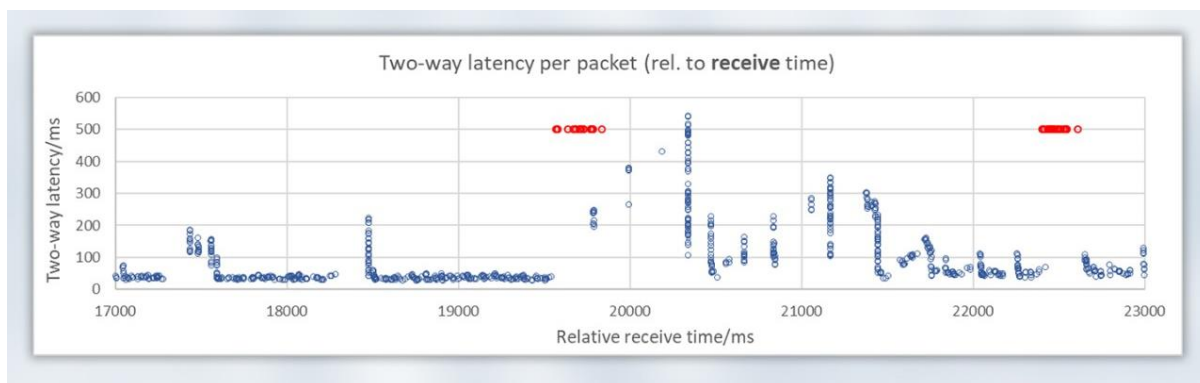


Рис. 3.15. Двостороння затримка на пакет

Розглянемо втрати пакетів. Звичайно, окремі пакети втрачаються час від часу, але кілька пакетів, як правило, втрачаються безпосередньо перед піком затримки, коли, очевидно, відбувається тимчасова буферизація. Дані можуть фактично втрачатися через проблеми з транспортуванням і до того, як дані будуть поміщені в буфер. Однак тимчасові буфери, швидше за все, перевантажені, і пакети, що зберігаються найдовше, відкидаються.

3.14. Що стоїть за сильними піками мережевої затримки та буферизації?

Стабільний канал передачі даних з достатньою пропускною здатністю не має піків затримок, а має лише джиттер, показаний на першому малюнку. Всі драматичні піки затримок виникають або через зміни в транспортному ланцюжку та його маршрутизації внаслідок реконфігурації мережі, або через недостатню пропускну здатність.

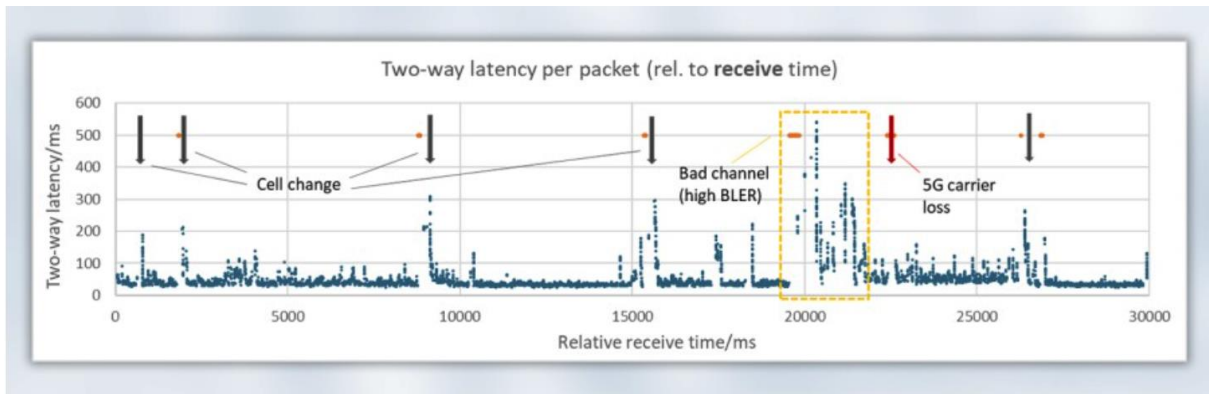


Рис. 3.16: Двостороння затримка на пакет

30-секундний потік даних у нашому прикладі був записаний під час тестової кампанії зі зміною камер кожні кілька секунд. Навіть при повільному русі, наприклад, при ходьбі в густонаселених районах, ситуація все одно залишається відносно нестабільною. Кожна зміна комірки тимчасово призводить до збільшення затримки на 200-300 мс. Тривалість переривань показує, що пакети не надходять протягом аналогічного періоду часу. Затримки можуть не впливати на типові послуги, що базуються на завантаженні, такі як перегляд веб-сторінок або навіть потокове відео, де джиттер-буфер може впоратися з кількома секундами переривань. Однак ці затримки є серйозною проблемою для взаємодії в реальному часі, наприклад, аудіо-візуальних комунікацій та дійсно критично важливих додатків, таких як управління в реальному часі.

Перемикання комірок часто пов'язане з початковою втратою пакетів, або через переповнення буфера, або з інших причин.

Наведений вище приклад також вказує на погані умови каналу, що спричинили збільшення BLER. Погана якість каналу викликає ретрансляцію та переривання подальшої доставки, що також спричиняє буферизацію. Висока кількість втрачених або пошкоджених пакетів тут також є типовою. Як наслідок, затримки пакетів сильно коливаються і можуть навіть перевищувати 500 мс у цьому прикладі.

Нарешті, приклад також показує ефект втрати несучої 5G, що викликає переривання близько 200 мс. Однак дані не можуть бути поставлені в чергу, оскільки немає видимого піку затримки, і вони втрачаються на цей проміжок часу.

Багато інших реконфігурацій мережі викликають подібні або більші затримки. До них відносяться додавання несучої, вивільнення несучої та міжчастотні або навіть міжтехнологічні хендовери.

3.15. Вимірювання затримки з продуктами Rohde & Schwarz MNT

Вимірювальні інструменти зазвичай використовують пінг-вимірювання для визначення затримки даних. Однак пінг використовує спеціальний протокол і не дуже корисний при емуляції реальних потоків даних, характерних для додатків реального часу.

Компанія Rohde & Schwarz впровадила двосторонній метод вимірювання затримки відповідно до IETF RFC 5357 для більш реалістичних потоків пакетів. Він надає результати для кожного окремого пакету і використовує UDP, як і майже всі додатки в реальному часі в цій галузі. Мережа розглядає метод як реальні дані додатку, але доступ до вимірювального зонду знаходиться найближче до IP-інтерфейсу, а результати тестування затримок і інтерактивності зосереджені на транспорті і не передаються на верхні шари операційної системи.

Тест на інтерактивність вимірює затримку на рівні пакетів для розуміння її першопричини і інтегрує результати QoE в оцінку інтерактивності. Це підтримується всіма продуктами Rohde & Schwarz MNT, від вимірювальних датчиків, таких як QualiPoc Android, до інструментів звітності та аналізу Smart Analytics.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У цьому розділі йдеться про QoS та QoE в технології 5G, а саме виміри щодо якості мережі 5G, тести пікових навантажень, вимірювання затримок і вплив мобільних технологій на затримки пакетів у мережі.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ

Для створення данної системи було обрано ОС Android та середовище розробки Android Studio, в якості мови програмування виступає Java. Android OS - це мобільна операційна система на базі Linux, яка в основному працює на смартфонах та планшетах.

Мобільна техніка почала розвиватися дещо пізніше за звичайні стаціонарні та переносні комп'ютери, тому не дивно, що перші повноцінні операційні системи з'явилися саме на другому типі пристроїв. Проте з часом телефони, смартфони та планшети ставали дедалі досконалішими, їхні можливості розширювалися, тож з'явилася потреба створення спеціально підготовлених для них операційних систем.

Мобільна операційна система (мобільна ОС) - операційна система для смартфонів, планшетів, КПК або інших мобільних пристроїв. Мобільні операційні системи поєднують у собі функціональність ОС для ПК із функціями для мобільних і кишенькових пристроїв: сенсорний екран, стільниковий зв'язок, Bluetooth, Wi-Fi, GPS-навігація, камера, відеокамера, розпізнавання мови, диктофон, музичний плеєр, NFC та інфрачервоне дистанційне керування.

Сучасні мобільні телефони стають дедалі "розумнішими", завдяки чому їх називають смартфонами (у перекладі з англійської smart phone - розумний телефон). Смартфон - це мобільний телефон, оснащений потужною операційною системою, яка зі свого боку дає змогу працювати з безліччю додатків одночасно. Іншими словами, смартфон - це аналог комп'ютера. Він може виконувати майже всі ті дії, які ми виконуємо, працюючи за комп'ютером, але в набагато менших масштабах.

Саме операційна система є візитною карткою всіх пристроїв. Операційні системи для мобільних пристроїв різноманітні, але понад 95% на ринку займають лише кілька з них, а саме Android від Google та iOS - операційна система Apple. Усі інші

разом узяті займають менше 5% ринку, сюди відносяться Windows Phone і Blackberry OS.

Платформа Android включає операційну систему, засновану на ядрі Linux, графічний інтерфейс, веб-браузер і додатки для кінцевих користувачів, які можна завантажити. Хоча на перших демонстраціях Android був представлений типовий смартфон з QWERTY-клавіатурою і великим VGA-екраном, операційна система була написана для роботи на відносно недорогих телефонах зі звичайними цифровими клавіатурами.

Android була випущена під ліцензією Apache v2 з відкритим вихідним кодом; це дозволяє розробляти багато варіацій ОС для інших пристроїв, таких як ігрові консолі та цифрові камери. Android базується на програмному забезпеченні з відкритим вихідним кодом, але більшість пристроїв Android поставляються з попередньо встановленим набором пропрієтарного програмного забезпечення, такого як Google Maps, YouTube, Google Chrome і Gmail.

4.1. Вимоги до створення системи

Для вирішення задачі необхідні наступні інструменти:

- персональний комп'ютер(у даному випадку ноутбук);
- середовище розробки Android Studio(версія 2021.3.1);
- мобільний пристрій на платформі Android(Xiaomi Mi A1)

4.2. Історія та розвиток

Android - операційна система для смартфонів, планшетних комп'ютерів, електронних книжок, цифрових програвачів, "розумних" наручних годинників, ігрових приставок, нетбуків, смартбуків, окулярів Google, телевізорів, ситем автоматичного керування автомобілем та інших пристроїв. ОС заснована на ядрі Linux і власній реалізації віртуальної машини Java від Google. Спочатку розроблялася компанією Android Inc., яку в 2005 році купила Google. Згодом Google ініціювала створення

альянсу Open Handset Alliance (ОНА), який зараз займається підтримкою і подальшим розвитком платформи. Android дає змогу створювати Java-додатки, що керують пристроєм через розроблені Google бібліотеки. Android Native Development Kit дає змогу портувати (але не налагоджувати) бібліотеки та компоненти додатків, написані на Сі та інших мовах. ОС Android встановлено на 86% смартфонів (2014).

Історія компанії починається у 2003 році. Її заснувала група талановитих розробників, які почали експериментувати і створювати проекти гаджетів, що вмюють виходити в інтернет і працювати на написаній ними відкритій операційній системі. Мабуть, найвідоміша людина в їхній команді - Andy Rubin. Колись придбаний ними домен android.com і став назвою їхньої розробки. До 2005 року робочу версію Android було створено і, за підсумками переговорів серпня 2005 року, корпорація Google придбала компанію Android за 130 млн.доларів, а команда розробників перейшла працювати в корпорацію Гугл. Як показав час, для компанії Google угода виявилася вкрай вигідною інвестицією.

На доопрацювання платформи пішло чимало часу, але в 2008 році з'явився перший смартфон на відкритій операційній системі Android, запущений у продаж (він був представлений брендом HTC), який у майбутньому отримав оновлення системи, що було доступне всім користувачам. Нова зручна система з відкритим кодом дала змогу будь-якій людині писати під неї програми, масова поява яких не змусила себе чекати. Таким чином, платформа Android надала гнучкі та прості можливості для персоналізації будь-якого смартфона під конкретного користувача. І, незважаючи на те, що марка HTC помітно втратила свою поширеність в даний час, в 2009 році безліч пристроїв на ОС Андроїд стали набирати масову популярність. Для звичайного споживача переваги Android проявляються в такому: можливість налаштування смартфона "під себе", вибору зовнішнього вигляду меню, вибору різноманітних програм, можливість підтримки файлів різних форматів, швидке передання інформації з апарата на інший пристрій тощо.

Хоча найчастіше виробники телефонів грішать кількістю встановлених програм, які неможливо видалити з пам'яті пристрою.

На поточний момент, система Android розвивається в ногу з часом, а компанія періодично випускає їхні актуальні оновлення. Випускаючи новинки смартфонів на ОС Android, компанії намагаються використовувати їх останні версії системи. Приміром, на відміну від 6-ої версії, у 7-ій версії розробники додали режим багатовіконного поділу вікна, поліпшили відображення панелі швидкого доступу та перегляду відкритих додатків, з'явилася повноцінна підтримка режиму віртуальної реальності тощо. Іншими словами, кожне наступне оновлення приносить нові можливості, удосконалює функції та іноді виправляє помилки, які виявляються в процесі використання.

4.3. Android і 5G мережі.

5G все ще рекламується як нова і захоплююча розробка в галузі мобільних технологій, але з моменту запуску першого телефону 5G пройшло вже більше 2,5 років, так що це не так вже й ново. І все ж деякі країни все ще перебувають на стадії випробувань і не мають комерційної мережі 5G. Але це не заважає виробникам смартфонів хвалитися випуском новітніх 5G-телефонів.

Давайте повернемося в минуле, на початок 2019 року, коли з'явилася перша партія 5G-телефонів. Багато з них були представлені в лютому, але не були запущені в продаж лише через кілька місяців. Незважаючи на невелику затримку, саме Samsung Galaxy S10 5G став доступним першим.

Спочатку запланований до випуску в березні, телефон нарешті з'явився в магазинах Південної Кореї 5 квітня. Передбачалося, що в той же день він також з'явиться в мережі Verizon в США, але чергова затримка відсунула цю дату, і попередні замовлення почалися 25 квітня (а доставка розпочнеться лише в середині травня).

Перш ніж повернутися до S10 5G, варто згадати телефони, які ледь не вийшли першими. LG планувала запустити свій V50 ThinQ 5G 16 квітня, але відклала його для оптимізації 5G-модему з Qualcomm. Телефон нарешті став доступний 11 травня. Oppo Reno 5G також прибув у травні, фактично вийшовши раніше LG V50 через затримку.

Ці два пристрої працювали на базі Snapdragon 855, але не це дало їм можливість підключення до мережі 5G. Він повинен був працювати в парі з зовнішнім модемом X50, першим 5G-чіпом від Qualcomm. І як ви можете собі уявити, з ним виникли деякі проблеми з прорізуванням зубів, тому виробникам довелося змістити свої початкові терміни.

Повернемося до Galaxy S10 5G. На початку червня він прибув до Великобританії, в середині червня - до американського оператора AT&T (це був перший 5G-телефон AT&T), через кілька тижнів - до Sprint, а наприкінці червня - до Німеччини (ще до того, як в країні навіть увімкнули першу 5G-мережу).

Сам телефон був величезним - з 6,7-дюймовим динамічним AMOLED-дисплеєм з роздільною здатністю 1440p це був свого роду Ultra-телефон сімейства, до того, як Samsung запровадив цей ярлик. Для порівняння, Galaxy S10+, найбільший з лінійки S10 4G, мав 6,4-дюймовий дисплей. Він також був важким, перехиливши шальки терезів на 198 г.

Цей телефон відзначився кількома першопрохідцями для Samsung. Наприклад, це був перший телефон Galaxy, який підтримував дротову зарядку потужністю 25 Вт (хоча інші швидко пішли за ним), і він був першим з 3D-датчиком глибини (час польоту). Насправді їх було два, один спереду і один ззаду.

Решта налаштувань камери була по суті такою ж, хоча 3D-датчик і поліпшена обробка зображень вивели Galaxy S10 5G на перше місце в чартах DxOMark на той час.

Однак не все було так гладко, у цій моделі не було слота для microSD, тоді як у трьох інших моделях S10 він був. Він отримав деяку особливу обробку, оскільки колір Crown Silver був ексклюзивним для моделі 5G, він мав призматичний ефект, який змінював колір при перегляді під різними кутами.

Раніше ми вже згадували про чіпсет Snapdragon 855 та модем X50, і саме це використовувалося в S10 5G у США. Однак у глобальній версії (включаючи телефони для Кореї) використовувався Exynos 9820 в парі з модемом Samsung, Exynos 5100, який був першим у світі модемом 5G.

Модем Qualcomm і Samsung підтримували mmWave - версію 5G, яка працює у вищих частотних діапазонах (від 24 ГГц). Вона може передавати набагато більше даних, але страждає від проблем з прийомом, оскільки її можуть блокувати навіть дерева. Sub-6 ГГц версія 5G (названа на честь діапазону, в якому вона працює) має набагато краще поширення, але вона "лише" в 2-3 рази швидша за 4G.

Для порівняння, модем Snapdragon X50 мав теоретичну пікову швидкість 7,5 Гбіт/с вниз, 3,5 Гбіт/с вгору, а модем X24 LTE, який вийшов на ринок одночасно з ним, зупинився на позначці 2 Гбіт/с завантаження. mmWave з тих пір пішов вище, X65 став першим у світі модемом 5G зі швидкістю 10 Гбіт/с, але це історія для іншого разу.

Звичайно, це теоретичні швидкості, реальні результати нижчі. Але в ідеальних умовах корейська компанія SK Telecom досягла 2,63 Гбіт/с, використовуючи Galaxy S10 5G. Хоча це був не весь 5G - лише 1,5 Гбіт/с були передані через 5G, які телефон об'єднав з 1,15 Гбіт/с, що надходили через LTE-зв'язок. Тим не менш, SK отримав свій заголовок: найновіший і найкращий смартфон може завантажити повний фільм всього за 6 секунд.

4.3. Java

Сьогодні створення програмного забезпечення являє собою надзвичайно важке заняття. Труднощі пов'язані з різноманітністю архітектур машин, операційних систем, графічних оболонок тощо. Стрімке зростання технологій, пов'язаних із мережею Internet, додатково ускладнює це завдання. До мережі Internet під'єднано комп'ютери найрізноманітніших типів - IBM PC, Macintosh, робочі станції Sun та інші. Навіть у рамках IBM-сумісних комп'ютерів існує кілька платформ, наприклад, MS Windows 9x/Me/XP/NT/2000, OS/2, Solaris, різні різновиди операційної системи UNIX з графічною оболонкою XWindows тощо. Усі ці системи утворюють єдину мережу, яка повинна працювати як одне ціле, забезпечуючи при цьому високий рівень безпеки інформації. Під впливом зазначених чинників різко зростає рівень вимог, що висуваються до програмного забезпечення.

Сучасні додатки мають бути безпечними, високопродуктивними, працювати в розподіленому середовищі, бути нейтральними до архітектури. Усі ці фактори призвели до необхідності нового погляду на сам процес створення і розподілу додатків на безлічі машин різної архітектури. Вимоги до переносимості змусили відмовитися від традиційного способу створення і доставки бінарних файлів, що містять машинні коди і, отже, прив'язані до певної платформи. Створена компанією Sun Microsystems система розробки Java задовольняє всім цим вимогам. Java - об'єктно-орієнтована мова, зручна і надійна в експлуатації завдяки таким своїм перевагам, як багатозадачність, підтримка протоколів Internet і багатоплатформеність. Java - це інтерпретована мова, і кожна Java-програма компілюється для гіпотетичної машини, званої Віртуальна Машина Java. Результатом такої компіляції є байт-код Java, який, своєю чергою, може виконуватися на будь-якій операційній системі за умови наявності там системи часу виконання Java, що інтерпретує байт-код у реальний машинний код конкретної системи.

Однак, така універсальність цієї технології породжує недолік - вимогливість до ресурсів комп'ютера. Оскільки Java-програми не містять машинного коду і під час їхнього запуску вмикається в роботу система часу виконання Java, їхня продуктивність помітно нижча, ніж у звичайних програм, складених, наприклад, мовою програмування C++. Цей недолік стає з плином часу все менш відчутним, унаслідок зростання обчислювальної потужності комп'ютерних систем.

Мова Java є об'єктно-орієнтованою і поставляється з досить об'ємною бібліотекою класів. Бібліотеки класів Java значно спрощують розробку додатків, надаючи в розпорядження програміста потужні засоби розв'язання найпоширеніших завдань. Тому програміст може більше уваги приділити розв'язанню прикладних задач, а не таких, як, наприклад, організація динамічних масивів, взаємодія з операційною системою або реалізація елементів користувацького інтерфейсу.

Java - так називають не тільки саму мову, а й платформу для створення і виконання додатків на основі цієї мови.

Спочатку мова називалася Oak ("дуб") і розроблялася Джеймсом Гослінгом для програмування побутових електронних пристроїв. Згодом її перейменували на Java і

стали використовувати для написання клієнтських додатків і серверного програмного забезпечення. Названа на честь марки кави Java, улюбленої деякими програмістами, тому на офіційній емблемі мови зображено чашку з кавою, яка палахкотить. Існує й інша версія походження назви Java, а саме, Java - це сленгове позначення кави (на ім'я однойменного острова, де виробляється популярна кава) з алюзією на кавову машину, як приклад побутового пристрою, для програмування якого спочатку мова створювалася.

Метою даного розділу є опис Java, розгляд технології створення і подальшого використання програм на цій мові, аналіз прикладів програм, які показують всі перераховані вище переваги цієї мови.

Мова Java з моменту створення перебуває в постійному розвитку. У реалізації Java 1.1.6 було 23 пакети (у Java 1.0.2 їх було 8), а кількість класів - 503 (211). Остання версія мови 2.0. Що стосується засобів розробки додатків і аплетів Java, то спочатку вони були створені фірмою Sun Microsystems і досі користуються популярністю. Базовим стандартним середовищем розробки є пакет JDK (Java Development Kit) фірми Sun. Остання версія цього пакета на сьогоднішній день 1.4.0. Засоби JDK не мають графічного інтерфейсу і запускаються з командного рядка. Існує також безліч інших візуальних засобів, таких як JBuilder, Symantec Cafe, VisualJ, Java WorkShop, Java Studio та інші. Під час написання програм у даній курсовій роботі мною використовувався стандартний набір JDK v. 1.4.0.

Основні особливості мови

Програми на Java транслюються в байт-код, що виконується віртуальною машиною Java (JVM) - програмою, яка обробляє байтовий код і передає інструкції обладнанню як інтерпретатор.

Перевага такого способу виконання програм - у повній незалежності байт-коду від операційної системи та обладнання, що дає змогу виконувати Java-додатки на будь-якому пристрої, для якого існує відповідна віртуальна машина. Іншою важливою особливістю технології Java є гнучка система безпеки завдяки тому, що виконання програми повністю контролюється віртуальною машиною. Будь-які операції, що перевищують встановлені повноваження програми (наприклад, спроба

несанкціонованого доступу до даних або з'єднання з іншим комп'ютером) спричиняють негайне переривання.

Часто до недоліків концепції віртуальної машини зараховують те, що виконання байт-коду віртуальною машиною може знижувати продуктивність програм і алгоритмів, реалізованих мовою Java. Останнім часом було внесено низку удосконалень, які дещо збільшили швидкість виконання програм на Java:

- застосування технології трансляції байт-коду в машинний код безпосередньо під час роботи програми (JIT-технологія) з можливістю збереження версій класу в машинному коді,
 - широке використання платформно-орієнтованого коду (native-код) у стандартних бібліотеках,
 - апаратні засоби, що забезпечують прискорену обробку байт-коду (наприклад, технологія Jazelle, підтримувана деякими процесорами фірми ARM).

За даними сайту shootout.alioth.debian.org, для семи різних завдань час виконання на Java складає в середньому в півтора-два рази більший, ніж для C/C++, у деяких випадках Java швидша, а в окремих випадках в 7 разів повільніша.[18] З іншого боку, для більшості з них споживання пам'яті Java-машиною було в 10-30 разів більшим, ніж програмою на C/C++. Також примітним є дослідження, проведене компанією Google, згідно з яким відзначається істотно нижча продуктивність і більше споживання пам'яті в тестових прикладах на Java порівняно з аналогічними програмами на C++.

Ідеї, закладені в концепцію і різні реалізації середовища віртуальної машини Java, надихнули безліч ентузіастів на розширення переліку мов, які могли б бути використані для створення програм, що виконуються на віртуальній машині. Ці ідеї знайшли також вираження в специфікації загальномовної інфраструктури CLI, закладеної в основу платформи .NET компанією Microsoft.

Java і Microsoft

Компанія Microsoft розробила власну реалізацію JVM (MSJVM), що входила до складу різних операційних систем, починаючи з Windows 98 (також входила в Internet

Explorer від версії 3 і вище, що давало змогу використовувати MSJVM в ОС Windows 95 і Windows NT 4 після встановлення IE3+ на ці ОС).

MSJVM мала суттєві відмінності від Sun Java, які багато в чому ламали основоположну концепцію переносимості програм між різними платформами:

- відсутність підтримки програмного інтерфейсу виклику віддалених методів (RMI);
- відсутність підтримки технології JNI;
- наявність нестандартних розширень, таких як засоби інтеграції Java і DCOM, що працюють тільки на платформі Windows.

Тісна інтеграція Java з DCOM і Win32 ламала багатоплатформенну суть мови і була втіленням зусиль Microsoft з поглинання технології (див. Критика Microsoft). Згодом це стало приводом для судових позовів з боку Sun Microsystems до Microsoft. Суд став на бік компанії Sun Microsystems. Зрештою між двома компаніями було досягнуто домовленості про можливість продовження терміну офіційної підтримки користувачів нестандартної Microsoft JVM до кінця 2007 року, але не більше.

У 2005 році компанією Microsoft для платформи .NET було презентовано Java-подібну мову J#, яка не відповідає офіційній специфікації мови Java і була виключена згодом зі стандартного інструментарію розробника Microsoft Visual Studio, починаючи з Visual Studio 2008.

Збирання сміття

У мові Java неможливе явне видалення об'єкта з пам'яті - натомість реалізовано збирання сміття. Традиційним прийомом, що дає збирачу сміття "натяк" на звільнення пам'яті, є присвоювання змінній порожнього значення null. Це, однак, не означає, що об'єкт, замінений значенням null, буде неодмінно і негайно видалено. Цей прийом лише усуває посилання на об'єкт, тобто відв'язує покажчик від об'єкта в пам'яті. При цьому слід враховувати, що об'єкт не буде видалено збирачем сміття, поки на нього вказує хоча б одне посилання з використовуваних змінних або об'єктів. Існують також методи для ініціації примусового збирання сміття, але не гарантується, що вони будуть викликані виконуючим середовищем, і їх не рекомендується використовувати для звичайної роботи.

4.4. Android Studio – опис

Андроїд Студіо - програма, яка без проблем працює на Windows. Була створена компанією Google. На базі відповідної утиліти проводиться розробка бажаного мобільного додатка для Android.

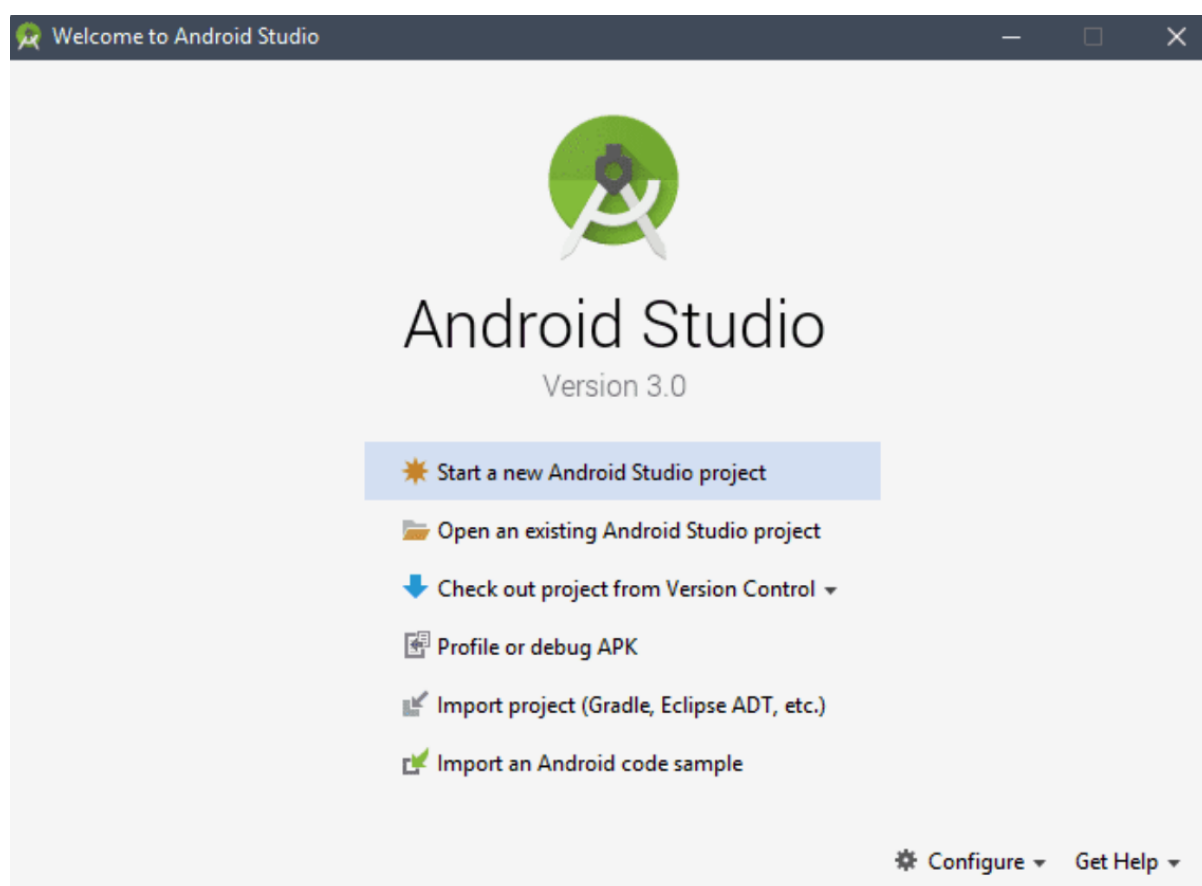


Рис. 4.1. Стартовий екран проекту в Android Studio

Це - офіційне середовище програмування. Отримав контент подібний статус не давно - тільки в 2014 році. До цього реалізація поставленого завдання здійснювалася через Eclipse. Є повністю інтегрованою платформою.

Функціонал

Android Studio - утиліта, в якій без проблем можна створити додатки для Андроїд своїми руками. Вона пропонує:

- середовище для написання програмних кодувань;
- перегляд етапів роботи з ПК (без попередньої ініціалізації на той чи інший

гаджет);

- аналізатори APK;
- режим порівняння двох пакетів;
- редактор так званих макетів, що дає змогу налаштовувати інтерфейси;
- профілювання в реальному часі;
- оптимізацію без коригування вихідного коду за допомогою Android

Studio Bundle.

Андроїд Студіо - це IDE, що включає в себе SDK. Він важливий для утиліт мобільного типу. Пакет завантажується у вигляді архіву для кожної операційної системи окремо.

Чи потрібно платити

Інтернет пропонує величезну кількість софту для тих чи інших потреб. Програмісти способи відшукати там різні середовища і конструктори. Але за деякі потрібно платити.

Android Studio - це те, що купити неможливо. Пов'язано це з тим, що софт поширюється абсолютно безкоштовно. Завантажити його можна з офіційного сайту розробника.

Варто звернути увагу на те, що утиліта не адаптована для російськомовних користувачів. Російської мови там немає. Тому, щоб створювати додатки для Android, доведеться або пройти спеціальні навчальні уроки, або добре вивчити англійську.

Мінімальні вимоги до системи

Якщо користувач хоче навчитися створювати власні програми для смартфонів і планшетів, йому знадобиться Android Studio. Додаток є кросплатформним, але підходить в основному для 64-бітних ОС.

Для Windows вимоги такі:

- розрядність - 32 або 64-bit;
- оперативна пам'ять - 8 ГБ;
- вільне місце 0 2 ГБ;
- роздільна здатність екрана - від 1280 на 800.

Щоб запустити утиліту на Linux, потрібно впевнитися, що комп'ютер відповідає таким параметрам:

- розрядність - 64-біт;
- оперативка - 3 ГБ;
- місце - від 2 ГБ (краще - 4);
- роздільна здатність - як у випадку з Windows.

Власники MacOS теж можуть скористатися відповідним додатком. Але працюватиме він на ОС від 10.10 (Yosemite):

- пам'ять оперативна - 3 ГБ і більше;
- простір на жорсткому диску - не менше 2 ГБ;
- роздільна здатність - від 1280 на 800.

Використовуйте цю інформацію для того, щоб упевнитися - контент працюватиме на задіяному пристрої без проблем. В іншому разі не виключені системні збої та неполадки.

Переваги утиліти

Щоб створювати софт для мобільних, потрібно не тільки знати основи програмування, а й встановити хороше середовище розробки. Android Studio виділяється із загальної маси, завдяки власним особливостям.

До сильних сторін контенту відносять:

- безпека;
- офіційність;
- простоту використання;
- кросплатформеність;
- наявність власного зручного редактора коду;
- велика бібліотека з готовими рішеннями (шукати окремо конструктор сайтів може і не знадобиться);
- можливість опрацювання програм для портативних ПК, приставок, мобільних пристроїв;
- підтримку декількох мов програмування (включно з java і Сі-сімейство);

- безкоштовне розповсюдження в Інтернет.

Незважаючи на це, софт є досить вимогливим до пристрою, на якому ініціалізується (особливо щодо оперативної пам'яті). У ньому немає російської мови, що може призвести до деяких труднощів у вітчизняних розробників.

Як використовувати

Розглянутий софт досить простий у використанні. Довідкова документація та різноманітні відео-уроки знаходяться в Мережі у вільному доступі. Клієнти, які вже мали досвід у написанні кодів, без особливих труднощів розберуться у відповідному контенті.

Новий проект

Готові конструктори утиліт, а також магазинів у Мережі - це добре, але індивідуальності від таких рішень чекати не доводиться. Тому краще обрати шлях власної розробки "з нуля".

Розпочати роботу в згаданому середовищі доведеться зі створення нового проекту. Це - шаблон, з яким працюватиме користувач далі:

- Запустити софт для створення мобільних додатків. Активації він не потребує.
- Вибрати "Start Project".
- Вказати назву додатка, який буде створюватися. На цьому етапі належить прописати розробника.
- Визначитися з платформою, для якої пишеться кодифікація.
- Клацнути по первинному зовнішньому вигляду. Основне робоче вікно - це Activity. Але утиліта може створюватися без нього.
- Встановити параметри для "Активіті".
- Тепер залишається тільки клікнути по кнопці Finish. Після цього буде створено новий проект. З ним буде здійснюватися подальша робота.

Файли проекту

Створюючи утиліту на мобільний, важливо розуміти - це не так просто, особливо якщо людина взагалі не мала досвіду в розробці. Файли проекту та інтерфейс

середовища, що розглядається, дуже схожі на високорівневі IDE. Тільки тут сильно відрізнятиметься сам процес розробки: система створює величезну кількість документів, які зв'язуються між собою.

Написання кодів проводиться за допомогою Java-файлів. Зовнішня частина утиліти буде перебувати в зовсім іншому файлі. Він зберігається у форматі xml. Там задіяна мова розмітки і прописані всі складові програми.

Якщо програміст захоче створити кнопку, діяти доведеться в xml, а для прив'язки нового об'єкта до дії - в Java-документі.

Варто звернути увагу на такий момент, що під час створення одного проекту на задіяному пристрої з'являються різноманітні папки:

- Res - ресурси розробки (приклад - зображення);
- Values - XML документи, які містять значення наявних змінних;
- AndroidManifest.xml - основна інформація про додаток.

Для створення класів та інших об'єктів, а також "Активіті", необхідно клікнути ПКМ на той чи інший каталог, після чого натиснути команду Create.

Візуальне редагування

Перед тим, як замовити магазин для мобільних платформ або інший контент, клієнт розуміє - його продукт має бути індивідуальним. Дизайн опрацьовується в XML. Під час редагування відповідних файлів з'являються в нижній частині софту такі елементи як Text і Design.

Ці складові допомагають не тільки власними руками прописувати код, а й додавати нові елементи за допомогою графічного редактора. Переключившись на Palette стає доступним вибір виду віджета.

Увага: після цього через Java-документи здійснюється зв'язка "об'єкт-дія".

Збірка і налагодження

Варто звернути увагу на те, що власними руками за допомогою Андроїд Студіо можна створювати віджети, які мають унікальний вигляд. Їх замовлятимуть не тільки дрібні компанії, а й великі фірми.

Інструменти тут реалізовані красиво, лаконічно і зрозуміло. Досить корисним функціоналом володіє Gradle. Відповідає за автоматизацію складання.

Для редагування параметрів цього інструменту (іноді це все одно буде потрібно) використовуються:

- документ *.gradle;
- меню Build - основний блок коригувань;
- Clear project - налагодження непрацюючих елементів.

Для тесту готового мобільного додатка можна запустити його на реальному гаджеті або скористатися емулятором.

У першому випадку потрібно:

- Підключити мобільний або планшет до ПК.
- Виконати Run і Run App.
- Вибрати пристрій, з яким буде здійснюватися робота.

Це - основні функції та можливості, з якими повинен бути знайомий будь-який розробник мобільного контенту.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У розділі було з'ясовано роль розроблюваного програмно-апаратного агента у складі системи тестування 5G, обрано мову а також середовище для майбутньої розробки. Приведена архітектура, опис мови програмування і її можливостей, а також головні функції середовища розробки.

РОЗДІЛ 5.

ОПИС РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ

Тестування QoE та QoS дає змогу Вам у реальному часі оцінити поточну якість стрімінгу у Вашій мережі. Система пропонує пройти тест, щоб отримати конкретні рекомендації, які дадуть вам змогу оптимізувати передачу даних.

Додаток також включає завантаження, вивантаження, а також затримку (пінг) і «тремтіння», щоб показати, наскільки добре ваше з'єднання. Система також надає вам інші дані про з'єднання, такі як ваша IP-адреса, відстань від тестового сервера, а також ім'я вашого інтернет-провайдера.

Головні функції системи:

- Тест завантаження: наскільки швидко пристрій отримує дані з Інтернету;
- Тест завантаження: наскільки швидко пристрій відправляє дані в Інтернет;
- Пінг-тест: тест затримки між пристроєм та сервером;
- IP-адреса, інтернет-провайдер, відстань від інформації про сервер;
- Кілька точок тестування.

Інтерфейс має бути простим та зрозумілим для всіх користувачів, а також відображати максимальну кількість інформації. Для цього було розроблено унікальний дизайн після чого розроблено систему. Інтерфейс включає в себе меню, в якому користувач може обрати сервер та перейти до тестування.

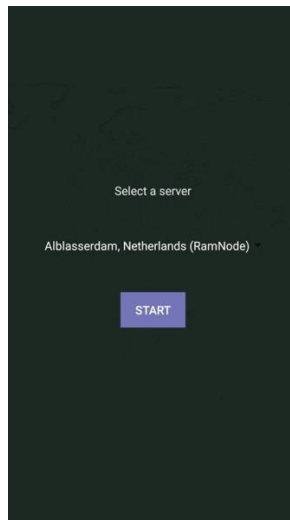


Рис. 5.1. Головне меню системи

Після вибору серверу та початку тестування користувач потрапляє у наступне вікно інтерфейсу, а система розпочинає тестування. На екрані користувач бачить процес тесту і попередні результати. Після завершення тестування користувач побачить фінальні результати тесту.

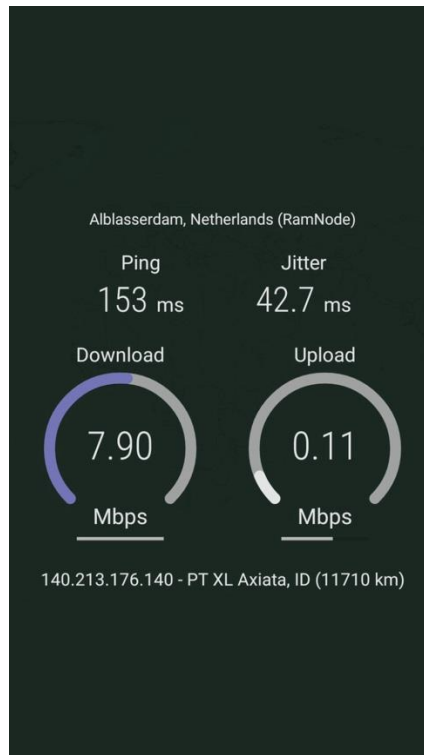


Рис. 5.2. Вікно результату тестування

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 5

Розроблений інтерфейс зручний у користуванні, стійкий до внесення користувачем невірних даних та помилкових дій, при виникненні помилок у роботі системи виводить повідомлення про способи їх усунення, має приємне кольорове оформлення.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на інженера

Відділ проектування знаходиться на другому поверсі п'ятиповерхового будинку. Приміщення має розміри: довжина 8 м, ширина 4 м, висота 4. Загальна площа - 32 м², загальний об'єм – 128 м³. У відділі знаходиться 5 робочих місць інженерів-проектувальників, оснащені комп'ютерами.

Робоча площа одного співробітника становить:

$$S_{\text{роб}} = \frac{S_{\text{заг.пл}}}{N} = \frac{32}{5} = 6,4 \text{ м}^2$$

Робочий об'єм одного співробітника:

$$V_{\text{роб}} = \frac{V_{\text{заг.об}}}{N} = \frac{128}{5} = 25,6 \text{ м}^3$$

N - кількість співробітників у відділі

$S_{\text{заг.пл}}$ – загальна площа;

$V_{\text{заг.об}}$ – загальний об'єм.

Відповідно до [11] площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6 м², а об'єм не менше ніж 20 м³. Робоче місце інженера-проектувальника відповідає вимогам.

В проектному відділі інженера-проектувальника знаходяться: комп'ютери, принтер. У даному приміщенні температура повітря у теплий період року становить 30°C, використовується природне та штучне освітлення. Штучне освітлення виконано у вигляді переривчастих ліній світлодіодних світильників. Рівень шуму в приміщенні становить 54 дБ, а згідно з Державними санітарними нормами [12] не повинен перевищувати 50 дБ.

Робоче місце розташоване так, щоб природне світло падало з лівої сторони, при цьому відстань зі світлом до робочого місця - 1 м. Висота робочої поверхні столу над підлогою 750 мм, глибина столу – 800 мм, ширина столу 1300мм. Робочий стіл має простір для ніг висотою 650 мм та шириною 600 мм.

Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

Створення сприятливих умов праці, в роботі інженера-проектувальника, має велике значення як для полегшення, так і для підвищення продуктивності праці.

Відповідно до [13] шкідливими виробничими факторами є:

1. Підвищена температура робочого приміщення
2. Недостатня освітленість робочої поверхні
3. Виробничий шум
4. Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону
5. Іонізуючі випромінювання

Відповідно до [14] робота інженера-проектувальника у приміщенні з енерговитратами 90-120 ккал/год. відносяться до категорії легких фізичних робіт Ia (роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження).

Таблиця 6.1

Оптимальні величини температури

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °C
Холодний період року	Легка Ia	22-24
Теплий період року		23-25

Допустимі величини температури на постійних робочих місцях:

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	
		Верхня межа	Нижня межа
Холодний період року	Легка Ia	25	21
Теплий період року		28	22

У проектному відділі температура повітря становить 30°C в теплий період року, що перевищує допустиму на 2 °C. Забезпечили температуру приміщення 23 °C, за допомогою механічної вентиляції з вентилятором VORTICE VARIO, повітрообмін якого становить 680 м³ /год.

Недостатня освітленість. В приміщенні встановлені персональні комп'ютери, присутнє природне та штучне освітлення. За вимогами [15], величина коефіцієнта природної освітленості повинна бути не менше 1.5%. В проектному відділі порушенні

вимоги, освітленість робочої поверхні складає 370 лк , а коефіцієнт освітленості складає 1.2%. Природне світло проникає у приміщення через бічні світло прорізи. Вікна мають жалюзі. Штучне освітлення виконано у вигляді переривчастих ліній світлодіодних світильників, розташованих паралельно лінії зору інженера-проектувальника. Для місцевого освітлення використовувати галогенні лампи розжарювання

Виробничий шум. Шум на робочому місці створюється: комп'ютером та периферійним пристроєм. Допустимі рівні звукового тиску на робочому місці повинні відповідати вимогам [16]:

Таблиця 6.2

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, ДБА, ДБАекв
Конструювання та проектування.	50

Реальний рівень шуму в проектному відділі становить 54 дБ, що перевищує допустимий рівень.

Для зменшення рівня шуму рекомендується використовувати місцеву та загальну звукоізоляцію, шумопоглинаючі екрани, поглинаючі фільтри.

6.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів

Нормалізація повітря робочої зони. Для створення й автоматичної підтримки в ІТ відділі незалежно від зовнішніх умов оптимальних значень температури, вологості, чистоти і швидкості руху повітря, у холодний час року використовується водяне опалення, у теплий час року застосовується кондиціонування повітря [37].

Виробниче освітлення. Під час аналізу освітлення на робочому місці програміста було встановлено, що воно не відповідає встановленим нормам, тому для

покращення умов праці рекомендуємо збільшити рівень загальної освітленості приміщення шляхом встановлення 5 додаткових світильників, щоб загальна кількість лам відповідала розрахованому вище значенню, а саме 36 світлодіодних ламп. Також для підтримки запроєктованого освітлення у чистому виді необхідно скласти графік, де передбачити очищення віконних блоків і світильників не менше 2 разів на рік [38].

Електробезпека. Електробезпечність у приміщенні ІТ відділу пропоную забезпечити наступними технічними способами і засобами захисту:

– для зменшення накопичення статичної електрики застосовувати зволожувачі і нейтралізатори, антистатичне покриття підлоги;

– забезпечити приєднання металевих корпусів устаткування до жили, що заземлює. Заземлення корпусу ПК забезпечити підведенням жили, що заземлює, до розеток. Опір заземлення 4 Ом, згідно (ПУЕ) для електроустановок з напругою до 1000 В.

А також організаційними заходами:

– своєчасне проведення інструктажів з техніки безпеки [39].

Ергономіка та організація робочого місця. Після проведення аналізу робочого місця програміста в ІТ Відділі було з'ясовано, що воно відповідає встановленим вимогам.

Виходячи з результатів аналізу важкості та напруженості праці пропоную скоротити час роботи за комп'ютером, робити перерви сумарний час яких повинен складати 50 хвилин при 8-ми годинному робочому дні [40].

6.2.1. Розрахунок повітрообміну за надлишком тепла у проектному відділі

Приміщення має розміри 4×8×4, яке розміщується на другому поверсі п'ятиповерхового будинку з південного боку. Площа вікон $F = 2,88 \text{ м}^2$. На вікнах розміщені жалюзі. У приміщенні 5 інженерів-проектувальників, розташовано $N_{\text{ПК}} = 5$ персональних комп'ютерів та принтер. Для штучного освітлення використовується 4 офісних світлодіодних світильника потужністю 125 Вт.

1. Розраховуємо загальну кількість тепла:

$$Q_{\text{над}} = Q_{\text{осв}} + Q_{\text{облад}} + Q_{\text{ін-пр.}} + Q_{\text{рад}}, \text{ Вт} \quad (6.1)$$

$Q_{\text{над}}$ – загальна кількість тепла

$Q_{осв}$ - кількість тепла від джерел штучного освітлення

$Q_{облад}$ - кількість тепла від обладнання

$Q_{ін-пр.}$ - кількість тепла від інженерів-проектувальників

$Q_{рад.}$ - кількість тепла від сонячної радіації

2. Розраховуємо кількість тепла від джерел штучного освітлення:

$$Q_{осв} = N \cdot \eta, \quad (6.2)$$

де N - сумарна потужність джерел освітлення, Вт; η - коефіцієнт теплових витрат ($\eta = 0,55$ – для світлодіодних ламп).

$$Q_{осв.} = 125 \cdot 4 \cdot 0,55 = 275 \text{ Вт}$$

2. Розраховуємо кількість тепла при роботі обладнання: 5 комп'ютерів і принтера (в режимі друку):

$$Q_{облад} = n \cdot P_{комп.} + P_{пр.}, \quad (6.3)$$

де n – кількість комп'ютерів (обладнання);

$P_{комп}$ – встановлена потужність комп'ютерів, $P_{комп} = 400$ Вт

$P_{пр.}$ – потужність принтера в режимі друку, $P_{пр.} = 465$ Вт

$$Q_{облад} = 5 \cdot 400 + 465 = 2.5 \text{ кВт}$$

3. Розраховуємо кількість тепла від інженерів-проектувальників:

$$Q_{ін-пр.} = n \cdot q, \text{ Вт} \quad (6.4)$$

n – кількість інженерів-проектувальників

q – кількість тепла, що виділяється одним інженером-проектувальником

Кількість тепла, що виділяється одним інженером-проектувальником, який виконує легку фізичну роботу дорівнює 99 Вт.

$$Q_{ін-пр} = 5 \cdot 99 = 495 \text{ Вт}$$

4. Розраховуємо кількість тепла від сонячної радіації:

$$Q_{рад} = t \cdot S \cdot k \cdot q_{скл} \quad (6.5)$$

де t – число вікон; $S_{вікна}$ – площа одного вікна, $S_{вікна} = 2,88 \text{ м}^2$;

k – коефіцієнт, віконного переплетення: $k = 0,6$ матові;

$q_{скл.}$ – надходження тепла через 1 м^2 вікна при різній орієнтації вікон: $q_{скл.} = 150$ – південь;

$$Q_{рад} = 1,288 \cdot 0,6 \cdot 150 = 259,2 \text{ Вт}$$

5. Загальна кількість тепла в проектному відділі:

$$Q_{над} = Q_{осв} + Q_{облад} + Q_{ін-пр.} + Q_{рад} = 275 + 2500 + 495 + 259,2 = 3,529 \text{ кВт}$$

6. Потрібний повітрообмін за надлишком тепла:

$$L = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot (t_{вид} - t_{зовн})}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (6.6)$$

Q - кількість тепла, яке виділяється в приміщення за годину, Дж:

$$Q = 3600 \cdot Q_{надл} = 3600 \cdot 3529 = 12704 \text{ Вт} = 5328 \text{ кДж};$$

c – теплоємність повітря, Дж/кг (в інтервалі температур від 0°C до 100°C приймається рівною $1,01 \cdot 10^3$ Дж/кг);

ρ – густина повітря, кг/м³ (дорівнює $\rho_{внт} = 1,2$ кг/м³);

$t_{вид}$ – температура повітря, що видаляється, $t_{вид} = 30^\circ\text{C}$

$t_{зовн.}$ - температура повітря, що подається до робочої зони, $t_{зовн.} = 23^\circ\text{C}$

$$L = \frac{5328}{1,01 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot (30 - 23)} = 628 \text{ м}^3/\text{год}$$

Оскільки, в проектному відділі підвищена температура повітря на 2 °C від допустимого значення 28°C, встановили механічну вентиляцію з вентилятором VORTICE VARIO , яка забезпечила надходження до приміщення температури повітря 23 °C, дане значення є оптимальним.

6.3. Пожежна безпека

Відповідно до [19-21] дане приміщення відноситься до категорії В по вибухово-пожежній та пожежній небезпеці із-за використання у ньому твердих горючих матеріалів з температурою спалаху понад 61°C.

Проектний відділ оснащено:

- Двома безпроводними датчиками детектування диму SD-02 (оповіщає при задимленні приміщення; площа обслуговування: до 20 м²);

- двома порошковими вогнегасниками ВП-5 (для приміщення категорії В за відсутності горючих газів і рідин, площею до 50 м² і масою вогнегасної речовини – 5 кг, мінімальна кількість порошкових вогнегасників 2).

- LifeSOS LS-30LR бездротова пожежно-охоронна система (при детектуванні вторгнення, датчики передають на центральний блок сигнал тривоги по радіоканалу без проводів. Централь приймає сигнал від датчиків, включає сирену, відправляє інформацію на пульт централізованого нагляду, дзвонить на зазначені телефонні номери та відправляє SMS повідомлення з повідомленнями про тривогу.)

Для попередження виникнення пожеж проводяться організаційно-технічні заходи пожежної безпеки, які включають:

- включення питань пожежної безпеки у всі інструкції по техніці безпеки;
- виконання встановленого режиму експлуатації електричних мереж та обладнання;
- заборона куріння в недозволеному місці;
- видання необхідних інструктажів, планів евакуації

План евакуації складається з графічної і текстової частин. Графічна частина являє собою схематичний план поверху (рис. 6.1), в якому зеленими суцільними стрілками вказують шляхи евакуації, що ведуть до основних евакуаційних виходів, а пунктирними зеленими стрілками - до аварійних виходів. Двері на шляху евакуації відчиняються назовні у напрямку виходу з будівлі. На плані евакуації умовними знаками показано розміщення вогнегасників, пожежних гідрантів, телефонів, аптечок медичної допомоги, електрощитів, датчиків диму, системи охоронно-пожежної сигналізації.

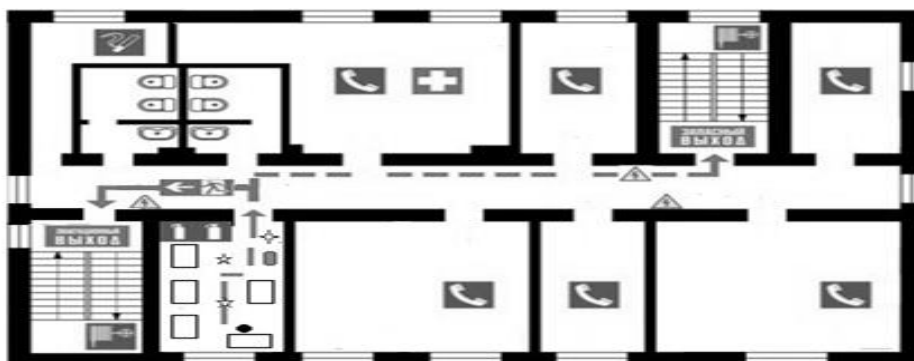


Рис. 6.1. План евакуації 2 поверх

6.4. Інструкція з охорони праці при роботі з персональним комп'ютером

Вимоги безпеки перед початком роботи.

- Перед початком роботи працівник повинен зовнішнім оглядом перевірити цілісність корпусів системного блоку, відео монітора, принтера, клавіатури.
- Перевірити цілісність кабелів живлення, місць їх підключення (розеток електромережі, продовжувачів електромережі, розгалужувальних коробок, штепсельних вилок).
- Підготувати своє робоче місце, прибравши речі, які можуть заважати при виконанні роботи.
- Ввімкнути живлення ПК.
- У випадку, якщо після ввімкнення ПК не проходить загрузка або комп'ютер не виходить на робочий режим, працівник повинен повідомити керівника чи спеціаліста відділу інформаційних технологій.
- При виявленні ушкодження або яких-небудь інших недоліків повідомити безпосереднього керівника. Не приступати до роботи без його вказівки.

Вимоги безпеки під час роботи

- Необхідно стійко розташувати всі складові пристрої на столі, в тому числі і клавіатуру. Разом з тим повинна бути передбачена можливість переміщення клавіатури. Її розташування і кут нахилу повинні відповідати побажанням користувача ПК. Якщо в конструкції клавіатури не передбачений простір для опору долонь, то її слід розташовувати на відстані не менше 100 мм від краю столу в оптимальній зоні моніторного поля. При роботі на клавіатурі слід сидіти прямо, не напружуватись.
- Для зменшення несприятливого впливу на користувача пристроїв типу "миша" (вимушена поза, необхідність постійного контролю за якістю дій) слід забезпечити вільною більшу площу поверхні столу для переміщення "миші" і зручного упору ліктьового суглоба.
- Не припустимі сторонні розмови, роздратовуючі шуми тощо.

- Періодично при вимкненому ПК слід видаляти злегка зволоженою мильним розчином хлопко-паперовою салфеткою пил з поверхонь апаратури. Екран і захисний екран протирають ватою, зволоженою спиртом.

- Не дозволяється використовувати рідинні або аерозольні засоби чистки поверхонь ПК.

Забороняється:

- самостійно ремонтувати апаратуру, в яких кінескоп та інші елементи можуть знаходитись під високою напругою (до 25 кВ0.)

- класти будь-які речі на апаратуру ПК, бутерброди та напої на клавіатуру або поруч з нею. Це може вивести її з ладу;

- затуляти вентиляційні отвори в апаратурі, це може призвести до її перегріву і виходу з ладу.

- Для зменшення негативного впливу на стан здоров'я працівників різних факторів ризику, пов'язаних з роботою на ПК, передбачаються додаткові регламентовані перерви для відпочинку користувачів ПК:

- через кожний час безперервної роботи – 10 хвилин;

- через кожні 2 години – 15 хвилин.

- При можливості слід чергувати зміну діяльності з іншою, не пов'язаною з роботою на ПК.

- З метою зменшення негативного впливу монотонності доцільно застосовувати чергування операцій введення тексту і введення даних (зміна змісту і темпу роботи) і т.п.

- При роботі на лазерних принтерах:

- Розташовувати принтер необхідно поряд з системним блоком так, щоб з'єднувальні шнури не були натягнуті. Забороняється ставити принтер на системний блок.

- Перш, ніж програмувати роботу принтера, впевніться, що він знаходиться в режимі зв'язку з системним блоком.

- Для досягнення високоякісного, чистого, з високою роздільною здатністю зображення щоб не зіпсувати апарат, потрібно використовувати папір, марка якого вказана в інструкції до принтера (найчастіше папір вагою 60-135 г/м², типу Canon або Xerox 4024).

- Обрізання країв паперу повинно бути виконаним гострим лезом ножа, без заусенців – це зменшить вірогідність загинання паперу.

- При виконанні роботи (більше 20 хвилин), коли втручання користувача в роботу програми не потрібне, бажано вимикати живлення відео монітора.

- Для підтримки загального тону м'язів, профілактики кістково-м'язових порушень, зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних почуттів під час регламентованих перерв необхідно виконувати комплекси рекомендованих вправ для очей, для хребта, для рук.

- Кількість мікро пауз до 1-2 хвилин слід визначити індивідуально. Форма та зміст перерв можуть бути різними виконання допоміжних робіт, не пов'язаних з роботою ПК, приймання їжі, виконання рекомендованих вправ.

- Виконання фізичних вправ протягом дня рекомендується індивідуально, залежно від почуття втоми. Гімнастика повинна біти на корекцію вимушеної пози покращення кровообігу, часткову компенсацію, дефіциту рухової активності.

- Про виявлені несправності (іскріння, пробоїв, запаху гару, ознак горіння тощо) негайно припинити роботу, відключити все обладнання від електромережі і терміново повідомити безпосереднього керівника або спеціаліста по ремонту ПК.

Вимоги безпеки при закінченні роботи на ПК.

- Закінчити і зберегти в пам'яті ПК файли, які знаходились у роботі. Виконати всі дії для коректного завершення роботи в оперативній системі.

- Вимкнути принтер та інші периферійні пристрої, вимкнути системний блок. При наявності пристрою безперебійного живлення (ПБЖ) вимкнути його живлення.

- Вимкнути ПК кнопкою «POWER» (ЖИВЛЕННЯ) та вийняти штепсельну вилку кабелю живлення з розетки

- Накрити клавіатуру кришкою для попередження попадання в неї пилу.

- Навести порядок на робочому місці.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

- Якщо після ввімкнення ПК відчувається запах горілого або при доторканні до металевих частин ПК відчувається дія електричного струму, потрібно негайно відключити ПК від електромережі та повідомити про це свого керівника.

- У випадку виникнення пожежі негайно розпочати гасіння наявними засобами пожежогасіння і повідомити за телефоном 101 (міська пожежна охорона) та начальника ДПД підприємства. Пам'ятайте, що загашувати електроустановки слід вуглекислотними вогнегасниками, сухим піском, щоб уникнути ураження електричним струмом.

У разі виникнення інших аварійних ситуацій слід припинити роботу і повідомити про це керівника робіт.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 6

На підставі виконаного розрахунку повітрообміну за надлишком тепла, значення якого $628 \text{ м}^3/\text{год}$, встановили механічну вентиляцію з вентилятором VORTICE VARIO, оскільки використання природної вентиляції є малоефективним. Механічна вентиляція здатна забезпечити виведення з проектного відділу температури 30°C і підтримувати температуру повітря допустимого та навіть оптимального значення.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1. Аналіз впливу техногенних чинників

Широке використання електричного та електронного обладнання дозволило не тільки підвищити якість життя людей, але й призвело до негативних наслідків для навколишнього середовища та здоров'я людини. Можна виділити основні шкідливі та небезпечні чинники, які впливають на навколишнє середовище [22]:

- шумове забруднення;
- вібраційне забруднення;
- електромагнітне забруднення
- теплове забруднення
- радіаційне забруднення

Шумове забруднення. У сучасному світі в умовах науково-технічного прогресу шум став однією з форм фізичного (хвильового) забруднення природного середовища. Шумом прийнято вважати усі неприємні та небажані звуки або їх сукупність, які заважають нормально працювати, сприймати потрібну звукову інформацію та відпочивати.

Адаптація до нього практично неможлива. Фоновий рівень шуму навколишнього середовища становить 30-60 децибел. До цього природного фону за сучасних умов додаються виробничі й транспортні шуми, рівень яких нерідко перевищує 100 децибел. Джерелами шуму є: промислові об'єкти, транспорт, гучномовні пристрої, телевізори, радіоприймачі, музичні інструменти, юрби людей тощо. Шум у виробничих умовах негативно впливає на працівника: послаблює увагу, посилює розвиток втоми, сповільнює реакцію на небезпеку. Внаслідок цього знижується працездатність та підвищується ймовірність нещасних випадків. Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот на робочих місцях у виробничих приміщеннях наведені в таблиці 7.1 [22]:

Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Рівні звукового тиску в дБ, в октавних смугах частот, Гц								
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
107	95	87	82	78	75	73	71	69

Встановлено, що рослини під впливом шуму знижують енергію до зростання, у них спостерігається надмірне (навіть повне, що призводить до загибелі) виділення вологи через листя, можливі порушення у клітинах. Гинуть листя і квіти рослин, які розташовані близько до джерела інтенсивного шуму (звуку). Відсутність шуму особливо необхідний для тварин, які обмінюються звуковою інформацією, а також аналізуючи звуки навколишнього середовища з метою покращання отримання інформації, в тому числі сигналів тривоги. Аналогічно діє шум на тварин. Від шуму реактивного літака гинуть личинки бджіл, самі

вони втрачають здатність орієнтуватися, у пташиних гніздах дає тріщини шкаралупа яєць. Від коливань повітря, які утворюються звуками переносної радіоапаратури, не можуть піднятися у повітря жуки, джмелі та інші комахи.

Вібраційне забруднення. Вібрація – це механічні коливання твердого тіла. Вібрацію поділяють на природну та штучну. Джерелами природної вібрації є землетруси, що викликаються природними чинниками. Джерелами штучної вібрації є промисловість, транспорт. Тривалі вібрації завдають великої шкоди здоров'ю людини – від сильної втоми до змін багатьох функцій організму: порушення серцевої діяльності, нервової системи, спазмів судин, деформації м'язів, струсу головного мозку тощо. Особливо небезпечна вібрація з частотою, яка є резонансною з частотою коливання окремих органів чи частин тіла людини, що може призвести до їх пошкодження. Тривала дія вібрації може спричинити професійне захворювання – вібраційну хворобу [22].

Електромагнітне забруднення. У процесі еволюції біосфера постійно знаходилася і знаходиться під впливом електромагнітного поля (ЕМП) природного походження (природний фон): електричного й магнітного поля Землі, космічного електромагнітного випромінювання, насамперед того, що генерується Сонцем. У період

науково-технічного прогресу людство створювало і дедалі ширше використовувало штучні (антропогенні) джерела ЕМП. У наш час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, вплив якого на людину та довкілля рік за роком зростає. Ступінь впливу ЕМП на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервного чи модульованого), режиму опромінювання, розміру поверхні тіла, що зазнає опромінювання, індивідуальних особливостей організму. Електромагнітні поля можуть викликати біологічні та функціональні порушення у функціонуванні організму. Функціональні ефекти проявляються у передчасній втомлюваності, частих болях голови, погіршенні сну, порушенні функцій серцево-судинної та центральної нервової систем. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень та захворювань. Біологічні негативні ефекти впливу ЕМП проявляються у тепловій та нетепловій діях. Теплова дія призводить до підвищення температури тіла та місцевого вибіркового нагрівання органів і тканин організму внаслідок переходу електромагнітної енергії в теплову. Таке нагрівання особливо небезпечне для органів із слабкою терморегуляцією (головний мозок, очі, нирки, шлунок тощо). Наприклад, випромінювання сантиметрового діапазону призводить до появи катаракти, тобто до поступової втрати зору [22].

Теплове забруднення. Теплове забруднення – це результат розсіювання в навколишнє середовище теплоти, яка виділяється у багаточисельних теплових процесах, насамперед пов'язаних зі згоранням палива. Під час згорання палива щорічно витрачається до 23% кисню, що утворюється в процесі фотосинтезу на Землі за рік. За підрахунками під час спалювання вугілля в навколишнє середовище викидається радіоактивних компонентів більше, ніж за той самий час на всіх атомних електростанціях у разі безаварійної роботи. Теплове забруднення гідросфери відбувається переважно внаслідок скидання у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших енергетичних об'єктів. Тепла вода змінює термічні та біологічні режими водойм і шкідливо впливає на їхніх мешканців [22].

7.2. Вплив приймальних пристроїв на навколишнє середовище

Абонентський приймач – телевізійний приймач (приставка), пристрій, що приймає сигнал цифрового телебачення, декодує його і перетворює в аналоговий сигнал для виведення через роз'єми RCA або SCART або перетворює в цифровий сигнал для виведення через роз'єм HDMI , і передає його далі на телевізор.

Перехід до цифрового телебачення призвів до зростання виробництва цифрових абонентських приймачів, що в свою чергу може негативно впливати на навколишнє середовище. Приймач продукує слабкі електричні і магнітні змінні поля в широкому діапазоні частот. Проте проблема впливу електромагнітних випромінювань, що продукуються заслуговує на особливу увагу. Наукові дослідження показали, що ЕМВ мають у своєму складі чинник, котрий впливає на користувачів при наявності сучасних екранів від ЕМВ. Вчені України ідентифікували цей чинник як торсіонові поля, котрі супроводжують будь-яке електромагнітне випромінювання та являються його інформаційною компонентою [25]. Робоча група Всесвітньої організації охорони здоров'я з гігієнічних аспектів користування моніторами та радіо терміналами виявили порушення стану здоров'я при користуванні пристроями, які мають електромагнітне випромінювання, найсерйозніші з яких:

- погіршення зору;
- порушення імунної системи;
- порушення психоемоційної сфери (стресовий синдром, агресивність)

Для забезпечення безпеки здоров'я користувачів в Україні діють Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів «ДСанПіН 3.3.6.096-2002». Значення ГДР напруженості електричної ($E_{гд}$) і магнітної ($H_{гд}$) складових залежно від тривалості їх дії наведені в таблиці 7.2.

Значення ГДР напруженості електричної ($E_{гд}$) і магнітної ($H_{гд}$) складових

Час перебування персоналу, год	$E_{гд}$, В/м					$H_{гд}$, А/м			
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,063 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	30-50 МГц
8	120	70	50	30	10	9	7	5	0,3
7	130	75	53	32	11	9,8	7,5	5,3	0,32
6	140	82	58	34	12	10,6	8,1	5,8	0,34
5	155	90	63	37	13	11,6	8,8	6,3	0,38
4	175	110	71	42	14	13	9,9	7,1	0,42
3	200	115	82	48	16	15	11,4	8,2	0,49
2	250	140	100	59	20	18,4	14	10	0,6
1	350	200	141	84	28	26	19,7	14,2	0,85
0,5	500	280	200	118	40	37,6	27,9	20	1,2

У результаті дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц - 300 МГц (НЧ) спостерігається: загальна слабкість, підвищена втома, сонливість, порушення сну, головний біль та біль в ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухово-мовні реакції. Виникає ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи окремих органів - шлунку, печінки, підшлункової залози.

Для того, щоб зменшити рівень електромагнітного випромінювання потрібно обмежити безперервний час роботи абонентського приймача [23-26].

В Україні норми електромагнітної безпеки регламентуються Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання, згідно з якими допустимі рівні інтенсивності електромагнітного випромінювання для цивільного населення становлять 2,5 мкВт/см².

Абонентський приймач під час роботи створює шум, рівень якого становить 54 дБ. Допустимий рівень звукового тиску повинний відповідати «ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», а саме 50 дБ.

Велика кількість звукових сигналів, що поступають до кори головного мозку, викликають переживання, страх, передчасну втому. Дія шуму на людину виражається в

широкому діапазоні - від суб'єктивного роздратування до об'єктивних змін в ЦНС, органах слуху, серцево-судинних та ендокринній системах, травному акті та інших органів і систем. Першим показником шкідливої дії шуму є скарги на роздратованість, переживання, порушення сну [25].

7.3. Засоби для захисту від електромагнітного випромінювання та шуму, проблема електронних відходів

Захист від електромагнітного випромінювання. Для зменшення впливу ЕМП на персонал та населення, яке знаходиться у зоні дії радіоелектронних засобів, потрібно вжити ряд захисних заходів. До їх числа можуть входити організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

До заходів щодо зменшення впливу на працівників ЕМП належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Організаційні заходи здійснюють органи санітарного нагляду. Вони проводять санітарний нагляд за об'єктами, в яких використовуються джерела електромагнітних випромінювань.

Інженерно-технічні заходи передбачають таке розташування джерел ЕМП, яке б зводило до мінімуму їх вплив на працюючих, використання в умовах виробництва дистанційного керування апаратурою, що є джерелом випромінювання, екранування джерел випромінювання, застосування засобів індивідуального захисту (халатів, комбінезонів із металізованої тканини, з виводом на заземлюючий пристрій). Для захисту очей доцільно використовувати захисні окуляри ЗП5-90. Скло окулярів вкрито напівпровідниковим оловом, що послаблює інтенсивність електромагнітної енергії при світлопропусканні не нижче 75%.

Взагалі, засоби індивідуального захисту необхідно використовувати лише тоді, коли інші захисні засоби неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони опромінення підвищеної інтенсивності, при ремонтних і налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності

опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій, погіршують гігієнічні умови.

У радіочастотному діапазоні засоби індивідуального захисту працюють за принципом екранування людини з використанням відбиття і поглинання ЕМП. Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і рідіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину роблять із бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким проводом, або з бавовняних чи капронових ниток, спіралью оббитих металевим дротом. Така тканина, наче металева сітка, при відстані між нитками до 0,5 мм значно послаблює дію випромінювання. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок безконтактних проводів.

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії ЕМП, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру.

Захист від шуму. Для зменшення і ліквідації шуму застосовується цілий комплекс заходів, що називається шумозахистом. Це застосування звукопоглинаючих матеріалів, раціональне розміщення будівельних об'єктів, створення вздовж вулиць екранів у вигляді земляних валів, стін різних конструкцій, шумовідбиваючих, як правило не житлових будівель - магазинів, складів, гаражів.

Проблема електронних відходів. Згідно Закону України «Про відходи» з метою запобігання або зменшення обсягів утворення відходів потрібно здійснювати системи збирання та утилізації електричного та електронного обладнання [30]. Вирішення проблеми електронних відходів в Україні мав би забезпечити «Технічний регламент з поводження з відходами електричного та електронного обладнання», розробка якого в Україні здійснюється з 2008 року. Згідно з проектами цих законодавчих актів імпортери і виробники можуть як самостійно утилізувати електровідходи, так і підписувати договори на виконання робіт з організації збирання, заготівлі та утилізації відповідних видів техніки з

уповноваженими підприємствами. Розроблено також проект Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту з поводження з відходами електронного та електричного устаткування». Цим регламентом передбачається створення пунктів збору відходів електронного та електричного обладнання, які повинні розташовуватися у місцях, зручних для користувачів, та забезпечувати безоплатність послуг, що надаються цими пунктами для користувачів. Наразі обговорюється ще один варіант вирішення проблеми, а саме проект внесення змін до Податкового Кодексу, в якому передбачає централізоване стягнення коштів з імпортерів та виробників різних споживчих товарів з метою забезпечення за рахунок цих коштів належної організації збирання, заготівлі та утилізації відходів від зазначених товарів.

Однак, загалом проблему електронних відходів в Україні необхідно вирішити як в організаційно-правовому аспекті – створення фондів виробників, підтримка держави підприємств з утилізації відходів, так і в соціально-інформаційному: українців треба переконати в тому, що виносити на звичайний смітник поламаний електронний пристрій – не можна.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 7

Телекомунікаційні ресурси створюють негативний вплив на навколишнє середовище. Вони є джерелами електромагнітного випромінювання та шумового забруднення. Для мінімізації ризику виникнення захворювань, ефективними є інженерно-технічні заходи, які зменшують дію шкідливих чинників. Також були розглянута проблема електронних відходів, одним зі шляхів вирішення якої є створення пунктів збору відходів електронного та електричного обладнання.

ВИСНОВКИ

За результатами кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. було проаналізовано мережу п'ятого покоління, порівняння її попередніми поколіннями, визначено їх різницю а також плюси і мінуси мережі нового покоління. Також проаналізовано технічні подробиці нової мережі та аспекти її впровадження для використання у містах та селах.

2. було розглянуто архітектуру мереж 5G, а також змодульовано канали у мережі п'ятого покоління.

3. проаналізовано QoS та QoE в технології 5G, а саме виміри щодо якості мережі 5G, тести пікових навантажень, вимірювання затримок і вплив мобільних технологій на затримки пакетів у мережі.

4. було з'ясовано роль розроблюваного програмно-апаратного агента у складі системи тестування 5G, обрано мову а також середовище для майбутньої розробки. Приведена архітектура, опис мови програмування і її можливостей, а також головні функції середовища розробки.

5. розроблено інтерфейс зручний у користуванні, стійкий до внесення користувачем невірних даних та помилкових дій, при виникненні помилок у роботі системи виводить повідомлення про способи їх усунення, має приємне кольорове оформлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Java SE 6 Update 26 Release Notes -
www.oracle.com/technetwork/java/javase/6u26releasenotes-401875.html
2. JDK 7: Release Candidate - mreinhold.org/blog/jdk7-rc
3. Martin Fowler — GUI Architectures. <https://habr.com/post/53536/>
4. Murat Y. Expert Android Studio / Y. Murat, D. Onur.
5. Paramanand Sharma and Sapana Shukla, "Comparative study of 1G, 2G,3G,AND 4G", Department of electronics and communication, RKGITW, ISSN No: 2319-5606
6. Gurinder Kaur and Komal Sharma, "Review paper on 5G technology" assistant professor of department of electronics and communication, rayatbahra university, ISSN NO: 2321-0613
7. “Wireless Technology Evolution Towards 5G: 3GPP Release 13 to Release 15 and Beyond.” 5G Americas, Feb. 2017.
8. “LTE to 5G: The Global Impact of Wireless Innovation.” 5G Americas/Rysavy Research White Paper, Rysavy Research/5G Americas, Aug. 2018.
9. 5GNOW 5th Generation: Non-Orthogonal Waveform of Asynchronous Signaling. 2015
10. Dream (sheep++): A developer’s introduction to Google Android <https://arstechnica.com/gadgets/2009/02/anintroduction-to-google-android-for-developers/>.
11. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин.
12. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
13. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».

14. «ДСН 3.3.6.042-99 Санітарних норми мікроклімату виробничих приміщень».
15. ДБН 13.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».
16. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
17. ДСТУ 12.1.005-88 «ССБП. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».
18. ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».
19. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом».
20. ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги».
21. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».
22. Прогнозування екологічних ризиків з використанням аналізу ієрархів та теорії нечітких множин: міжнародна науково-практична конференція «І-й всеукраїнський з'їзд екологів»: Тези доповідей. Україна, м. Вінниця, 4-7 жовтня 2016. – 2016. – С.25.
23. Клап Я. А., Яремкевич О. С., Червецова В. Г., Заярнюк Н. Л., Новіков В. П., Дослідження впливу електромагнітних, постійних магнітних та акустичних полів на організм людини // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2016 – № 812. – С. 365–372.
24. Сучасний стан досліджень впливу електромагнітних випромінювань на організм людини [Електронний ресурс]/[А. П. Чорний, В. В. Никифоров, Д. І. Родькін, В. Ю. Ноженко]// Інженерні та освітні технології в електротехнічних та комп'ютерних системах: щоквартальний науково-практичний журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013.
25. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник для вузів / В. С. Джигирей. - 6-те вид., випр. і доп. - К. : Знання, 2017. - 422 с.
26. Боротьба з шумом на виробництві: Довідник / Під ред. О. Я. Юдіна. – М: Машинобудування, 2015. – 297 с.