



# Звіт про оригінальність

● Оцінка схожості

% 5

● Ризик плагіату

СЕРЕДНІЙ

👤 Olga Kagalo 🕒 2025-06-19 22:59

Посилання на звіт: 10mCI / Посилання користувача: qEAc



# Ось вона – Ваша звіт про оригінальність!

Ми раді повідомити, що перевірка вашого документа завершена, і результати вже готові! Наші алгоритми старанно працювали, щоб знайти збіги в наших базах даних.

На наступних сторінках ви знайдете результати перевірки:

---

Бали

---

Збіги

---

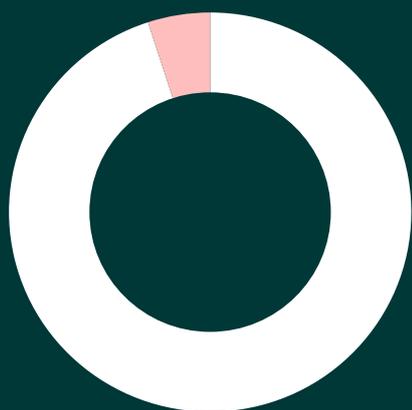
Посилання

---

Ваш документ було перевірено за такими джерелами:

- База даних інтернет-джерел
- База даних наукових статей
- Глибока перевірка (наш вдосконалений алгоритм)

# Бали



● Збіги тексту	5%
● Перефразування	0%
● Цитований текст	0%
● Неправильне цитування	0%
● Збігів не знайдено	95%

## Ризик плагіату

**СЕРЕДНІЙ**

Ризик плагіату вказує, як збіги тексту розподілені по документу. Вищий ризик виникає, коли збіги з'являються близько один до одного, наприклад, у тому самому абзаці або розділі.

## Оцінка схожості

% **5**

Оцінка схожості показує, скільки слів або символів у вашому документі збігаються з текстами інших документів, включаючи перефразовані тексти або неправильні цитати.

# Збіги

---

## ВСТУП

Актуальність проєктування мережі, оптимізованої для віртуальної та доповненої реальності з використанням технологій 5G, є надзвичайно високою і продовжує зростати завдяки двом ключовим факторам: стрімкому зростанню популярності VR/AR та їхнім специфічним вимогам до мережевої інфраструктури.

Зростання популярності віртуальної та доповненої реальності відбувається в таких сферах:

Ігри та розваги: Іммерсивні ігрові досвіди, віртуальні тури, інтерактивні розважальні заходи.

Освіта та навчання: Віртуальні екскурсії, симуляції складних процесів, інтерактивні навчальні модулі.

Промисловість та виробництво: Віддалене керування обладнанням, віртуальне прототипування, навчання технічного персоналу.

Медицина: Хірургічні симуляції, реабілітація, телемедицина з елементами AR.

Роздрібна торгівля та маркетинг: Віртуальні примірки, інтерактивні каталоги, AR-реклама.

Соціальні комунікації: Віртуальні зустрічі, спільні віртуальні простори.

Обсяг світового ринку VR та AR демонструє стійке зростання, залучаючи значні інвестиції та стимулюючи інновації. З'являються нові, більш доступні та функціональні VR/AR-гарнітури та окуляри, що робить технології більш привабливими для широкого кола користувачів.

Мета проєкту – це створити високопродуктивну, стабільну та масштабовану мережеву інфраструктуру на основі технології 5G, яка забезпечить безперебійну та якісну роботу додатків віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальностей для широкого кола користувачів та сценаріїв використання.

До основних цілей проектування даної мережі відносять:

#### 1. Забезпечення низької затримки (Low Latency):

Досягти мінімально можливої затримки передачі даних (end-to-end latency) в мережі 5G, що є критично важливим для уникнення ефекту заколисування та забезпечення миттєвої реакції в VR/AR-додатках. Оптимізувати маршрутизацію трафіку та конфігурацію мережевого обладнання для зменшення часу відгуку.

#### 2. Гарантування високої пропускної здатності (High Bandwidth):

Забезпечити достатню пропускну здатність мережі 5G для передачі великих обсягів даних, необхідних для потокової передачі високоякісного візуального та аудіо контенту VR/AR у реальному часі.

#### 3. Підвищення надійності та стабільності з'єднання (High Reliability and Stability):

Створити мережу з високим рівнем доступності та мінімальним ризиком обривів з'єднання, що є критичним для безперервного та комфортного користування VR/AR-додатками.

#### 4. Підтримка великої кількості одночасних користувачів (High User Density):

Забезпечити можливість одночасного підключення та якісного обслуговування значної кількості VR/AR-користувачів у густонаселених районах або під час масових заходів.

#### 5. Забезпечення безпеки передачі даних (Data Security):

Впровадити надійні механізми шифрування та автентифікації для захисту даних користувачів VR/AR-додатків, що передаються мережею 5G.

#### 6. Створення гнучкої та масштабованої архітектури (Flexible and Scalable Architecture):

Розробити мережеву архітектуру, яка буде легко масштабуватися для підтримки зростаючих вимог VR/AR-додатків та збільшення кількості користувачів у майбутньому.

Успішне досягнення цих цілей дозволить розгорнути повноцінну та ефективну мережу 5G, яка стане надійною основою для широкого впровадження та якісного користування VR/AR-технологіями в різних сферах життя.

## 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

### 1.1 Типи систем віртуальної та доповненої реальності

Системи віртуальної реальності створюють повністю штучне середовище, в яке занурюється користувач, блокуючи сприйняття реального світу. Їх можна

класифікувати наступним чином:

1. Неімерсивні (Desktop-based VR). Користувач взаємодіє з віртуальним середовищем через звичайний комп'ютер, монітор, клавіатуру та мишу або ігровий контролер. Рівень занурення є найнижчим, оскільки користувач залишається усвідомленим щодо свого фізичного оточення. До прикладів відносять 3D-ігри на ПК, віртуальні тури через веб-браузер. До переваг відносять доступність, низька вартість обладнання.

Недоліки: Низький рівень занурення, обмежена інтерактивність.

2. Напімерсивні (Semi-immersive VR). Користувач частково занурюється **5** у віртуальне середовище, часто використовуючи великі екрани, проєкційні системи або спеціалізовані кабінки. Може включати елементи зворотного зв'язку, такі як вібрація або звук, для підвищення відчуття присутності. До прикладів відносять авіасимулятори, симулятори водіння, купольні кінотеатри, а до переваг належать вищий рівень занурення порівняно з неімерсивними системами, більш реалістичні симуляції. Недоліками може бути вища вартість обладнання, обмежена мобільність.

3. Повністю імерсивні (Fully-immersive VR). Користувач повністю занурюється **5** у віртуальне середовище за допомогою спеціального обладнання, такого як шоломи віртуальної реальності (VR headsets), рукавички, костюми з датчиками руху та системи відстеження положення тіла. Шоломи VR забезпечують стереоскопічне 3D-зображення, яке заповнює поле зору користувача, **5** створюючи відчуття присутності "всередині" віртуального світу. Системи відстеження руху дозволяють користувачеві взаємодіяти з віртуальним середовищем за допомогою рухів голови, рук та всього тіла. До прикладів належать ігри для VR-шоломів, віртуальні тренінги, віртуальні соціальні платформи. Перевагами може бути найвищий рівень занурення та інтерактивності, реалістичні відчуття, а недоліками може бути вища вартість обладнання, потенційний дискомфорт (наприклад, заколисування), обмежена мобільність (залежно від системи відстеження).

Системи доповненої реальності накладають комп'ютерно-генеровану інформацію (зображення, текст, 3D-об'єкти, рисунок 2.1) на реальний світ, розширюючи сприйняття користувача.

Рисунок 2.1 – Континуум реальність-віртуальність

Їх можна класифікувати за способом відображення та типом використовуваного обладнання:

1. AR на основі екрану (Screen-based AR). Використовує екрани пристроїв, таких як смартфони, планшети або ноутбуки, для відображення реального світу через камеру з накладеними на нього цифровими елементами. До прикладів відносять мобільні AR-

ігри (наприклад, Pokémon Go), AR-фільтри в соціальних мережах (наприклад, Snapchat, Instagram), AR-додатки для меблів (візуалізація меблів у реальному приміщенні). Перевагами може бути доступність, широка поширеність пристроїв, простота розробки, а недоліками може бути обмежене поле зору віртуальних об'єктів, необхідність тримати пристрій перед собою, менший рівень занурення порівняно з іншими типами AR.

2.AR на основі проєкції (Projection-based AR). Використовує проєктори для накладання цифрових зображень безпосередньо на фізичні об'єкти або поверхні. Може включати сенсори для взаємодії користувача з проєктованими елементами.

Приклади: Інтерактивні столи, проєкційні дисплеї на лобовому склі автомобіля (HUD), інтерактивні інсталяції. До переваг відносять можливість інтеракції з фізичним світом через проєкції, великі розміри відображення. До недоліків належать обмеження щодо умов освітлення, потенційна складність налаштування та калібрування.

3.AR на основі окулярів (Head-mounted Displays - HMDs). Використовує спеціальні окуляри або гарнітури, які накладають цифрову інформацію на поле зору користувача.

Можуть бути оптичними (прозорі лінзи, через які видно реальний світ з накладеними зображеннями) або відеопрозорими (реальний світ відображається на дисплеях всередині окулярів, з додаванням віртуальних елементів). Прикладами може бути Microsoft HoloLens, Magic Leap, Google Glass (ранні версії). До переваг належать "Вільні руки", ширше поле зору віртуальних об'єктів, потенційно вищий рівень занурення та зручність використання, а до недоліків відносять вищу вартість обладнання, технологічні обмеження (наприклад, поле зору, час роботи батареї), потенційний дискомфорт при тривалому носінні.

Розуміння цих різних типів систем VR та AR є важливим для вибору найбільш підходящої технології для конкретного застосування, враховуючи необхідний рівень занурення, інтерактивність, мобільність та бюджет.

Розвиток технологій продовжує стирати межі між цими категоріями, і в майбутньому ми можемо побачити появу гібридних систем, що поєднують елементи VR та AR.

## 1.2 Вимоги VR/AR до мережі

Для забезпечення якісного, комфортного та реалістичного досвіду користування технологіями віртуальної та доповненої реальності, мережева інфраструктура повинна відповідати низці критично важливих вимог. Недостатнє виконання цих вимог може призвести до негативного користувацького досвіду, включаючи запаморочення, дезорієнтацію, розриви зображення та загальну незручність.

Основні вимоги VR/AR до мережі включають:

1. Висока пропускна здатність (High Bandwidth). VR та AR-додатки часто передають великі обсяги даних у реальному часі. Це включає високоякісну графіку, 3D-моделі, текстури високої роздільної здатності, аудіо та сенсорні дані. Для забезпечення плавної та деталізованої візуалізації потрібна значна пропускна здатність як для завантаження (downlink), так і для передачі (uplink) даних (особливо у випадку інтерактивних багатокористувацьких сценаріїв). Недостатня пропускна здатність призводить до затримок у завантаженні контенту, розмиття зображення, зниження деталізації та загальної втрати візуальної якості, що руйнує ефект присутності. Приклади: VR-ігри можуть вимагати сотні мегабіт на секунду для передачі складних віртуальних світів. AR-додатки, які накладають деталізовані 3D-моделі на реальне середовище, також потребують високої швидкості передачі даних.

2. Низька затримка (Low Latency). Затримка, або час, необхідний для передачі даних від одного кінця мережі до іншого, є критично важливим фактором для VR/AR. Будь-ка затримка між дією користувача (наприклад, рухом голови) та відповідною зміною у віртуальному або доповненому середовищі може викликати дискомфорт, запаморочення (motion sickness) та погіршити інтерактивність. Людське око та вестибулярний апарат дуже чутливі до розсинхронізації між візуальною інформацією та рухами тіла. Навіть невелика затримка може порушити відчуття присутності та занурення. Цільові значення: Для комфортного VR/AR досвіду затримка "кінець-кінець" (end-to-end latency) часто має бути меншою за 20 мілісекунд, а в ідеалі – меншою за 10 мілісекунд.

3. Висока надійність та стабільність з'єднання (High Reliability and Stability). Переривання або нестабільність мережевого з'єднання можуть повністю зруйнувати іммерсивний досвід VR/AR. Втрата пакетів даних або коливання затримки (jitter) можуть призвести до "зависань", телепортацій у віртуальному світі, спотворень зображення та втрати синхронізації в багатокористувацьких сценаріях. Безперервність та стабільність з'єднання є ключовими для підтримки відчуття присутності та плавної взаємодії. Мережа повинна забезпечувати мінімальний рівень втрати пакетів та стабільну затримку протягом сеансу VR/AR.

4. Підтримка великої кількості одночасних підключень (High Connection Density). У майбутньому очікується значне зростання кількості VR/AR-пристроїв та користувачів. Мережа **22** повинна бути спроектована таким чином, щоб одночасно підтримувати велику кількість підключень без погіршення продуктивності для окремих користувачів. Це особливо важливо для публічних заходів, освітніх закладів, промислових середовищ та багатокористувацьких ігор. Забезпечення якісного досвіду для великої кількості користувачів одночасно є ключем до масового впровадження VR/AR.

5. Можливість забезпечення якості обслуговування (Quality of Service - QoS). У мережах,

де одночасно передаються різні типи трафіку, важливо мати механізми пріоритизації трафіку VR/AR (рисунок 2.1). Це гарантує, що критично важливі для VR/AR дані (наприклад, дані про рух, візуалізація) отримують вищий пріоритет порівняно з менш чутливим до затримок трафіком. QoS допомагає підтримувати необхідну продуктивність VR/AR навіть при високому завантаженні мережі.

6.Мобільність (Mobility). Багато AR-застосунків, а в майбутньому і деякі VR-сценарії, вимагатимуть мобільності користувачів. Це означає, що мережа повинна забезпечувати безперервне та якісне з'єднання під час переміщення користувача між різними точками доступу або зонами покриття. Мобільність розширює спектр застосувань VR/AR, дозволяючи використовувати ці технології в реальному світі (наприклад, навігація з AR-підказками, мобільні AR-ігри).

7.Енергоефективність (Energy Efficiency). Для мобільних VR/AR-пристроїв важлива енергоефективність мережевого підключення, щоб продовжити час роботи акумулятора. Забезпечення тривалого часу автономної роботи є ключовим для зручності використання мобільних VR/AR-систем.

Задоволення цих вимог є складним завданням, яке вимагає розвитку та впровадження передових мережевих технологій, **8** таких як 5G, Wi-Fi 6 та edge computing. Технологія 5G, зокрема, завдяки своїй високій пропускній здатності, низькій затримці та підтримці великої кількості підключень, розглядається як ключовий фактор для реалізації повноцінного потенціалу віртуальної та доповненої реальності.

## 2 ОСОБЛИВОСТІ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

### 2.1 Архітектура мережі 5G

Архітектура мережі 5G значно **8** відрізняється від попередніх поколінь мобільного зв'язку, проєктуючись для забезпечення вищої продуктивності, гнучкості та підтримки різноманітних послуг.

Основні принципи та компоненти архітектури 5G включають:

1. Сервісно-орієнтована архітектура (Service-Based Architecture - SBA). На відміну **8** від попередніх поколінь, де мережеві елементи були тісно пов'язані, 5G використовує SBA (рис.2.1), де мережеві функції (Network Functions - NFs) взаємодіють через стандартизовані інтерфейси. Це забезпечує більшу гнучкість, масштабованість **3** та **25** можливість швидкого розгортання нових послуг.

**25** Рисунок 2.1- Архітектура 5G

Приклади NFs включають:

AMF **2** (Access and Mobility Management Function): Управління **2** підключенням та мобільністю користувачів.

**2** SMF (Session Management Function): Управління **2** сесіями користувачів, IP-адресами тощо.

**2** UPF (User Plane Function): Передача та маршрутизація користувацького трафіку.

PCF (Policy Control Function): Управління політиками та правилами для користувачів та послуг.

**2** UDM (Unified Data Management): Управління даними користувачів та їхніми підписками.

2. Розділення площин керування та користувача (Control and User Plane Separation - CUPS). Функції керування (сигналізація, контроль сесій) відокремлені від функцій передачі даних користувача. Це дозволяє оптимізувати кожен площину окремо, підвищити ефективність та гнучкість мережі. Наприклад, UPF може бути розміщений ближче до краю мережі (edge computing) для зменшення затримки.

3. **3** Віртуалізація мережевих функцій (Network Functions Virtualization - NFV) та програмно-визначені мережі (Software-Defined Networking - SDN). NFV передбачає реалізацію мережевих функцій у вигляді програмного забезпечення, яке може бути розгорнуте на стандартному обладнанні. Це **3** знижує витрати та підвищує гнучкість. SDN **3** дозволяє централізовано керувати мережевою інфраструктурою **3** за допомогою програмного забезпечення, спрощуючи конфігурацію та управління мережею.

4. Мережеве нарізання (Network Slicing). 5G дозволяє створювати кілька віртуальних логічних мереж (зрізів) на одній фізичній інфраструктурі. Кожен зріз може бути оптимізований для конкретних вимог різних послуг та користувачів (наприклад, один зріз для високошвидкісного мобільного широкосмугового зв'язку, інший – для масового IoT з низькою затримкою).

5. **26** Периферійні обчислення (Edge Computing). Перенесення обчислювальних ресурсів **3** та зберігання даних ближче до кінцевих користувачів та пристроїв. Це значно зменшує затримку для чутливих до часу додатків, таких як VR/AR, **3** автономні транспортні засоби та промислова автоматизація.

6. Нове покоління радіодоступу (New Radio - NR). Використовує нові радіоінтерфейси та спектри частот, включаючи суб-6 ГГц та міліметрові хвилі (mmWave), для досягнення вищих швидкостей **13** передачі даних та більшої ємності. Застосовуються передові

технології, такі як масові MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) та формування променя (beamforming) для підвищення ефективності використання спектру та якості сигналу.

## 2.2 Основні характеристики 5G

Мережі 5G мають ряд ключових характеристик, які значно перевершують можливості попередніх поколінь. До них належать:

1. Надзвичайно висока швидкість передачі даних (Ultra-fast Data Speeds). Теоретично до 20 Гбіт/с у низхідному каналі та до 10 Гбіт/с у висхідному, хоча практичні швидкості також значно вищі за 4G. Це **13** дозволяє миттєво завантажувати великі файли, плавно передавати потокове відео високої якості (включаючи 8K) та забезпечувати безперебійну роботу VR/AR-додатків.

2. Ультранизька затримка (Ultra-low Latency): Затримка "кінець-кінець" може становити всього 1 мілісекунду, що є критично важливим для додатків реального часу, таких як автономне водіння, дистанційне керування промисловими процесами, телемедицина та інтерактивні VR/AR-додатки.

3. Масова кількість підключених пристроїв (Massive Device Connectivity): 5G здатна підтримувати до 1 мільйона пристроїв на квадратний кілометр, що є ключовим для розвитку **1** Інтернету речей (IoT) та розумних міст.

**1** 4. Висока надійність (High Reliability): Мережі 5G проєктуються для забезпечення стабільного та надійного з'єднання, що є важливим для критично важливих застосунків.

5. Покращена ємність мережі (Increased Network Capacity): 5G може обробляти значно більший обсяг трафіку порівняно з 4G, що дозволяє обслуговувати більшу кількість користувачів та пристроїв одночасно без погіршення якості обслуговування.

6. Енергоефективність (Energy Efficiency): Мережі 5G розробляються з урахуванням енергоефективності, що є важливим як для операторів, так і для екології.

7. Гнучкість та адаптивність (Flexibility and Adaptability): Завдяки архітектурі SBA та мережевому нарізанню, 5G може гнучко адаптуватися до різних вимог конкретних послуг та користувачів.

8. Розширений спектр частот (Expanded Frequency Spectrum): 5G використовує ширший діапазон частот, включаючи низькі, середні та високі (міліметрові) діапазони, що дозволяє оптимізувати покриття та пропускну здатність. Ці характеристики роблять 5G ключовою технологією для розвитку багатьох інноваційних застосунків, включаючи віртуальну та доповнену реальність, розумні міста, промислову автоматизацію, автономний транспорт та багато іншого.

## 2.3 Переваги 5G для VR/AR

До основних переваг 5G для віртуальної та доповненої реальності відносять:

- 1.Значно вища пропускна здатність.
- 2.Ультранизька затримка (Ultra-low Latency).
- 3.Підвищена надійність та стабільність з'єднання.
- 4.Можливість мобільного VR/AR без прив'язки до кабелів.
- 5.Підтримка великої кількості одночасних підключень.
- 6.Мережеве нарізання (Network Slicing) для оптимізації.
- 7.Периферійні обчислення (Edge Computing) для зниження затримки.
- 8.Покращена якість обслуговування (QoS).

5G забезпечує набагато вищі швидкості передачі даних порівняно з 4G. Це **27** дозволяє передавати великі обсяги даних, необхідних для високоякісного візуального контенту VR/AR (зображення високої роздільної здатності, складні 3D-моделі, текстури високої деталізації) **1** у реальному часі. Плавніше відтворення графіки, вища деталізація віртуальних світів, можливість потокової передачі контенту VR з роздільною здатністю 8K та вище, **1** що значно підвищує рівень занурення та реалістичності.

5G має значно меншу затримку (час між відправленням та отриманням даних) порівняно з попередніми поколіннями мобільного зв'язку. Критично важлива для інтерактивних VR/AR-додатків. Низька затримка забезпечує миттєву реакцію віртуального або доповненого середовища на дії користувача (рухи голови, рук, тіла), мінімізуючи ризик виникнення запаморочення (motion sickness) та підвищуючи відчуття присутності та реалістичності взаємодії. Це **1** особливо важливо для ігор, симуляцій та дистанційної співпраці.

Мережі 5G проєктуються для забезпечення більш стабільного та надійного з'єднання з меншою кількістю обривів та втратою пакетів даних. Безперервне та стабільне з'єднання є ключовим для підтримки іммерсивного досвіду. Відсутність "зависань" або телепортацій у віртуальному світі, плавна передача даних та синхронізація в багатокористувацьких сесіях значно покращують якість взаємодії.

**16** Висока пропускна здатність та низька затримка 5G дозволяють використовувати бездротові VR/AR-гарнітури без втрати якості досвіду. Це усуває обмеження, пов'язані з

кабелями, забезпечуючи більшу свободу рухів та підвищуючи зручність використання. Сприяє розвитку мобільних VR/AR-застосунків для розваг, навчання, промисловості та інших сфер, де важлива мобільність користувача.

5G здатна підтримувати значно більшу кількість підключених пристроїв на одиницю площі порівняно з 4G. Сприяє розвитку багатокористувацьких VR/AR-середовищ, таких як масштабні онлайн-ігри, віртуальні конференції, спільні навчальні платформи та інтерактивні публічні інсталяції.

Технологія 5G дозволяє створювати віртуальні логічні мережі (зрізи), оптимізовані для конкретних вимог. Оператори можуть виділяти окремі "зрізи" мережі з гарантованою пропускною здатністю та низькою затримкою спеціально для VR/AR-трафіку, забезпечуючи оптимальну продуктивність навіть при високому завантаженні мережі іншими типами трафіку.

**17** Розміщення обчислювальних ресурсів ближче до кінцевих користувачів у мережі 5G (edge computing) дозволяє обробляти дані VR/AR-додатків безпосередньо на краю мережі, а не на віддалених серверах. Значно зменшує затримку "кінець-кінець", що є критично важливим для чутливих до часу інтерактивних VR/AR-застосунків.

Мережі 5G надають кращі можливості для управління якістю обслуговування, дозволяючи пріоритизувати трафік VR/AR. Забезпечує стабільну та передбачувану продуктивність VR/AR-додатків, навіть при навантаженні на мережу іншими типами даних.

Загалом, 5G є ключовою технологією, яка здатна подолати багато обмежень сучасних мереж для VR/AR. Завдяки вищій пропускній здатності, наднизькій затримці, підвищеній надійності та можливостям мережевого нарізання та периферійних обчислень, 5G відкриває шлях до нових, більш захоплюючих, інтерактивних та мобільних досвідів у віртуальній та доповненій реальності.

## 3 ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

### 3.1 Аналіз вимог VR/AR додатків до мережі

Ретельний аналіз вимог VR (віртуальної реальності) та AR (доповненої реальності) додатків є критично важливим для проєктування ефективних мережевих інфраструктур, особливо при використанні технології 5G. Цей аналіз включає визначення ключових параметрів, таких як необхідна пропускна здатність, затримка та очікувана кількість користувачів.

Визначення необхідної пропускної здатності та затримки, вимоги до пропускної здатності та затримки можуть значно варіюватися залежно від типу VR/AR-додатку, його

складності, якості візуального контенту та рівня інтерактивності.

Фактори, що впливають на необхідну пропускну здатність:

Роздільна здатність та частота оновлення дисплея. Вища роздільна здатність (наприклад, 4K на око) та вища частота оновлення (наприклад, 90 Гц або 120 Гц) вимагають значно більшої пропускну здатності для передачі відеопотоку.

Складність 3D-моделей та текстур. Деталізовані віртуальні світи з великою кількістю полігонів та текстурами високої роздільної здатності потребують більшого обсягу даних.

Кількість переданих сенсорних даних. У VR-системах з відстеженням рухів рук, очей, міміки обличчя передача цих даних також впливає на загальну пропускну здатність.

Аудіо: Передача високоякісного багатоканального аудіо збільшує вимоги до пропускну здатності.

Багатокористувацька взаємодія. У багатокористувацьких VR/AR-додатках необхідно передавати дані про положення, дії та комунікацію між користувачами, що збільшує загальний трафік.

Стиснення даних. Використання ефективних алгоритмів стиснення відео та інших даних може значно зменшити необхідну пропускну здатність, але це може вплинути на якість та вимагати додаткових обчислювальних ресурсів.

Прості AR-додатки (наприклад, фільтри) можуть вимагати від кількох до десятків мегабіт на секунду (Мбіт/с). Мобільні VR-ігри зазвичай потребують від 20 до 50 Мбіт/с. Високоякісні PC VR-ігри можуть вимагати від 50 до 100 Мбіт/с і більше.

Професійні VR/AR-симулятори у деяких випадках можуть потребувати сотні мегабіт на секунду.

Фактори, що впливають на допустиму затримку:

-Чутливість до руху. VR-додатки, що передбачають активні рухи користувача (наприклад, ігри з бігом та стрибками), є особливо чутливими до затримки. Висока затримка може викликати запаморочення та дезорієнтацію.

-Інтерактивність. Додатки, що вимагають швидкої та точної взаємодії з віртуальним або доповненим середовищем (наприклад, хірургічні симулятори, промислові AR-інструменти, рисунок 3.1), потребують низької затримки для забезпечення реалістичності та ефективності.

### Рисунок 3.1 - VR/AR додатки до мережі

Багатокористувацька синхронізація. У багатокористувацьких сценаріях низька затримка є критично важливою для забезпечення синхронної взаємодії між користувачами.

Критично чутливі до затримки VR/AR-додатки повинні прагнути до затримки "кінець-кінець" менше ніж 20 мілісекунд (мс), а в ідеалі – менше ніж 10 мс. Менш чутливі AR-додатки (наприклад, інформаційні overlay) можуть допускати дещо вищу затримку, але все одно бажано не перевищувати 50-100 мс для комфортного користування.

Оцінка очікуваної кількості одночасних користувачів є важливим аспектом при проєктуванні мережі для VR/AR-додатків, особливо в публічних просторах, навчальних закладах, промислових середовищах або для багатокористувацьких онлайн-платформ.

Фактори, що впливають на кількість користувачів:

Тип застосування: Розважальні заходи можуть залучати велику кількість одночасних користувачів, тоді як професійні тренінги можуть мати обмежену кількість учасників.

Розмір та призначення локації: Публічні арени, торгові центри або освітні кампуси можуть потребувати підтримки сотень або навіть тисяч одночасних VR/AR-підключень.

Бізнес-модель: Платформи з платною підпискою можуть мати прогнозовану кількість користувачів на основі їхньої бази клієнтів.

Прогнозоване зростання: Необхідно враховувати потенційне зростання популярності додатка або послуги в майбутньому.

Мережа повинна мати достатню ємність для одночасної обробки трафіку від усіх підключених VR/AR-пристроїв без погіршення продуктивності (пропускної здатності та затримки).

Для забезпечення якісного покриття та уникнення перевантаження в зонах з високою щільністю користувачів може знадобитися розгортання більшої кількості точок доступу.

Необхідно використовувати механізми керування мережевими ресурсами (наприклад, QoS) для забезпечення пріоритетного обслуговування VR/AR-трафіку, особливо при великій кількості користувачів.

Важливо розуміти, що вимоги до пропускної здатності, затримки та кількості користувачів є взаємопов'язаними. Збільшення кількості одночасних користувачів може призвести до зростання загального навантаження на мережу, що може вплинути на пропускну здатність та затримку для кожного окремого користувача. Тому при

аналізі вимог необхідно враховувати ці взаємозв'язки та проектувати мережу з достатнім запасом продуктивності для забезпечення якісного досвіду для всіх користувачів навіть при пікових навантаженнях.

Ретельний аналіз вимог конкретного VR/AR-додатку та передбачуваної кількості користувачів **1** є основою для успішного проектування та розгортання мережевої інфраструктури, здатної підтримувати якісний та захоплюючий досвід віртуальної та доповненої реальності.

Для забезпечення безперебійної та якісної роботи додатків віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальностей в мережах, особливо бездротових, критично важливим є пріоритетне обслуговування їхнього трафіку. VR/AR-додатки мають жорсткі вимоги до низької затримки, високої пропускну здатності та мінімальних втрат пакетів. Механізми керування мережевими ресурсами, зокрема Quality of Service (QoS), відіграють ключову роль у задоволенні цих вимог.

До основних механізмів QoS для пріоритетизації VR/AR-трафіку належать:

- 1.Класифікація та маркування трафіку (Traffic Classification and Marking).
- 2.Пріоритетизація черг (Queue Prioritization).
- 3.Обмеження швидкості (Traffic Shaping and Policing).
- 4.Резервування ресурсів (Resource Reservation).
- 5.Механізми QoS у бездротових мережах (Wireless QoS Mechanisms).

На першому етапі VR/AR-трафік ідентифікується та класифікується на основі різних критеріїв, таких як IP-адреси джерела та призначення, номери портів, протоколи (наприклад, RTP для потокового відео/аудіо). Після класифікації трафік маркується за допомогою спеціальних полів у заголовках пакетів, наприклад, DiffServ Code Point (DSCP) в IP-заголовку або Class of Service (CoS) у заголовку Ethernet (для локальних мереж). Ці мітки вказують на рівень пріоритету трафіку.

**21** Мережеві пристрої (маршрутизатори, комутатори, точки доступу Wi-Fi) використовують різні черги для обробки трафіку.Завдяки маркуванню, VR/AR-трафік може бути поміщений у черги з вищим пріоритетом. Пакети з черг вищого пріоритету обробляються та передаються першочергово, що зменшує затримку та ймовірність їхньої втрати під час перевантаження мережі. Існують різні алгоритми керування чергами, такі як **11** Priority Queuing (PQ), Weighted Fair Queuing (WFQ), Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ) та Low Latency Queuing (LLQ), які дозволяють гнучко налаштовувати пріоритети для різних класів трафіку. LLQ, наприклад, забезпечує

мінімальну гарантовану смугу пропускання та низьку затримку для пріоритетного трафіку.

Механізм, який згладжує піки трафіку, відкладаючи передачу надлишкових пакетів у буфері та відправляючи їх з більш рівномірною швидкістю. Це допомагає уникнути перевантаження мережі та забезпечити стабільну пропускну здатність для VR/AR-трафіку. Механізм, який обмежує швидкість трафіку до встановленого ліміту.

У деяких мережах можуть використовуватися протоколи резервування ресурсів, такі як RSVP (Resource Reservation Protocol), для гарантування певної пропускну здатності для конкретних потоків трафіку, наприклад, VR/AR-сесій.

Стандарт QoS для Wi-Fi, який визначає чотири категорії доступу (AC): голосовий трафік (AC\_VO), відеотрафік (AC\_VI), найкращі зусилля (AC\_BE) та фоновий трафік (AC\_BK). VR/AR-трафік може бути відображений на категорії AC\_VI або навіть AC\_VO залежно від його характеристик, щоб отримати пріоритет при доступі до бездротового середовища.

Мережі 5G мають вбудовані механізми QoS, які дозволяють операторам надавати різні рівні обслуговування для різних типів трафіку. Використовуються такі концепції, як QoS Flows та Quality of Service Indicators (QFI), які дозволяють визначати вимоги до затримки, пропускну здатності та надійності для конкретних потоків даних, включаючи VR/AR. Мережевий слайсинг (Network Slicing) у 5G також є важливим механізмом, що дозволяє створювати логічно ізольовані мережі з гарантованими параметрами QoS для різних сервісів, включаючи VR/AR.

Таким чином, механізми керування мережевими ресурсами, особливо QoS, є фундаментальними для забезпечення якісного обслуговування вимогливого VR/AR-трафіку в сучасних мережах, включаючи високошвидкісні бездротові мережі 5G та Wi-Fi 6/6E. Їхнє правильне налаштування та використання є ключем до розгортання успішних та зручних VR/AR-сервісів.

### 3.2 Вибір архітектури мережі

Вибір оптимальної архітектури мережі є ключовим для забезпечення високої якості та надійності VR/AR-додатків, особливо з урахуванням їхніх вимогливих характеристик щодо пропускну здатності та затримки. Технологія 5G разом з Network Slicing та Mobile Edge Computing (MEC) пропонують **1** потужні інструменти для створення ефективної мережевої інфраструктури для VR/AR.

Розгортання мережі 5G є фундаментальним кроком для підтримки вимог VR/AR-додатків. Архітектура 5G, як було описано раніше, з її високою пропускну здатністю, низькою затримкою та підтримкою великої кількості підключень, є ідеальною основою для надання якісного VR/AR-досвіду.

## Стратегії розгортання 5G:

Non-Standalone (NSA) - на початкових етапах розгортання 5G часто використовується архітектура NSA, де нова радіомережа 5G (NR) працює в парі з існуючою інфраструктурою 4G LTE. Це дозволяє операторам швидше впроваджувати послуги 5G, використовуючи наявну опорну мережу. Однак, повний спектр переваг 5G, особливо щодо низької затримки, може бути не повністю реалізований в NSA.

Standalone (SA) - Архітектура SA передбачає розгортання повністю незалежної мережі 5G, включаючи нову радіомережу та опорну мережу 5G Core. SA забезпечує повний потенціал 5G, включаючи ультранизьку затримку та мережеве нарізання. Для оптимальної підтримки вимогливих VR/AR-додатків рекомендується перехід до архітектури SA.

Вибір частотних діапазонів - розгортання 5G включає використання різних частотних діапазонів (низькі, середні та високі – міліметрові хвилі). Вибір діапазону впливає на покриття, пропускну здатність та затримку. Для VR/AR-застосунків, що потребують високої пропускну здатності та низької затримки в зонах з високою щільністю користувачів, можуть бути використані міліметрові хвилі, хоча вони мають менше покриття та більш чутливі до перешкод. Середні діапазони забезпечують компроміс між покриттям та продуктивністю.

Інфраструктура радіодоступу поділяється на масові MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), тобто використання великої кількості антен на базових станціях для одночасної передачі та прийому даних від багатьох користувачів, що підвищує ємність та ефективність використання спектру і на формування променя (Beamforming), тобто на технологію, яка дозволяє спрямовувати радіосигнал безпосередньо на пристрій користувача, покращуючи якість сигналу та зменшуючи перешкоди.

Network Slicing є ключовою особливістю архітектури 5G, яка дозволяє операторам створювати кілька віртуальних логічних мереж (зрізів) на одній фізичній інфраструктурі. Кожен зріз може бути налаштований та оптимізований для задоволення конкретних вимог різних послуг або користувачів.

### Переваги Network Slicing для VR/AR:

Гарантована пропускну здатність - можна створити окремий мережевий зріз з гарантованою мінімальною пропускну здатністю, необхідною для безперебійної роботи VR/AR-додатків, навіть при загальному високому завантаженні мережі.

Низька та передбачувана затримка - оптимізація маршрутизації та конфігурації мережевого зрізу може забезпечити низьку та стабільну затримку, критично важливу

для іммерсивного та інтерактивного VR/AR-досвіду.

Ізоляція трафіку- мережевий зріз для VR/AR може бути ізольований від трафіку інших послуг, запобігаючи впливу перевантажень на продуктивність VR/AR-додатків.

Індивідуальні параметри QoS- кожен мережевий зріз може мати власні параметри якості обслуговування (QoS), що дозволяє надавати пріоритет VR/AR-трафіку.

Підтримка різних вимог - різні типи VR/AR-додатків можуть мати різні вимоги до мережі. Network Slicing дозволяє створювати окремі зрізи, оптимізовані для конкретних потреб (наприклад, один зріз для високоякісного потокового VR-відео, інший – для інтерактивних AR-додатків з низькою затримкою).

Використання технології Mobile Edge Computing (MEC) передбачає розміщення обчислювальних ресурсів та зберігання даних ближче до краю мережі, тобто до користувачів та їхніх пристроїв. Це дозволяє **19** значно зменшити затримку, оскільки дані не потрібно передавати на віддалені сервери для обробки.

Значне зниження затримки - це обробка даних VR/AR-додатків на edge-серверах, розташованих близько до користувачів, мінімізує час на передачу даних, що є критично важливим для забезпечення низької затримки та запобігання запамороченню.

Підвищена продуктивність - перенесення обчислювально інтенсивних завдань (наприклад, рендеринг графіки, обробка сенсорних даних, SLAM – Simultaneous Localization and Mapping для AR) на edge-сервери може покращити продуктивність VR/AR-пристроїв, особливо мобільних, з обмеженими обчислювальними ресурсами.

Зменшення навантаження на опорну мережу -це обробка значної частини даних на краю мережі зменшує обсяг трафіку, який необхідно передавати через опорну мережу, підвищуючи її ефективність.

Покращена конфіденційність та безпека -це обробка чутливих даних VR/AR-додатків на локальних edge-серверах може підвищити рівень конфіденційності та безпеки.

Підтримка локалізованих сервісів - MEC дозволяє розгортати VR/AR-сервіси, специфічні для певних локацій (наприклад, AR-навігація в торговому центрі, VR-тури музеями).

Інтеграція 5G, Network Slicing та MEC для VR/AR - найбільший ефект для VR/AR досягається при комбінованому використанні 5G, Network Slicing та MEC:

5G забезпечує високошвидкісне та надійне бездротове з'єднання з низькою затримкою.

Network Slicing гарантує необхідні мережеві ресурси (пропускну здатність, затримку) для

VR/AR-трафіку.

MEC розміщує обчислювальні ресурси близько до користувачів, додатково зменшуючи затримку та підвищуючи продуктивність додатків.

Вибір конкретної архітектури мережі та стратегії розгортання залежатиме від конкретних вимог VR/AR-додатків, сценаріїв використання, щільності користувачів та економічних факторів. Однак, інтеграція 5G з Network Slicing та MEC є перспективним напрямком для забезпечення якісного та інноваційного досвіду у світі віртуальної та доповненої реальності.

### 3.3 Безпека мережі для VR/AR

Проектування безпечної мережі для віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності з використанням технологій 5G є критично важливим з огляду на зростаючу кількість користувачів, обсяги переданих даних та потенційні ризики, пов'язані з кібератаками та порушенням конфіденційності. Мережі 5G, хоча й пропонують значні переваги, також мають свої унікальні аспекти безпеки, які необхідно враховувати.

VR/AR-мережі, що працюють на базі 5G, можуть бути вразливими до різноманітних кібератак, спрямованих на порушення доступності, цілісності та конфіденційності даних.

Ефективний захист вимагає багаторівневого підходу, що охоплює всі аспекти мережевої інфраструктури та кінцевих пристроїв.

#### 1. До захисту інфраструктури 5G відносять:

Безпека радіоінтерфейсу (Air Interface Security): 5G вже має вбудовані механізми безпеки на рівні радіозв'язку, включаючи шифрування (наприклад, SUCI concealment, user plane integrity protection) та аутентифікацію. Важливо правильно налаштувати та використовувати ці механізми.

Захист опорної мережі (Core Network Security): Захист елементів опорної мережі 5G (AMF, SMF, UPF тощо) **6** від несанкціонованого доступу, DDoS-атак та інших загроз є критично важливим. **14** Це включає використання міжмережевих **14** екранів (firewalls), систем виявлення та **14** запобігання вторгненням (IDS/IPS), а також регулярне **10** оновлення програмного забезпечення.

**10** Безпека мережевого нарізання (Network Slicing Security): Оскільки 5G використовує мережеве нарізання для підтримки різних послуг, кожен зріз, включаючи ті, що призначені для VR/AR, повинен бути ізольований та захищений від атак, спрямованих на інші зрізи.

Безпека периферійних обчислень (MEC Security): Оскільки MEC розміщує обчислювальні ресурси ближче до краю мережі, необхідно забезпечити їх фізичну та логічну безпеку, включаючи захист **6** від несанкціонованого доступу та атак на програмне забезпечення.

2. До захисту VR/AR-пристроїв відносять:

Аутентифікація та авторизація: Забезпечення надійної аутентифікації користувачів та пристроїв **6** для запобігання несанкціонованому доступу до мережі та VR/AR-додатків.

Захист від шкідливого програмного забезпечення: VR/AR-пристрої можуть бути вразливі до вірусів, троянів та інших шкідливих програм. Необхідно використовувати **10** антивірусне програмне забезпечення та регулярно оновлювати його.

**10** Захист від втручання: Забезпечення цілісності програмного забезпечення та прошивки VR/AR-пристроїв для запобігання їх модифікації зловмисниками.

3. До захисту комунікаційних каналів відносять:

Шифрування даних: Всі дані, що передаються між VR/AR-пристроями та мережевою інфраструктурою, повинні бути зашифровані для запобігання їх перехопленню та розшифруванню зловмисниками.

Безпечні протоколи передачі даних: Використання безпечних протоколів (наприклад, TLS/SSL) для обміну даними між компонентами системи.

4. До захисту від специфічних VR/AR-атак належать:

Атаки на сенсорні дані: Зловмисники можуть намагатися маніпулювати сенсорними даними (наприклад, даними відстеження руху) для створення дезорієнтації або небажаної взаємодії користувача.

Атаки на віртуальне середовище: Можливі атаки, спрямовані на зміну віртуального середовища для введення користувача в оману або завдання шкоди.

Атаки через вразливості додатків: VR/AR-додатки можуть мати вразливості, які можуть бути використані зловмисниками для отримання **6** несанкціонованого доступу до системи або даних.

Забезпечення конфіденційності даних VR/AR-додатки можуть збирати та обробляти великі обсяги **15** персональних даних, включаючи біометричні дані (наприклад, дані відстеження очей, міміки обличчя), дані про рухи, місцезнаходження, а також інформацію про взаємодію користувача з віртуальним або доповненим середовищем. Забезпечення конфіденційності цих даних є надзвичайно важливим. Мінімізація збору

даних -збирати 4 лише ті дані, які є абсолютно необхідними для функціонування VR/AR-додатка. Анонімізація та псевдонімізація даних застосовує техніки анонімізації та псевдонімізації для зменшення ризику ідентифікації користувачів на основі зібраних даних. Шифрування даних - зашифрування як даних, що передаються, так і даних, що зберігаються, 9 для запобігання несанкціонованому доступу.

9 Контроль доступу до даних впровадження строгих механізмів контролю доступу, щоб лише авторизовані особи та системи мали доступ до персональних даних.

Прозорість та інформування користувачів - це надання користувачам чіткої інформації 4 про те, які дані збираються, як вони використовуються та з ким можуть бути передані. Отримання згоди користувачів 4 на збір та обробку 23 їхніх персональних даних відповідно до вимог законодавства (наприклад, GDPR). Безпечне зберігання даних – це забезпечення безпечного зберігання зібраних даних 15 з використанням відповідних технічних та організаційних заходів для запобігання їх втраті, пошкодженню або несанкціонованому доступу. Дотримання законодавства 4 про захист даних, тобто врахування вимог відповідних законів та нормативних актів щодо захисту персональних даних при проєктуванні та експлуатації VR/AR-мережі.

Регулярні аудити безпеки та оцінка ризиків, тобто 9 проведення регулярних аудитів безпеки для виявлення потенційних вразливостей та оцінка ризиків для впровадження відповідних заходів захисту.

При проєктуванні безпечної мережі для VR/AR необхідно враховувати специфічні аспекти цих технологій. Біометричні дані-це 12 збір та обробка біометричних даних вимагає особливої 12 уваги до питань 12 конфіденційності та безпеки. Іммерсивність – це вразливості в VR можуть мати більш значний психологічний вплив на користувачів через високий рівень занурення. Взаємодія з реальним світом (AR), AR-додатки можуть мати доступ до інформації про реальне оточення користувача, що також потребує уважного ставлення до питань безпеки та конфіденційності.

Забезпечення безпеки проєктованої мережі для VR/AR з використанням технологій 5G є складним, але вкрай важливим завданням. Ефективний захист від кібератак та забезпечення конфіденційності даних вимагають комплексного підходу, що охоплює всі рівні мережевої інфраструктури, кінцеві пристрої та VR/AR-додатки. Врахування специфічних ризиків, пов'язаних з VR/AR, та використання вбудованих механізмів безпеки 5G у поєднанні з додатковими заходами захисту є ключем до створення безпечної та надійної екосистеми віртуальної та доповненої реальності.

### 3.4 Вибір обладнання та програмного забезпечення мережі VR/AR

Вибір правильного обладнання та програмного забезпечення є критично важливим

для створення ефективної, безпечної та масштабованої мережі, здатної підтримувати вимогливі VR/AR-додатки в середовищі 5G. Цей вибір **20** повинен враховувати вимоги до пропускної здатності, затримки, кількості користувачів, безпеки та вартості.

До обладнання мережі 5G відносять:

Базові станції 5G (gNodeB), вибір залежить від необхідної зони покриття, щільності користувачів, спектру частот (sub-6 GHz, mmWave), вимог до пропускної здатності та затримки. Підтримка масового MIMO, формування променя, агрегація несучих частот.

Опорна мережа 5G Core включає в себе програмно-визначену інфраструктуру (SDN) та віртуалізацію мережевих функцій (NFV). Гнучка та масштабована платформа для реалізації сервісно-орієнтованої архітектури (SBA). AMF (керування доступом та мобільністю), SMF (керування сесіями), UPF (передача даних користувача), PCF (керування політиками), UDM (управління даними користувачів). Вибір залежить від очікуваного навантаження, необхідної функціональності, вимог до безпеки та інтеграції з існуючою інфраструктурою.

Обладнання для мережевого нарізання (Network Slicing). Програмні рішення для управління зрізами мережі, створення, конфігурація, моніторинг та керування віртуальними мережами (зрізами) з різними характеристиками QoS використовують інструменти оркестрації та автоматизації, для ефективного управління великою кількістю мережевих зрізів, вибір залежить від складності послуг, кількості необхідних зрізів, рівня автоматизації.

Високопродуктивні сервери з низькою затримкою, розташовані ближче до користувачів. Програмні та апаратні рішення для розгортання та управління edge-додатками, вибір залежить від обчислювальних потреб VR/AR-додатків, вимог до затримки, кількості користувачів у зоні покриття, доступності фізичного простору.

До мережеве обладнання входять маршрутизатори, комутатори. Високопродуктивні маршрутизатори та комутатори з підтримкою високих швидкостей та QoS використовуються для **24** забезпечення ефективної передачі великих обсягів VR/AR-трафіку (рисунок 3.2). Підтримка протоколів для пріоритизації трафіку використовується для забезпечення якості обслуговування (QoS) для VR/AR-додатків. Вибір залежить від загальної пропускної здатності мережі, кількості підключених пристроїв, складності топології мережі.

Рисунок 3.2 – Структура мережі для **7** віртуальної та доповненої реальності

**7** Для програмного забезпечення застосовують операційні системи для мережевого обладнання, надійні та безпечні ОС для базових станцій, опорної мережі та edge-серверів. Програмне забезпечення для управління мережею (NMS) застосовує

централізоване управління та моніторинг всієї мережевої інфраструктури 5G. Програмне забезпечення для оркестрації та керування NFV/SDN використовується для віртуалізації мережевих функцій та програмно-визначеного управління мережею. Платформи для розробки та розгортання edge-додатків (MEC Platforms) використовують інструменти та API для розробки та управління VR/AR-додатками, які виконуються на edge-серверах.

До програмного забезпечення для безпеки відносять:

Міжмережеві екрани (Firewalls) та системи виявлення/запобігання вторгненням (IDS/IPS).

Програмне забезпечення для шифрування **7** даних.

**7** Системи управління ідентифікацією та доступом (IAM).

Засоби моніторингу безпеки та аналізу подій (SIEM).

До програмного забезпечення для аналізу мережевої продуктивності належать **7** інструменти для моніторингу пропускної здатності, затримки, втрати пакетів та інших ключових показників продуктивності мережі, спеціально для VR/AR-трафіку.

API та SDK для розробки VR/AR-додатків з підтримкою 5G та MEC використовують інструменти, що дозволяють розробникам використовувати переваги низької затримки та високої пропускної здатності 5G та MEC у своїх додатках.

Хоча кінцеве обладнання VR/AR не є частиною мережевого обладнання, вибір кінцевих VR/AR-пристроїв також впливає на вимоги до мережі. VR-гарнітури це різні моделі з різною роздільною здатністю, частотою оновлення, кутом огляду та можливостями відстеження, підтримкою бездротового підключення (наприклад, Wi-Fi 6E, майбутні стандарти 5G для VR). AR-окуляри/гарнітури це різні форм-фактори та можливості відображення доповненої реальності. з підтримкою мобільного зв'язку 5G. Мобільні пристрої (смартфони, планшети) з підтримкою AR це потужні процесори, високоякісні дисплеї, підтримка 5G та AR-платформ (наприклад, ARCore, ARKit).

До ключових критеріїв вибору кінцевих VR/AR-пристроїв належать:

Продуктивність- обладнання та ПЗ повинні відповідати вимогам до пропускної здатності та затримки VR/AR-додатків.

Масштабованість- Мережа повинна мати можливість масштабуватися для підтримки зростаючої кількості користувачів та нових послуг.

Надійність- вибір обладнання та ПЗ від надійних виробників з гарною репутацією щодо стабільності роботи.

Безпека - вбудовані механізми безпеки та можливість інтеграції з додатковими рішеннями для захисту від кібератак та забезпечення конфіденційності даних.

Сумісність між різними компонентами мережі та з кінцевими VR/AR-пристроями.

При проектуванні необхідне врахування бюджетних обмежень на придбання, розгортання та експлуатацію обладнання та ПЗ, наявність зручних інструментів для управління та моніторингу стану мережі, відповідність галузевим стандартам 5G та VR/AR.

Вибір правильного обладнання та програмного забезпечення є запорукою успішного розгортання високоефективної мережі для VR/AR з використанням технологій 5G, що забезпечить користувачам захоплюючий та безперебійний досвід.

### 3.5 Тестування та оцінка мережі 5G для VR/AR

Тестування та оцінка мережі 5G для VR/AR мають на меті перевірити ключові показники продуктивності (KPIs), які безпосередньо впливають на якість імерсивного досвіду.

Ключовими показниками продуктивності (KPIs) для VR/AR у мережах 5G є

пропускна здатність (Throughput), що вимірює обсяг даних, який може бути переданий мережею за одиницю часу. Для VR/AR потрібна висока пропускна здатність для передачі потоків відео високої роздільної здатності, 3D-моделей та інших даних у реальному часі.

Визначає час, необхідний для передачі пакета даних від відправника до одержувача та назад. Низька затримка є критично важливою для VR/AR, оскільки висока затримка може викликати дезорієнтацію, нудоту та погіршувати інтерактивність. Вимірює варіацію затримки між послідовними пакетами даних. Високий джиттер може призвести до нестабільного потоку даних, що проявляється у вигляді "заїкань" або ривків у VR/AR-додатках.

Відсоток пакетів даних, які не доходять до місця призначення. Втрата пакетів може призвести до спотворень зображення, переривання звуку та проблем з синхронізацією у VR/AR. Оцінює здатність мережі підтримувати стабільне з'єднання протягом тривалого часу без розривів. Перевіряє, чи забезпечує мережа пріоритетність трафіку VR/AR порівняно з іншим трафіком, гарантуючи таким чином необхідну якість досвіду. Оцінює, як якість з'єднання VR/AR зберігається при переміщенні користувача в межах зони покриття 5G.

Енергоспоживання пристроїв VR/AR, хоча це більше стосується самих пристроїв, мережа 5G може впливати на енергоефективність залежно від якості та стабільності з'єднання.

Для оцінки продуктивності мережі 5G для VR/AR використовуються різноманітні методи та інструменти:

Генератори трафіку: Імітують трафік VR/AR, дозволяючи вимірювати пропускну здатність, затримку, джиттер та втрату пакетів за контрольованих умов.

Емулятори мережі: Дозволяють моделювати різні мережеві умови (наприклад, завантаженість мережі, перешкоди) для оцінки стійкості VR/AR-додатків.

Аналізатори протоколів: Допомогають досліджувати обмін даними між VR/AR-пристроєм та мережею на рівні протоколів.

Тестування реальних сценаріїв використання: Запуск VR/AR-додатків у реальних умовах мережі 5G для оцінки користувацького досвіду. Це може включати тестування в різних локаціях, умовах мобільності та при різному навантаженні на мережу.

Використання спеціалізованих інструментів для вимірювання KPIs використовує застосування мобільних додатків та обладнання для вимірювання пропускну здатності, затримки, рівня сигналу та інших параметрів у реальному часі. Збір відгуків користувачів використовує проведення опитувань та фокус-груп для отримання суб'єктивної оцінки якості VR/AR-досвіду.

Автоматизоване тестування використовує спеціалізовані платформи для автоматизації процесів тестування, збору даних та аналізу результатів. Розробка скриптів для відтворення типових сценаріїв використання VR/AR та моніторингу KPIs протягом тривалого часу.

Після проведення тестування отримані дані аналізуються для оцінки відповідності мережі 5G вимогам VR/AR. Цей процес включає порівняння отриманих KPIs з цільовими значеннями, визначення, чи відповідають показники продуктивності мережі встановленим вимогам для забезпечення якісного VR/AR-досвіду.

Аналіз впливу мережевих параметрів на користувацький досвід включає оцінку того, як затримка, джиттер, втрата пакетів та інші фактори впливають на сприйняття VR/AR-додатків користувачами.

Виявлення вузьких місць та проблемних ділянок застосовує ідентифікацію компонентів мережі, які можуть обмежувати продуктивність VR/AR.

Розробка рекомендацій щодо оптимізації надає пропозиції щодо налаштування та покращення мережі для досягнення кращих результатів для VR/AR.

Повторне тестування після оптимізації здійснює перевірка ефективності внесених змін та підтвердження покращення KPIs.

Ретельне тестування та оцінка мережі 5G є критично важливими для забезпечення якісного користувацького досвіду, гарантування плавної, безперебійної та захоплюючої роботи VR/AR-додатків. **18** Виявлення та усунення проблем на ранніх етапах запобігає виникненню проблем з продуктивністю в реальних умовах експлуатації.

Оптимізації інвестицій в інфраструктуру 5G забезпечує ефективне використання ресурсів мережі для підтримки VR/AR. Сприяння розвитку екосистеми VR/AR на базі 5G надає створення надійного та якісного фундаменту для інноваційних VR/AR-рішень.

Таким чином, комплексний підхід до тестування та оцінки, що включає лабораторні та польові випробування, аналіз ключових показників продуктивності та збір відгуків користувачів, є необхідним для успішного розгортання та використання VR/AR-додатків у мережах 5G.

# Посилання

---

Це джерела виділених збігів у вашому документі. Кожен збіг позначено темно-зеленим числом, яке відповідає вказаному тут джерелу. Джерела впорядковані за схожістю — чим вищий бал, тим сильніше збіг.

#	Джерело	%
1	repository.hneu.edu.ua	0.4%
2	dspace.nlu.edu.ua	0.4%
3	dspace.kntu.kr.ua	0.4%
4	pdaу.edu.ua	0.4%
5	openarchive.nure.ua	0.3%
6	bezpeka.com	0.3%
7	blog.liga.net	0.2%
8	mediacom.com.ua	0.2%
9	elibrary.kubg.edu.ua	0.2%
10	checklistgenerator.ai	0.2%
11	file.scirp.org	0.2%
12	openarchive.nure.ua	0.2%
13	mediacom.com.ua	0.2%
14	ur.knute.edu.ua	0.2%
15	jnas.nbuу.gov.ua	0.1%
16	blog.lebara.co.uk	0.1%
17	duikt.edu.ua	0.1%
18	fpk.in.ua	0.1%
19	ts2.space	0.1%
20	dspace.nau.edu.ua	0.1%
21	softpiua.com	0.1%
22	proz.com	0.1%
23	academia.edu	0.1%

#	Джерело	%
24	uu.edu.ua	0.1%
25	essuir.sumdu.edu.ua	0.1%
26	itez.com.ua	0.1%
27	ranok.com.ua	0.1%



Дякуємо, що перевірили  
свій документ за допомогою  
Plag!