ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис) Сергій АЛЄКСЄЄНКО (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Сергій АЛЄКСЄЄНКО

Керівник: Анатолій МАКАРЕНКО

Рецензент: О. Варфоломеева

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра	Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма	Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Алєксєєнку Сергію Романовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності»,
керівник кваліфікаційної роботи Анатолій МАКАРЕНКО, д.т.н., професор,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Технології віртуальної реальності;
   2. 5G-технології;
   3. Розробка 5G-антени для VR;
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Еволюція технологій доповненої та віртуальної реальності.
   2. Роль технологій 5 покоління в розвитку віртуальної реальності.
   3. Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Еволюція технологій доповненої та віртуальної реальності	31.10.23	Викон.
3.	Роль технологій 5 покоління в розвитку віртуальної реальності	15.11.23	Викон.
4.	Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Сергій АЛЄКСЄЄНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 83 стор., 34 рис., 4 табл., 35 дж.

Мета роботи – дослідження методів впровадження віртуальної реальності на основі технологій п'ятого покоління та розробка 5G антени для пристроїв що її реалізують.

Об'єкт дослідження - процес безпроводового доступу в мережах LTE пристроїв віртуальної реальності.

Предмет дослідження – методи впровадження віртуальної реальності на основі технологій п'ятого покоління.

Короткий зміст роботи: У першому розділі виконано аналіз розвитку технологій доповненої та віртуальної реальності.

Показано, що віртуальна реальність - це реальне або уявне середовище, яке було зафіксовано або створено для інтерактивного або пасивного відтворення на гарнітурі, що носяться.

У другому розділі показано роль технологій 5 покоління в розвитку віртуальної реальності. Завдяки розширеній мобільній широкосмуговій мережі з 5G ми зможемо забезпечити покращений досвід VR завдяки збільшеній пропускній здатності, меншій затримці та рівномірному досвіду.

У третьому розділі представлено нову розробку антени з шестигранною формою UWB, яка була розміщена на VR-шоломі. Нова антена має смугу пропускання 8 ГГц, що охоплює від 4 до 12 ГГц з точки зору коефіцієнта відбиття нижче - 6 дБ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ, VR, 5G-ТЕХНОЛОГІЇ, MIMO, UWB, 5G-АНТЕНА

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 83 pages, 34 pictures, 4 table, 35 sources.

The purpose of the work - research on methods of implementing virtual reality based on fifth-generation technologies and development of 5G antennas for devices implementing it.

Object of research – the process of wireless access in LTE networks of virtual reality devices.

Subject of research – methods of implementing virtual reality based on fifth generation technologies.

Summary of the work: The first section analyzes the development of augmented and virtual reality technologies.

Virtual reality is defined as a real or imagined environment that has been captured or created for interactive or passive playback on a wearable headset.

The second chapter shows the role of 5th generation technologies in the development of virtual reality. With advanced mobile broadband with 5G, we will be able to deliver an enhanced VR experience with increased bandwidth, lower latency and a smoother experience.

The third section presents a new development of a hexagonal UWB antenna that was placed on a VR helmet. The new antenna has a bandwidth of 8 GHz, covering 4 to 12 GHz in terms of reflection coefficient below - 6 dB.

KEYWORDS: VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES, VR, 5G TECHNOLOGIES, MIMO, UWB, 5G ANTENNA

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Алєксєєнко С.Р. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Алєксєєнко Сергій Романович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Алєксєєнка Сергія Романовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Алєксєєнко С.Р.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Алєксєєнка Сергія Романовича

на тему: «Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності»

Актуальність:

Впровадження методів віртуальної реальності поступово стає можливим завдяки розвитку технологій візуалізації. Однак на сьогодні під'єднання VR-гарнітури відбувається за допомогою кабелю. Розвиток і технологій п'ятого покоління покликано зняти ці обмеження. Дослідження студента направлені на пришвидшення цього процесу, що робить їх актуальними.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показала високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.
2. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Широко використовується сучасна науково-технічна література, включаючи англомовні видання.

Недоліки:

1. В роботі занадто багато уваги приділено теоретичним засадам розвитку технологій віртуальної реальності.
2. Практична реалізація даної роботи виконана за допомогою засобів імітаційного моделювання, автору варто було б розглянути можливість апаратної реалізації антени.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Алєксєєнко Сергій Романович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н. доцент _____ О. Варфоломеєва

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 9
ВСТУП 10
1 ЕВОЛЮЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ ТА ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 14
1.1 Основні відмінності доповненої та віртуальної реальності 14
1.2 Цикл надочікувань для технологій віртуальної реальності 15
1.3 Історичний огляд розвитку віртуальної реальності 17
1.4 Типи віртуальної реальності 25
2 РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЙ 5 ПОКОЛІННЯ В РОЗВИТКУ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 29
2.1 Основні технічні характеристики технологій 5 покоління 29
2.2 Агрегація несучих частот смартфонів і пристроїв віртуальної реальності, що використовують технологію LTE 35
2.3 Використання MIMO для технології LTE 38
2.4 Технічні переваги розвитку віртуальної реальності завдяки 5G-технологіям 43
2.5 Прискорення впровадження розширеної реальності завдяки 5G-технологіям 47
3 РОЗРОБКА 5G MIMO-АНТЕНИ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 61
3.1 CST STUDIO SUITE 2020 - моделювання тривимірних електромагнітних структур 61
3.2 Проектування антени для пристроїв віртуальної реальності 65
ВИСНОВКИ 77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 79
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3GPP - партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній, яка займається розробкою і затвердженням стандартів п'ятого покоління;

AR - доповнена реальність;

ITU - Міжнародний Союз Електрозв'язку;

LTE - технологія мобільного зв'язку 4 і 5 покоління;

MIMO - системи зв'язку з рознесенням певної кількості антен;

MU-MIMO - багато користувачів з використанням MIMO;

OFDM - ортогональне частотне мультиплексування;

*Q*AM - квадратурна амплітудна модуляція;

*Q*PSK - квадратурна фазова модуляція;

UWB - надширокосмуговий діапазон частот (ширина смуги 500 МГц на частотах 3 - 10,6 ГГц);

VR - віртуальна реальність.

ВСТУП

Визначення віртуальної реальності походить, природно, від визначень як «віртуальна», так і «реальність». Визначення поняття «віртуальний» близько, а реальність - це те, що ми переживаємо як люди. Отже, термін «віртуальна реальність» в основному означає «майже реальність». Звичайно, це може означати що завгодно, але зазвичай це стосується конкретного типу емуляції реальності [1].

Ми пізнаємо світ через наші органи чуття та сприйняття. У школі ми всі дізналися, що маємо п'ять органів чуття: смак, дотик, запах, зір та слух. Однак це лише наші найбільш очевидні органи чуття. Істина полягає в тому, що люди мають набагато більше почуттів, ніж це, наприклад, відчуття рівноваги, наприклад. Ці інші сенсорні входи, а також деяка спеціальна обробка сенсорної інформації нашим мозком гарантують, що ми маємо багатий потік інформації з навколишнього середовища до нашого розуму.

Все, що ми знаємо про нашу реальність, відбувається за допомогою наших почуттів. Іншими словами, весь наш досвід реальності - це просто поєднання чуттєвої інформації та нашого мозку механізми осмислення цієї інформації. Тоді зрозуміло, що якщо ви можете подати своїм почуттям вигадану інформацію, ваше сприйняття реальності також зміниться у відповідь на неї. Вам буде представлена версія реальності, якої насправді немає, але з вашої точки зору вона буде сприйнята як справжня. Щось, що ми називали б віртуальною реальністю.

Отже, підсумовуючи, віртуальна реальність передбачає представлення наших почуттів за допомогою віртуального середовища, створеного комп'ютером, яке ми можемо дослідити певним чином.

Відповісти "що таке віртуальна реальність" у технічному плані - це прямо. Віртуальна реальність - це термін, що використовується для опису тривимірного комп'ютерного середовища, яке може досліджувати та взаємодіяти людина. Ця людина стає частиною цього віртуального світу або занурюється в це середовище, перебуваючи там, здатна маніпулювати предметами або виконувати ряд дій.

Хоча ми говоримо про кілька історичних ранніх форм віртуальної

реальності в інших місцях сайту, сьогодні віртуальна реальність зазвичай реалізується за допомогою комп'ютерних технологій. Для цього використовується цілий ряд систем, таких як гарнітури, всеспрямовані бігові доріжки та спеціальні рукавички. Вони використовуються для фактичного стимулювання наших почуттів разом, щоб створити ілюзію реальності.

Це складніше, ніж здається, оскільки наші органи чуття та мозок еволюціонували, щоб забезпечити нам тонко синхронізований та опосередкований досвід. Якщо щось хоч трохи дещо, ми зазвичай можемо сказати. Тут ви почуєте такі розмови, як занурення та реалізм, що беруть участь у розмові. Ці проблеми, які розділяють переконливий або приємний досвід віртуальної реальності від неприємних чи неприємних, частково технічні, а частково концептуальні. Технологія віртуальної реальності повинна враховувати нашу фізіологію. Наприклад, зорове поле людини не схоже на відеокадр. У нас (більш-менш) 180 градусів зору, і хоча ви не завжди свідомо знаєте про свій периферичний зір, якби його не було, ви б це помітили. Подібним чином, коли те, що ваші очі та вестибулярний апарат у вухах говорять, що ви конфліктуєте, це може спричинити хворобу руху. Що трапляється з деякими людьми на човнах або коли вони читають, перебуваючи в машині [2].

Якщо реалізації віртуальної реальності вдається отримати поєднання апаратного, програмного забезпечення та сенсорної синхронності в самий раз, це досягає чогось, відомого як відчуття присутності. Де суб'єкт справді відчуває, що він присутній у цьому середовищі.

Це може здатися великим зусиллям, і воно є! Що робить розвиток віртуальної реальності вартим? Потенційна цінність розваг зрозуміла. Чудові приклади - захоплюючі фільми та відеоігри. Зрештою, індустрія розваг багатомільярдна, і споживачі завжди прагнуть новинок. Віртуальна реальність також має багато інших, більш серйозних додатків.

Існує широкий вибір додатків для віртуальної реальності, які включають: архітектура; спорт; ліки; мистецтво; розваги.

Віртуальна реальність може призвести до нових захоплюючих відкриттів у

цих областях, які впливають на наше повсякденне життя.

Скрізь, де щось занадто небезпечно, дорого чи непрактично робити, віртуальна реальність - це відповідь. Віртуальна реальність дозволяє нам піти на віртуальні ризики, щоб отримати досвід реального світу, починаючи від пілотів-винищувачів та закінчуючи практичними хірургами. У міру того, як вартість віртуальної реальності зменшується, і вона стає більш загальнодоступною, можна очікувати, що на перший план вийдуть більш серйозні сфери використання, такі як освіта або додатки для підвищення продуктивності. Віртуальна реальність та доповнена реальність її двоюрідного брата можуть істотно змінити спосіб взаємодії з нашими цифровими технологіями. Продовжуючи тенденцію гуманізації нашої технології.

Існує багато різних типів систем віртуальної реальності, але всі вони мають однакові характеристики, такі як можливість дозволити людині переглядати тривимірні зображення. Ці зображення здаються людині в натуральну величину. Плюс вони змінюються, коли людина рухається навколо свого оточення, що відповідає зміні поля її зору. Метою є безшовне з'єднання рухів голови та очей людини та відповідної реакції, наприклад зміна сприйняття. Це забезпечує віртуальне середовище одночасно реалістичним та приємним.

Віртуальне середовище має забезпечувати відповідні реакції - у реальному часі - коли людина досліджує своє оточення. Проблеми виникають, коли між діями людини та реакцією системи або затримкою виникає затримка, що порушує її досвід. Людина усвідомлює, що вона перебуває у штучному середовищі, і відповідно коригує свою поведінку, що призводить до ходульної, механічної форми взаємодії.

Мета полягає в природній, вільній формі взаємодії, яка призведе до незабутнього досвіду.

Віртуальна реальність - це створення віртуального середовища, представленого нашим почуттям таким чином, що ми переживаємо це так, ніби ми справді там. Він використовує безліч технологій для досягнення цієї мети і є технічно складним подвигом, який повинен враховувати наше сприйняття та

пізнання. Він має як розваги, так і серйозні цілі. Технологія стає дешевшою та широко розповсюдженою. Ми можемо розраховувати побачити ще багато інноваційних застосувань цієї технології в майбутньому і, можливо, фундаментальний спосіб спілкування та роботи завдяки можливостям віртуальної реальності.

Мета роботи. Дослідження методів впровадження віртуальної реальності на основі технологій п'ятого покоління та розробка 5G антени для пристроїв що її реалізують.

Об'єктом дослідження є процес безпроводового доступу в мережах LTE пристроїв віртуальної реальності.

Предметом дослідження є методи впровадження віртуальної реальності на основі технологій п'ятого покоління.

Методи досліджень. Для досягнення поставлених цілей в магістерській роботі використано: методи теорії інформації та передавання сигналів; методи теорії розповсюдження електромагнітних хвиль; методи комп'ютерного моделювання; математичної статистики.

1 ЕВОЛЮЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ ТА ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Основні відмінності доповненої та віртуальної реальності

Технології що створюють ефект присутності доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) зазвичай йдуть рука об руку, але там, де AR дійсно фокусується на реальності та віртуальній інформації, представленій над реальністю, VR базується на віртуальних даних як на головному фокусі, занурюючи користувача в середини віртуального середовища синтетичної реальності [1].

Доповнена реальність (в перекладі з англійської augmented reality або AR) – це доповнення фізичного світу за допомогою цифрових даних, яке забезпечується комп'ютерними пристроями (смартфонами, планшетами та окулярами AR) в режимі реального часу.

Говорячи простими словами, на відміну від VR, яка вимагає повного занурення у віртуальне середовище, AR використовує середовище навколо нас та просто накладає поверх нього певну частинку віртуальної інформації, наприклад графіку, звуки та реакцію на дотики. Оскільки віртуальний та реальний світи гармонійно співіснують, користувачі з досвідом доповненої реальності мають змогу спробувати цілком новий, покращений світ, де віртуальна інформація використовується як додатковий корисний інструмент, що забезпечує допомогу в повсякденній діяльності [2].

Віртуальна реальність - це реальне або уявне середовище, яке було зафіксовано або створено для будь-якого інтерактивного або пасивного споживання на гарнітурі, що можна носити. Через гарнітуру або головний пристрій (HDM) ви можете отримати доступ до середовища віртуальної реальності. На сьогоднішній день найбезпечніший та реалістичний досвід VR забезпечується гарнітурами, оскільки вони повністю закривають ваш користувач у віртуальний світ. Існують інші технології віртуальної реальності, яким не

потрібні гарнітури, щоб забезпечити досвід віртуальної реальності, наприклад, проекційні стіни та звичайні екрани з віртуальними платформами, але вони не досягають такої ж плати за присутність, як гарнітура VR [3].

1.2 Цикл надочікувань для технологій віртуальної реальності

Цикл надочікувань англ. hype cycle - графічне представлення зрілості, прийняття і суспільного застосування конкретних технологій.

З 1995 року Gartner використовувала цикли надочікувань для опису надмірного ентузіазму англ. hype і подальшого розчарування, які зазвичай відбуваються при входженні нових технологій.

Поняття широко використовується як самою компанією, так і іншими коментаторами ринку для прогнозування і пояснення тих чи інших тенденцій, пов'язаних з появою будь-якої нової технології.

Суть поняття така: кожна технологічна інновація проходить кілька етапів для досягнення зрілості, кожен з яких характеризується різним суспільним і професійним інтересом, послідовність етапів така:

Дивлячись на цикл надочікувань Gartner для нових технологій за 2017 рік, Віртуальна реальність пройшла інноваційний пуск та пік фази надочікувань, що означає, що вона вже прийнята і досягає свого шляху, щоб стати основним продуктом. На піку хайп-циклу знаходяться в даний час потенційні та цікаві технології, які, як прогнозують, приймуть у найближчі кілька років (рис. 1.1) [4].

Після ажіотажного циклу 2017 року були випущені наступні ажіотажні цикли на 2018 та 2020 роки, і останній показує, що різні технології штучного інтелекту (ІІІІ) та мережі 5G перераховані як поточні тенденції на 2023 рік. У віртуальній реальності хайп-циклу 2023 більше не видно, оскільки він досяг плато продуктивності; він став актуальним продуктом для широкого ринку і, отже, закінчив цикл ажіотажу. 5G, з іншого боку, знаходиться на вершині хайп-циклу в 2023 році, коли він був випущений у світ як існуюча технологія (рис. 1.2) [5].

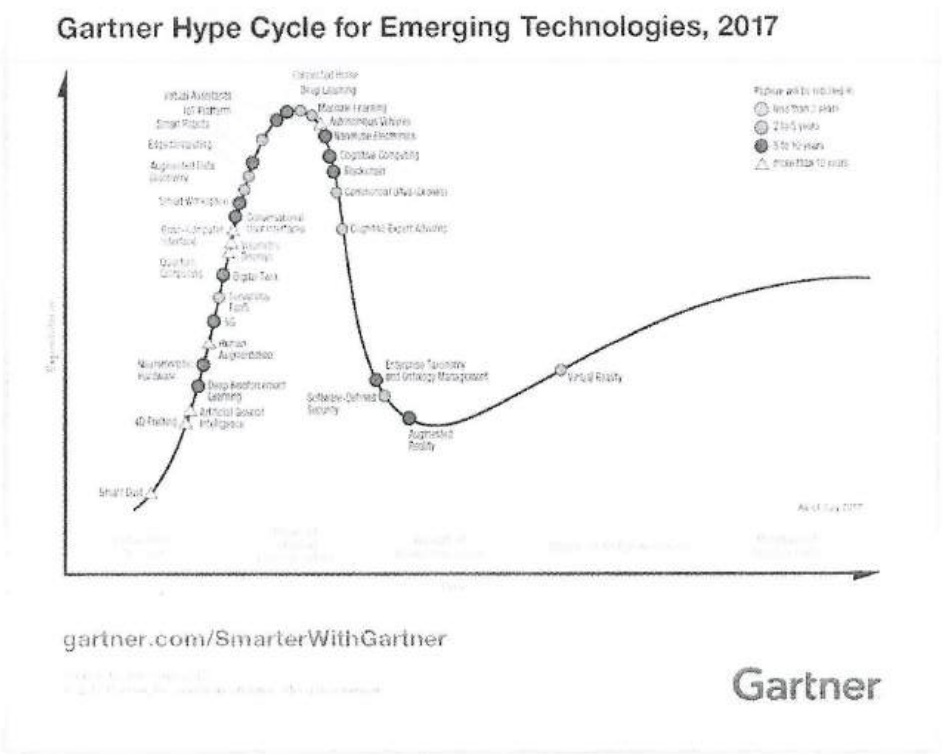


Рис. 1.1. Хайп-цикл Gartner для нових технологій 2017

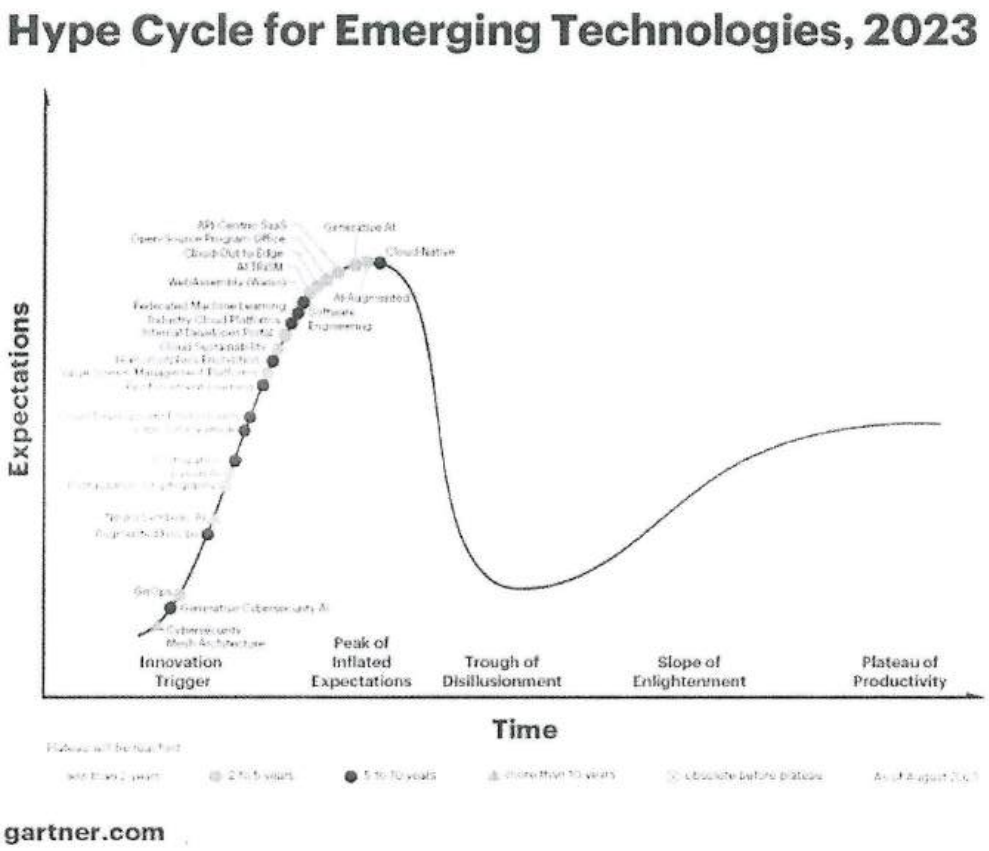


Рис. 1.2. Хайп-цикл Gartner для нових технологій 2023

1.3 Історичний огляд розвитку віртуальної реальності

Незважаючи на швидкий розвиток віртуальної реальності в 21 - м столітті, віртуальна реальність була винайдено в той час доби. Якщо ми думаємо, що далі, як до створення ілюзії присутній де - небудь ще, чому не були, то найраніша спроба віртуальної реальності від 19 - го століття в панорамних картин.

Панорамна картини були призначені, щоб заповнити всі бачення глядача з картиною, щоб відчувати себе присутній в реальному сцені, що картина ілюструє. В Європі панорами були створені історичних подій і битв, і один з найбільш не стандартних панорамних художників в 14 - му столітті був художник Ганс Крель (рис. 1.3) [6].



Рис. 1.3. Фрагмент картини

У 1929 році Едвард Лінк винайшов «тренажер для зв'язків», перший комерційний симулятор польоту, який був приводом від двигуна, що імітував турбулентність та збурення. Тренери посилань використовувались понад 500 000

пілотів для початкової підготовки для підготовки до Другої світової війни (рис. 1.4).

Один із перших випадків, коли фактично згадували VR, був ще в 1935 році, коли ідея окулярів, що показують погляд на інший світ, була представлена в коміксі під назвою Spectacles від Pygmalion's Sp від Стенлі Г. Вайнбаума. Божевільно думати, як Стенлі Г. Вайнбаум вже уявляв собі окуляри, дуже схожі на концепцію того, якою є віртуальна реальність сьогодні. Можна сказати, що він передбачив майбутнє VR (рис. 1.5) [6].



Рис. 1.4. Тренер посилання на синій ящик G-BSFS

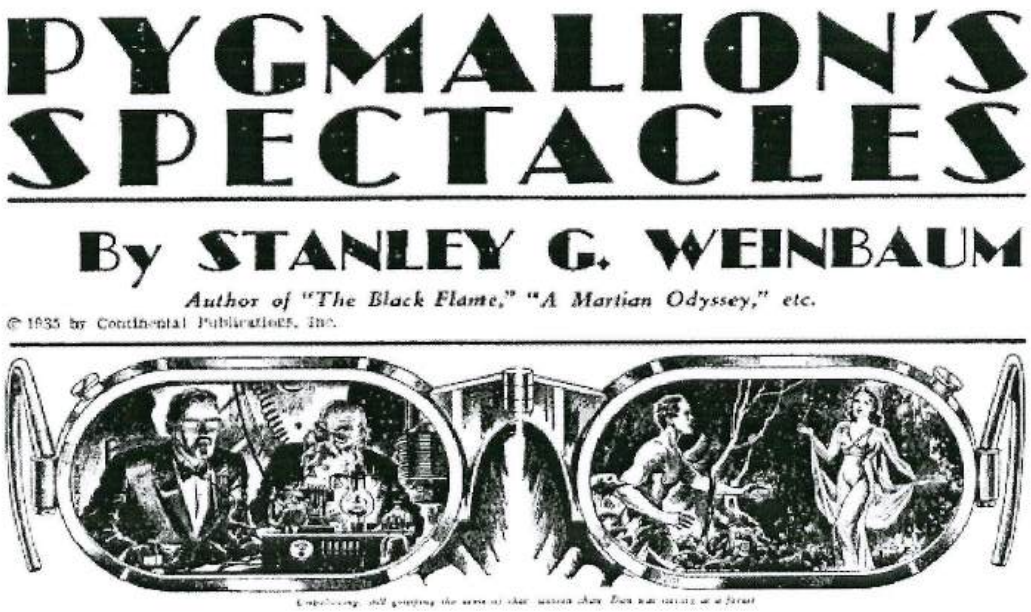


Рис. 1.5. Окуляри Пігмаліона Вайнбаумом у 1935 р.

Мортона Л. Хайліга називали справжнім батьком віртуальної реальності завдяки його чудовій роботі над Sensorama Machine у середині 1950-х. Це симулятор для одного-чотирьох людей, який забезпечує ілюзію реальності, використовуючи тривимірний відеофільм із запахом, стереозвуком, вібраціями сидіння та вітром у волоссі, щоб створити ілюзію (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Sensorama Machine 1962 р.

Що зробило його роботу ще більш вражаючою, це те, що Мортон Хайліг зробив усього шість фільмів для свого винаходу Sensorama сам із нуля. Назви цих фільмів були Мотоцикл, Belly Dancer, баггі, вертоліт, Побачення з Сабіною, і я пляшка кока - кола!

Пізніше, в 1960 році, Хайліг винайшов перший на голові дисплей (HMD) під назвою Telesphere Mask, який має широкий, 3D-дисплей і стереозвук. Можливо, Telesphere Mask розпочав розвиток сучасних гарнітур віртуальної реальності, які виглядають тривожно схожими, але Хайліг так і не отримав визнання, яке

заслуговував за свої технологічні інновації. Якби він знав, що через 55 років його бачення окулярів віртуальної реальності справдиться (рис. 1.7) [7].



Рис. 1.7. Telesphere Mask

Після того, як Мортона Heilig по винаходу на голівці дисплея спостерігається надзвичайно великий розвиток в HMDS на Протягом 1960 - х років. Варто згадати Headsight інженерів Комеона та Брайана в 1961 році, який був першим HMD для відстеження руху, який дозволив користувачеві рухати головою, щоб оглянути навколишнє середовище.

У 1968 році Іван Сазерленд та його студент Боб Спроулл створили Дамоклів меч, перший AR / VR головний дисплей, який був підключений до обчислювальної машини r замість камери (рис. 1.8).

У 1987 році термін "віртуальна реальність" нарешті був створений Янором Ланьє, засновником лабораторії візуального програмування VPL, який того року також розробив окуляри для віртуальної реальності під назвою EyePhone.

Після 1980-х років світ віртуальної реальності був дуже тихим, і до 2010-х років, що ми називаємо новою хвилею VR, не було досягнуто жодних основних

етапів. Багато людей, включаючи мене, вперше почули термін «віртуальна реальність» вперше приблизно в 2013 році, коли VR вперше був представлений в ігровому світі у формі Oculus Rift. Перше відео, яке я побачив на цю тему, було з найбільшої ігрової сенсації Youtube, PewDiePie, у вересні 2013 р.

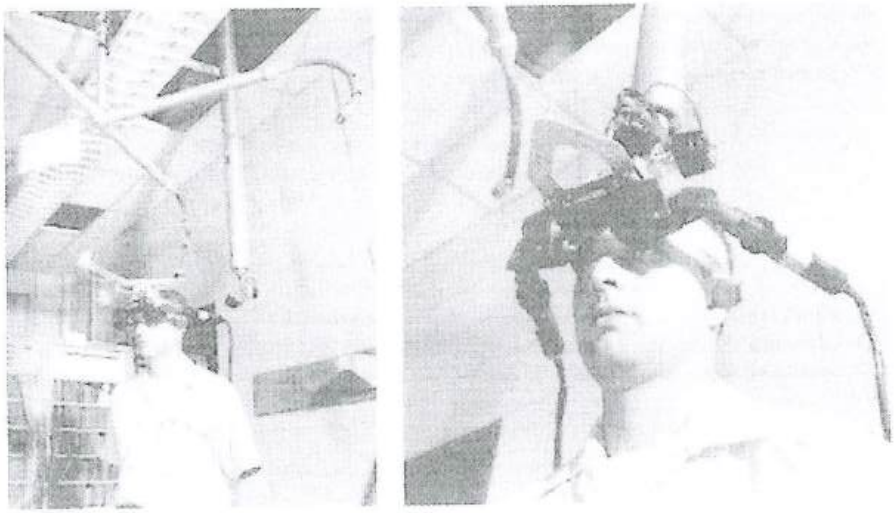


Рис. 1.8. Дамоклів меч Сазерленда та Спроулла в 1968 р.

Назад тоді VR окуляри були дуже обмежені, і не було ніякого належної взаємодії з користувачем. Користувач спостерігав за рухомими анімаціями, що відбуваються на їх очах, і реагував на них фізично та емоційно, але не інтерактивно. Погана візуалізація та неточний контроль VR були причинами, чому геймери не були повністю впевнені у VR і лише іноді пробували це як цікавий експеримент. На сьогодні візуальні ефекти та вміст ігор для віртуальної реальності значно кращі з точки зору якості та технологія дозволяє користувачеві більше взаємодіяти з грою та стати частиною ігрового процесу (рис. 1.9).

2016 рік став великим для VR, коли HTC Vive та Oculus Rift були оприлюднені для публіки. Oculus VR був підрозділом Facebook Inc, і через два тижні після оголошення як незалежна компанія вони почали кампанію фінансування Kickstarter в 2012 році для Oculus Rift і кампанія підняла 2,5 мільйонів доларів (2,26 мільйона євро) від 9500 донорів. Проект був настільки успішним, що перша споживча VR-гарнітура від Oculus була створена в 2016 році за 599 доларів (1.10) [8].

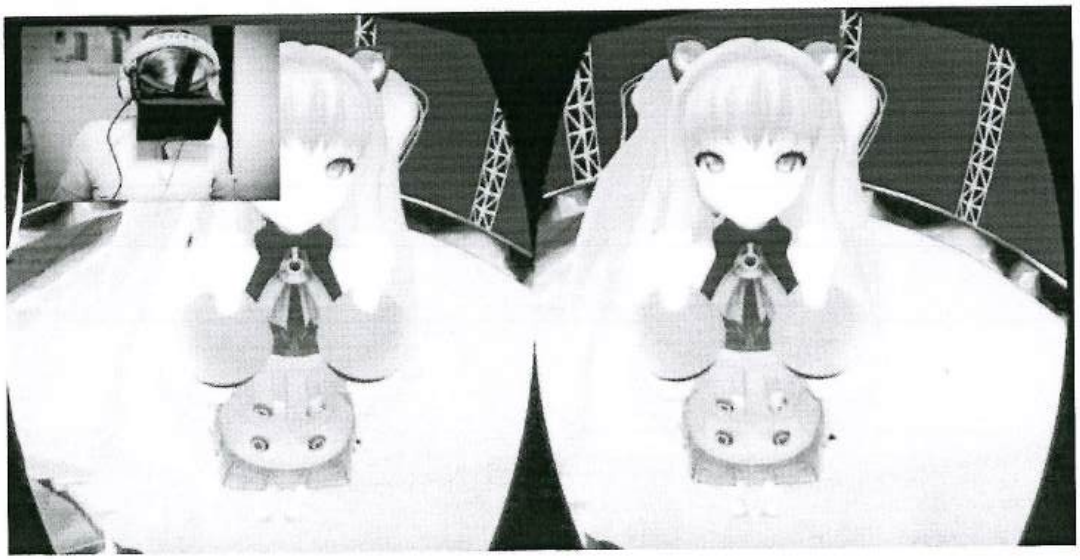


Рис. 1.9. “Oculus Rift: майбутнє вже тут...” відео від PewDiePie



Рис. 1.10. CV1 - перша споживча модель Oculus Rift

Для звичайного домогосподарства тоді ще були занадто великими інвестиціями, не знаючи, куди вони вкладуть свої гроші. Хоча з тих пір ціна знизилася, найдешевше обладнання для віртуальної реальності все ще коштує понад 200 євро, і все ще є занадто дивним продуктом, який багато хто купує для домашнього використання. Але Pikseli Arcade, можливо, вирішив би цю проблему за допомогою концепції віртуального парку.

Pikseli Arcade дозволяє людям приходити та насолоджуватися функціями VR за менші гроші та менше зобов’язань. Майя Ігнатіус, менеджер магазину Pikseli Arcade, розповідає, що вперше Ян Хурсті, генеральний директор Pikseli Arcade, виявив, що світ віртуальної реальності був у влітку 2016 року, коли він спробував VR-окуляри зі своїми друзями в США. Хурсті зрозумів, що тут можуть бути інгредієнти ідеї вживання, і вирішив інвестувати у віртуальну реальність у

Фінляндії. Virva VR Oy, материнська компанія Pikseli Arcade потім незабаром заснував в кінці 2016 року.

Ігнатіус запросила мене відвідати одну з локацій Pikseli Arcade і вперше спробувати їх ігри Virtual Realit. На своєму веб-сайті Pikseli Arcade повідомляють, що ціна залежить від ігрового часу: 30 хвилин ігрового часу для однієї людини коштує 20 євро, а одна година ігрового часу - 38 євро. Кожен клієнт отримує у користування гарнітуру віртуальної реальності та ігрову кімнату протягом обраного ігрового часу. Вони також пропонують серійні квитки та групові пакети для сімей, розваг компаній та вечірок. На першому ви повинні були дивитися відео - підручник від екрану, на загальних правилах та інструкціях. Аркада мала передпокій з 15 ігровими кімнатами, і співробітник допоміг мені та моєму другові надіти гарнітури та вибрати, в яку гру грати, використовуючи два пульти дистанційного керування (рис. 1.11, рис. 1.12) [9].



Рис. 1.11. Приміщення Пікселі Реді (вид на ігрові кімнати)



Рис. 1.12. Гра VR у Pikseli Redi

Вони пропонують велику різноманітність ігор від легкої до середньої та високої інтенсивності, і одна з найпопулярніших у них ігор називається "Beat Saber", коли гравець скорочує музичні ритми, що рухаються до гравця. Beat Saber - одна з ігор високої інтенсивності в Pikseli, оскільки гравець постійно рухається, намагаючись скоротити удари якомога швидше. Ще однією активною грою є віртуальний бадмінтон, який схожий на звичайний бадмінтон, але гра також підраховує, скільки калорій ви спалюєте під час гри. Гра Badminton викликала напрочуд звикання, оскільки вона тривала лише кілька хвилин, і ви могли негайно розпочати гру знову. Надання більше можливостей для віртуального реального спорту може бути цікавим способом випробувати і займатися реальними видами спорту, і це може бути навіть більш ефективним способом для людей вивчати нові види спорту. На додаток до ігор віртуальної реальності, Pikseli Arcade також пропонує кінематографічний досвід VR (360 відео), наприклад Google Earth VR та короткометражні фільми.

1.4 Типи віртуальної реальності

Існують різні типи віртуальної реальності та способи їх реалізації. Її постійно розробляють і досліджують, щоб знайти більше способів досліджувати світ за допомогою VR. Як і в 2019 році, віртуальна реальність опинилася у формі інтерактивності, що означає, що це динамічний досвід і він працює на ігрових / реальних робочих днях або кінематографічно, як у формі 360 відео, що є більше пасивним підходом до віртуальної реальності [10].

Інтерактивна віртуальна реальність, також відома як іммерсивна віртуальна реальність, є плавним і динамічним досвідом, що дозволяє користувачеві впливати на віртуальне середовище, яке потрапляє через гарнітуру та доставляється за допомогою комп'ютера. Інтерактивна VR - це тип VR, для створення ігор, оскільки користувач насправді може впливати на віртуальне середовище своїми діями.

Віртуального досвіду також можна досягти за допомогою мобільних гарнітур, таких як бюджетний VR-пристрій Google Cardboard, який продається за три євро, але оскільки мобільні пристрої ще не настільки потужні, як комп'ютери, вони мають ризик, що досвід не буде працювати плавно, як слід. Однак майбутні мобільні мережі 5G можуть покращити мобільний досвід VR та забезпечити кращий вміст VR для мобільних додатків у майбутньому.

Кінематографічна VR, часто у формі 360-відео, за своєю суттю не є інтерактивним, пасивним досвідом, як перегляд фільму. Він відрізняється від інших типів віртуальної реальності тим, що не генерується комп'ютером і не інтерактивний, і тому навіть обговорюються питання, чи справді кінематичний віртуальний реальний досвід - це віртуальна реальність. Хоча 360-відео суперечить визначенню віртуальної реальності, 360-відео можна переглядати через гарнітуру, яка переносить користувача в інший світ, незалежно від того, який він базується на реальному чи уявному світі. Світ можна переглядати по всьому користувачеві за допомогою 3D-відео та повносферного звуку, щоб досягти найповнішої форми реалістичного відчуття.

360-відео - чудовий інструмент для розповіді історій, завдяки якому він може від'єднати користувача від усього іншого і зробити так, щоб користувач відчував себе присутнім у самій історії. Кінематографічна віртуальна реальність може бути наступною великою справою в кінематографії, яка змінює спосіб перегляду фільмів - з огляду на те, що ми вже вступили у 3D та 4D-фільми. Як приклад, Pikseli Arcade та Elisa працювали разом у 2017 році над створенням відеофільму на 360 відео під назвою «Невідомий солдат - досвід VR». Кінозйомка знімалася на камеру Nokia OZO, і фільм переглядався у вибраних магазинах Elisa протягом обмеженого періоду часу.

У 2014 році кінематографічна VR все ще боролася за виробництво. Джеремі Бейленсон, директор-засновник "Virtual Human Interaction Lab" у Стенфорді, пояснює процес зйомок у своїй книзі "Досвід на вимогу": "Координація розташування та синхронізації 6 камер GoPro одночасно та встановлення системи на штатив розміром з футбольний поле було спробою. повні підводних каменів». Кінематографічна VR не є такою складною для створення, і в наш час вона порівнянна із звичайним кіновиробництвом, де в процесі беруть участь актори, режисери, продюсери, оператори та програмісти. Cinematic VR знайшов свій шлях як найбільш використовувана технологія віртуальної реальності, і вона використовується як інструмент для віртуальних подорожей та проектування архітектурних просторів тощо.

Також варто звернути увагу на Google Earth VR, який є досвідом віртуальної реальності, зробленим Google у 2016 році. Він заснований на оригінальній цифровій програмі Google Earth, яка вийшла у 2005 році та може розглядатися через окуляри HTC Vive VR. Він практично представляє оточення світу і дозволяє подорожувати по всьому світу, перетягуючи карту за допомогою контролера та наближаючи місця. Ви можете поїхати куди завгодно від жвавих вулиць Токіо до гір Альп або навіть відвідати власний будинок. Тепер я можу сказати, що я був у Великому каньйоні, Антарктиді і навіть у космосі (рис. 1.13) [11].

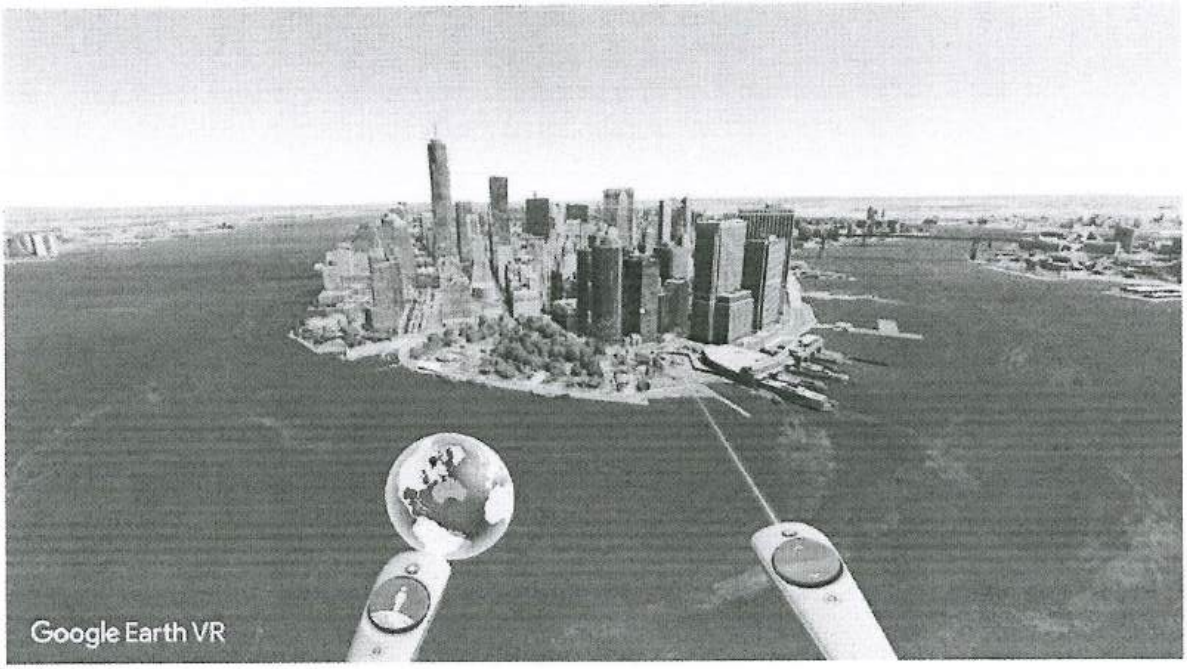


Рис. 1.13. Google Earth VR

Плаваючи і дивлячись на Землю з космосу, у когось може почуватись нудно і запаморочено, але якщо це трапляється під час руху у віртуальному середовищі, ви відчуваєте щось, що називається хворобою віртуальної реальності. Це трапляється тому, що мозок обдурюється, вважаючи, що користувач фізично рухається, коли він рухається лише у віртуальному середовищі, роблячи плутанина в мозку. Подібно до загальної хвороби руху, хвороба віртуальної реальності може спричинити багато фізичних симптомів, таких як загальний дискомфорт, головний біль, відчуття шлунку, нудота, блювота, втома та дезорієнтація.

Хвороба віртуальної реальності походить від хвороби руху та тренажера, і, як повідомляється, пілоти американської армії зазнали її під час і після тренувань льотного симулятора, і це негативно вплине на їх підготовку. Негативними наслідками, спричиненими хворобою тренажера, були знеохочення до використання льотних тренажерів, менша ефективність тренувань через відволікання, адаптивна поведінка, яка була шкідливою для продуктивності та ризиків безпеки при виході з симулятора. Хоча це були ефекти літаючого симулятора, вони також застосовуються до систем віртуальної реальності, які, як

правило, є перешкодою для використання віртуальної реальності.

Були зроблені теорії та припущення щодо того, що викликає хворобу на віртуальну реальність, але вона досі не до кінця зрозуміла. Одне з логічних пояснень хвороби, яка існувала через VR, полягає в тому, що частота оновлення зображень на екрані (наскільки швидко відображаються зображення) не така швидка, як обробка мозку, що створює розбіжність між частотою оновлення та процесом ставка. Розбрат сприймається як збої, раптові несправності на екрані, від яких користувачеві стає погано. Віртуальній реальності знадобиться час між діями та реакцією менше 20 мілісекунд, щоб обдурити мозок та уникнути латентності. Ця теорія базується на ідеї сенсорного конфлікту, тобто інформація, яку ваші очі отримують у віртуальній реальності, не завжди співпадає з рухом вашого тіла.

Деякі технічні деталі також пов'язані з хворобою віртуальної реальності, оскільки, як правило, невідповідні руху, поле зору та кут огляду можуть спричинити хворобу. Незважаючи на нудоту з високих місць у VR, досвід все ще захоплював дух і був справжнім, дивлячись на всі різні місця світу.

2 РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЙ 5 ПОКОЛІННЯ В РОЗВИТКУ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

2.1 Основні технічні характеристики технологій 5 покоління

LTE (Long Term Evolution або довгострокова еволюція) за визначенням консорціуму 3GPP - це новітній стандарт для бездротового мобільного зв'язку 4-го і 5-го покоління (4G-5G) [12].

На мережевому рівні LTE працює повністю на базі IP-технологій, а на фізичному рівні (в радіоканалі) застосовується ортогональне частотне ущільнення, і, в результаті, ми отримуємо високу пропускну здатність, маленькі затримки і фантастичну спектральну ефективність.

LTE - це не просто Upgrade 3G. Це зовсім інший підхід, а фізика його така (табл. 2.1):

- перехід від кодового поділу каналів (CDMA) до частотного (OFDMA і SC-FDMA);

- перехід від комутації каналів на технології IP - комутацію пакетів.

За прогнозами експертів, вже в 2024 році понад 5 млрд. абонентів стануть членами світового співтовариства, так званого "мобільного світу". При цьому половина всього населення планети буде мати постійний доступ до послуг LTE мереж.

Характеристики мереж LTE

Продуктивність і пропускна здатність - одна з вимог LTE полягає в забезпеченні пікової пропускної спроможності зворотного каналу не менше 100 Мбіт / с [9].

Технологія передбачає підтримку швидкості обміну даними понад 300 Мбіт / с, проте шведи вже продемонстрували нам наступний етап розвитку LTE - з теоретично можливою пікової пропускною спроможністю до 1,2 Гбіт / с.

Таблиця 2.1

Порівняльна таблиця мереж GPRS, 3G і 4G

Стандарт мережі	Технологія	Модуляція	Швидкість передачі даних (макс.) до абонента / від абонента	Смуга сигналу, МГц
GSM	GPRS	GMSK	20/20 кбіт/с	0,2
	EDGE	8PSK	59,2/59,2 кбіт/с	0,2
UMTS	R99 WCDMA	QPSK	384/384 кбіт/с	5
	HSDPA	16QAM/QPSK	14,4/5,76 Мбіт/с	5
	HSPA+	64QAM/16QAM	21/11,5 Мбіт/с	5
	DC HSPA+	64QAM/16QAM	42/23 Мбіт/с	10
LTE Release 8	MIMO 2x2	64QAM	150/75 Мбіт/с	20
LTE-Advanced Rel. 10	Downlink 8x8 MIMO / Uplink 4x4 MIMO	64QAM	3/1.5 Гбіт/с	100
LTE-Advanced Pro Rel. 13 (4.5G)	8x8 MIMO	256QAM	25/12.5 Гбіт/с	640

Простота - підтримуються гнучкі варіанти смуги пропускання з частотою від 1,4 МГц до 20 МГц і дуплексна передача з поділом по частоті (FDD) і за часом (TDD). При використанні TDD (Time Division Duplex) вся смуга поперемінно віддається на завантаження або вивантаження даних. При використанні FDD (Frequency Division Duplex) вхідний і вихідний трафік розділені частотно, завантаження даних йде на одній частоті, а вивантаження на інший.

Затримка передачі даних в LTE менше, ніж в існуючих технологіях 3G. Ця перевага є дуже важливим для обслуговування інтерактивних середовищ з ефектом присутності (наприклад, багатокористувацьких ігор) і обміну великими обсягами медіаконтенту.

Різноманітність пристроїв - крім мобільних телефонів і периферійних пристроїв, вбудованими LTE-модулями планується оснащувати багато комп'ютерних та побутові електронні пристрої. Це ноутбуки, планшети, ігрові приставки та set-top box-и, відеокамери та інші портативні пристрої (табл. 2.2).

Швидкості у LTE і LTE-A

Швидкість передачі даних до 100 Мбіт в секунду. З поправкою на те, що цей показник може змінюватися в залежності від поточної мережевого навантаження і місцезнаходження користувача. В рамках технології передбачені швидкості більше 300 Мбіт / с. Подальша еволюція розвитку (LTE Advanced) передбачає пропускну спроможність до 3 Гбіт / с до абонента і до 1.5 Гбіт / с від абонента.

І, примітно те, що для переходу з LTE на LTE Advanced потрібно просте оновлення програмного забезпечення і подальша перенастроювання базових станцій оператора. Для впровадження функціональності MIMO 8x8 необхідно буде замінити радіо-модулі.

Категорії мобільних пристроїв

Ця характеристика дуже важлива для модемів LTE, від неї залежить можливість об'єднання каналів шириною до 20 МГц. Модем шостої категорії одночасно використовує 2 канали, при цьому швидкість досягає 300 Мбіт / с. Модеми категорії 9 об'єднує вже 3 несучих смуги, при цьому «розганяючись» до

Таблиця 2.2

Основні робочі характеристики

Параметр	Значення
Спектр частот	1.4, 3, 5, 10, 15 и 20 МГц
Пікові швидкості	• Downlink (2-х канальний MIMO): 100 Мбіт/с; • Uplink (одноканальний Tx): 50 Мбіт/с (канал 20 МГц);
Конфігурація антен	• Downlink: 4x2, 2x2, 1x2, 1x1; • Uplink: 1x2, 1x1;
Затримка	• Керуючий (сигнальний) рівень (логіка роботи мережевого пристрою - куди і як слати мережевий трафік): менше 100 мс для переходу на рівень користувача; • Рівень користувача (передача корисного трафіку): менше 10 мс від клієнта до сервера;
Розмір стільники	• Повна функціональність: до 5 км; • Незначні погіршення: 5 км - 30 км;
Мобільність	• Оптимізовано для низькій швидкості (0-15 км / год); • Висока продуктивність на швидкості до 120 км / год; • Підтримує працездатність при пересуванні на швидкості до 350 км / год;
Виграш спектральної ефективності	• Downlink: в 3 - 4 раза HSDPA Rel.5; • Uplink: в 2 - 3 раза HSUPA Rel. 6;

450 Мбіт / с. А пристрої 12 категорії, на тих же трьох смугах, досягають максимуму в 600 Мбіт / с. 16 категорія здатна використовувати 4 канали в режимі MIMO, видаючи до 1 Гбіт / с. Найсучасніші моделі категорії 20 об'єднують до 7 каналів відразу, досягаючи фантастичних швидкостей, до 2 Гбіт / с (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Категорії мобільних пристроїв

Категорія абонентського пристрою	Макс. швидкість DL, Мбіт / с	Агрегація несучих	Додаткові технології
CAT4	150	-	2x2 MIMO
CAT6	300	2 x 20 МГц	2x2 MIMO
CAT9	450	3 x 20 МГц	2x2 MIMO
CAT12	600	3 x 20 МГц	4x4 MIMO, 256 QAM
CAT16	980	4 x 20 МГц	4x4 MIMO, 256 QAM

Плюси і мінуси агрегації частот. Основною перевагою технології для оператора це підвищення пропускної здатності каналу і збільшення одночасного обслуговування абонентів з однієї базової станції. Наприклад, флагман Самсунга Galaxy S10, що відповідає п'ятому поколінню зв'язку (5G).

Недоліком технології є підвищена витрата енергії, з огляду на те, що стільниковому пристрою доводиться підтримувати зв'язок відразу з декількома базовими станціями.

Також оператори економно використовують частотний ресурс, рідко

встановлюючи на одній вишці приймачі для різних підмереж, що заважає мобільних пристроїв досягати максимальної для категорії швидкості.

Як правило, в містах використовується Band 7 (2600 МГц), а в малонаселеній місцевості - низькочастотний Band 20 (800 МГц), і поруч один з одним це обладнання майже не зустрічається, позбавляючи тим самим, смартфони здатності об'єднати ці канали.

LTE-Advanced

Перший набір специфікацій LTE був завершений в березні 2009 року. Перша комерційна мережа LTE була відкрита в грудні 2009 року. За даними Ovum WCISK до кінця 2019 роки кількість підключень до LTE мереж налічуватиме 5 млрд. Перші смартфони з підтримкою LTE були представлені в 2011 році. Базові технологічні можливості розвиваються далі, що веде до ще більш високих швидкостей передачі даних і більш високої щільності розміщення базових станцій, і наступний крок в еволюції розвитку називається LTE-Advanced. Спрямований він на отримання швидкостей понад 1 Гбіт / с. Розвиток LTE-A починається з 10 релізу, котрий був завершений в червні 2011 року.

6 основних особливостей LTE-Advanced:

• Агрегація несучих в низхідному каналі для збільшення швидкості передачі даних до 300 Мбіт / с при спектрі 20 + 20 МГц і 2x2 MIMO, а потім навіть до 3 Гбіт / с при використанні смуги пропускання 100 МГц і 8x8 MIMO. Для збільшення швидкості передачі даних потрібна велика пропускна здатність.

• Еволюція MIMO до 8x8 в сторону абонента і 4x4 в сторону базової станції, що дає переваги для використання технології формування променя, збільшення пропускної здатності мережі при агрегації несучих. Мультиантени збільшують швидкість передачі даних і пропускну здатність мережі.

• Гетерогенна мережу (HetNet) для спільного розміщення макро-, мікро- і пікостанцій. Функції HetNet забезпечують координацію перешкод між мережевими рівнями і збільшують пропускну здатність мережі і локальне покриття з високою щільністю пікостільників, одночасно розділяючи частоту з мікро і макростільниками.

• Вузли ретрансляції (Relay nodes) для транзитної передачі даних базових станцій за допомогою телефону. Лінія передачі може використовувати внутрісмугову або позасмугову передачу. Вузли ретрансляції використовуються для збільшення покриття мережі, коли магістральні наземні сполуки недоступні.

• Скоординована багатоточкова передача і прийом (CoMP) дозволяє використовувати кілька сектрів різних БС для передачі даних до одного терміналу. Координована багатоточкова зв'язок використовується для поліпшення швидкості передачі даних на кордоні стільники, які обмежені міжстільниковими перешкодами. Передача в сторону абонента може здійснюватися з кількох секторів в один і той же момент часу, і назад, прийом даних від абонента йде кількома секторами.

• Самоорганізуємі мережеві функції (SON) прискорюють і спрощують розгортання мережі і підвищують продуктивність кінцевого користувача, забезпечуючи правильну і оптимізовану настройку параметрів мережі.

2.2 Агрегація несучих частот смартфонів і пристроїв віртуальної реальності, що використовують технологію LTE

Агрегація несучих частот смартфонів Huawei, Samsung, Iphone та інших брендів - це механізм об'єднання частотних діапазонів в єдину смугу з метою збільшення пропускної здатності інтернет-каналу. При цьому використовується технологія MIMO і підтримка проміжних ретрансляторів (Relay Nodes). Простіше кажучи, це спосіб прискорення передачі даних в мережах 4G. Він активно застосовується в стандарті LTE-Advanced (LTE A), мобільні оператори так і називають цю технологію 4G + [9 - 12].

Принцип роботи агрегації частот. На 2019 р. 4G працює в 6-ти частотних діапазонах (рис. 2.1).

Кожен з них використовує не одну конкретну частоту, а якийсь відрізок шириною: 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 МГц. Зроблено це для того, щоб кожному оператору в кожному діапазоні дісталося по частотному відрізку. Агрегація частот об'єднує

кілька таких відрізків в єдиний «коридор». Наприклад, робить з 2-х або 3-х відрізків по 10 МГц один, багатосмуговий, шириною 20 або 30 МГц. Використовуючи дану технологію, смартфони можуть передавати / отримувати дані відразу по двох каналах, що значно збільшує швидкість передачі даних. Таким чином, долається обмеження за кількістю підключених абонентів і збільшується смуга пропускання каналу.

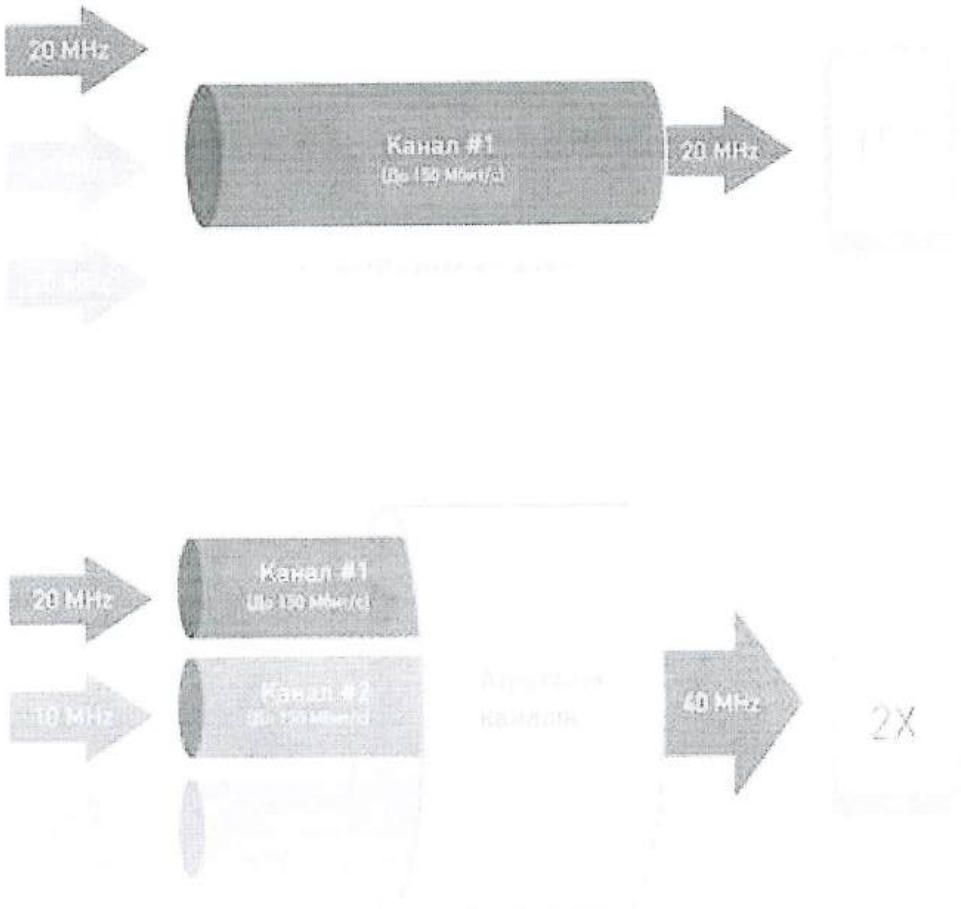


Рис. 2.1. Принцип агрегації 3-х частотних каналів в LTE-Advanced

Три сценарії об'єднання несучих (ОН)

Агрегація несучих в одному діапазоні: ця форма ОН використовує один діапазон. Можливі два варіанти (рис. 2.2):

Суміжна. Це найпростіша форма реалізації агрегації несучих LTE. При цьому несучі знаходяться на сусідніх каналах поруч один з одним. У цьому

випадку потрібен тільки один приймач, так як сигнал розглядається як один розширений.

Несуміжних: трохи складніше у виконанні, що несуть використовують одну і ту ж робочу смугу, але не є сусідами один з одним. Тут вже потрібні два приймачі, тому що сигнал не може розглядатися як один сигнал, що збільшує складність і вартість рішення.

Несуміжних в різних діапазонах: ця форма агрегації несучих використовує різні смуги. Це більш складна задача, так як несучі з різних робочих діапазонів. Таким чином, потрібно кілька приймачів для передачі / прийому сигналів. Цей тип ОН самий витратний і складний в реалізації.

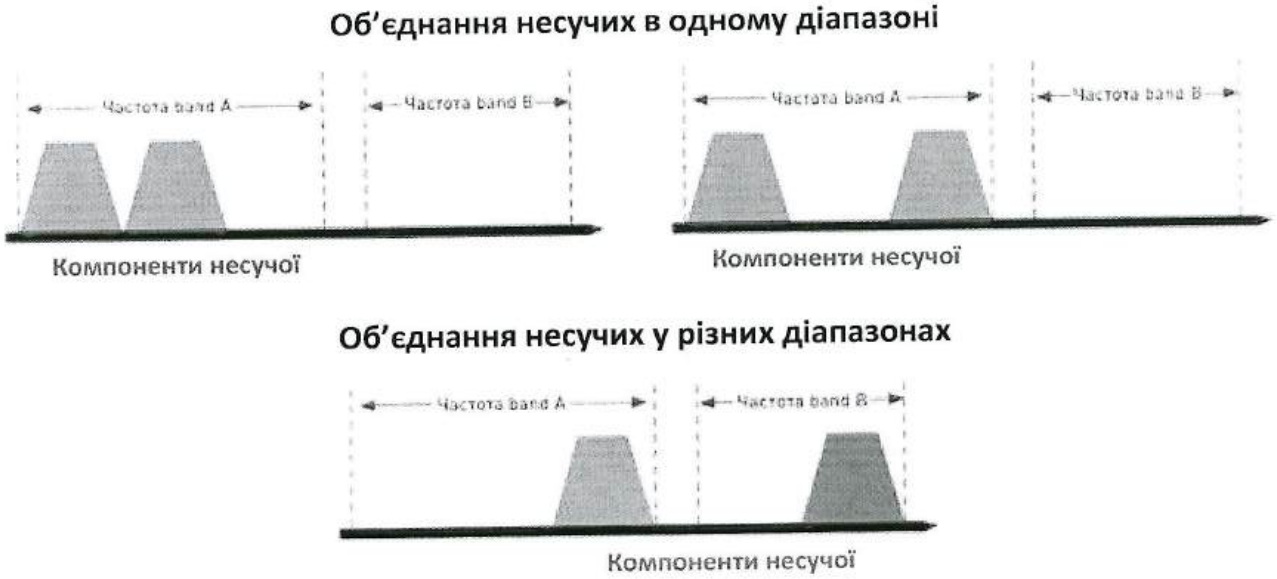


Рис. 2.2. Три сценарії агрегації несучих в LTE-Advanced

Ця технологія може застосовуватися до варіантів LTE з FDD або TDD з максимум п'ятьма компонентними несучими, кожна з шириною смуги до 20 МГц, в результаті чого загальна ширина смуги передачі досягає до 100 МГц.

2.3 Використання MIMO для технології LTE

MU-MIMO (що означає багато користувачів, множинний вхід, множинний вихід) був створений для підтримки середовищ, в яких декілька користувачів одночасно намагаються отримати доступ до бездротової мережі. З виходом 802.11ax можливості технології MU-MIMO істотно розширюються [6-8].

MIMO - технологія збільшення спектральної ефективності радіоканалу (його пропускної здатності і завадостійкості), досягається це шляхом просторового кодування сигналу, коли прийом і передача даних ведеться системами з декількох антен на одному каналі. Реалізовано як просторове рознесення на прийомі, так і просторове рознесення на передачу. Щоб MIMO працював потрібно багатопроменеве поширення сигналу. Ця технологія широко застосовується в бездротових мережах протоколу 802.11ax, ac, n, а також в більш старших - LTE і WiMAX.

MU-MIMO означає багато користувачів, множинний вхід, множинний вихід і є бездротовою технологією, яку підтримує маршрутизаторами і кінцевими пристроями. MU-MIMO - це наступна еволюція розрахованого на одного користувача MIMO (SU-MIMO), коли роутер в один момент часу відправляє дані одному клієнту (рис. 2.3).

Технологія MIMO була створена для того, щоб допомогти збільшити кількість антен на бездротової точки доступу, які використовуються як для прийому, так і для передачі, і підвищити пропускну здатність бездротових з'єднань.

Робота на багато користувачів MIMO починається з 802.11ax, 802.11ac Wave2. Старші стандарти, такі як 802.11b, g і n його не підтримують. Коли в 2015 році вийшов стандарт ac Wave 2, з цією технологією могли працювати тільки маршрутизатори та точки доступу.

На 2019 рік багато кінцеві пристрої тепер підтримують MU-MIMO. Починаючи з 802.11ax MU-MIMO двонаправлений, тобто працює з вхідний і вихідний потоками.



Рис. 2.3. Переваги технології MU-MIMO

У 2008 році стандарт 802.11n представив технологію multi-in multi-out (MIMO), призначену для підвищення пропускної здатності Wi-Fi між точками доступу і клієнтськими пристроями. Щоб MIMO працював, дві бездротові станції (тобто і точка доступу, і клієнтський пристрій) повинні мати кілька антен, що є ідентичними та фізично відокремлені один від одного фіксованим відстанню, щоб була відсутня різниця фаз на робочій довжині хвилі.

Просторове мультиплексування (Spatial Multiplexing).

Просторовий потік являє собою набір даних, посланий передавальними антенами, який може бути математично реконструйований на антенах приймача. У MIMO кожен просторовий потік передається з різних антен в тому ж частотному каналі, на якому працює передавач. Рис. 2.4 ілюструє це для випадку з двома потоками [12].

Приймач приймає кожен потік на ідентичну радіо ланцюг. Оскільки він знає зміщення фази своїх власних антен, він може використовувати математичні методи обробки сигналів для реконструкції вихідних потоків. Щоб підвищити пропускну здатність потрібно збільшувати кількість потоків. Кожен просторовий потік містить набір унікальних даних, а кількість незалежних просторових потоків обмежено тим, яке Wi-Fi пристрій має найменшу кількість радіоліній.



Рис. 2.4. Просторове мультиплексування MIMO

Як правило, цим обмеженням є клієнтський пристрій: оскільки кожна радіо ланцюг (антена) споживає енергію і вимагає місце для розміщення. Ось чому більшість мобільних смартфонів і планшетів здатні підтримувати тільки однопотоковий або двохпотоковий зв'язок, і навіть високопродуктивні ноутбуки та ПК зазвичай підтримують тільки до трьох потоків.

У першій хвилі 802.11ac пропускна здатність підвищувалася не тільки за рахунок використання MIMO, а застосовувалися і інші механізми:

- використання більшої ширини каналу;
- більш складна схема модуляції і кодування 256-QAM.

Однак загальна ширина смуги в будь-якому частотному діапазоні є "кінцевою" і це накладає свої обмеження. Чим ширше канал, тим більше він схильний до перешкод.

Федеральна комісія зв'язку веде роботу над відкриттям більшої кількості неліцензійного спектра в 5 ГГц для Wi-Fi. Але канали шириною в 80 і 160 МГц на практиці залишаються рідко досяжними через наявність перешкод. Чим вище модуляція, тим чистіше повинен бути сигнал. Це означає одне - між точкою доступу і клієнтами повинен бути дійсно хороший сигнал, практично таке можливо тільки коли вони знаходяться на близьких відстанях у відсутності перешкод.

Механізм передачі інформації в MU-MIMO:

1. AP передає сигнальний зондує кадр;

2. Кожна MU-MIMO-сумісний клієнтський пристрій передає назад точки доступу матрицю з даними;

3. AP обчислює відносну позицію кожного пов'язаного клієнтського пристрою;

4. Точка доступу вибирає групу клієнтських пристроїв для одночасного зв'язку;

5. AP обчислює необхідні зміщення фази для кожного потоку даних для кожного клієнта в групі і передає всі потоки даних групі клієнтів;

6. AP відправляє BlockAckRequest кожному клієнтському пристрою в групі окремо, щоб отримати підтвердження того, чи дійшли дані до клієнтського пристрою;

7. AP отримує BlockAck від кожного клієнтського пристрою в групі, яка успішно отримала дані;

8. Зв'язок встановлена і починається передача даних.

Максимальна кількість одночасно працюючих клієнтів на одиницю менше, ніж загальна кількість доступних потоків роутера. Це математичне обмеження і ось чому. Точка доступу повинна контролювати як зони максимальної конструктивної інтерференції для фокусування найсильнішого сигналу на клієнтському пристрої, так і зони максимальної деструктивної інтерференції, щоб мінімізувати сигнал на інших клієнтських пристроях в цій групі.

Математично число змінних перевищує число невідомих, тому одним потоком можна управляти незалежно. Таким чином, для поточного покоління точок доступу 802.11ac Wave 2 з підтримкою MU-MIMO 4x4: 4 допустима наступна комбінація груп:

- Одне потокове клієнтський пристрій 3x3: 3 і одне потокове клієнтський пристрій 1x1:1;
- Два потокових клієнтських пристрої 2x2:2;
- Одне потокове клієнтський пристрій 2x2:2 і до двох потокових

клієнтських пристроїв 1x1:1;

• До трьох потокових клієнтських пристроїв 1x1:1.

Спільне використання просторового мультиплексування і адаптивного формування діаграми спрямованості променя дозволяє:

1. підвищити стійкість системи (зменшити ймовірність помилки);

2. підвищити швидкість передачі інформації в системі;

3. збільшити зону покриття;

4. зменшити необхідну потужність передавача.

IoT (Інтернет речей) і MU-MIMO. Стандарт 802.11ax може підтримувати одночасно вісім передач MU-MIMO, в порівнянні з чотирма в 802.11ac. Одночасна підтримка восьми виділених каналів дозволяє більшій кількості IoT пристроїв встановити зв'язок з точкою доступу і уникнути проблем з пропускною спроможністю, які існували в більш ранніх версіях Wi-Fi, включаючи 802.11ac. Це особливо актуально, якщо в приміщенні велику кількість пристроїв, що володіють низькою швидкістю передачі даних (а це якраз і є IoT).

Практичні обмеження MU-MIMO:

1. Робота можлива тільки з клієнтами підтримують 802.11ac і ax. Клієнт повинен прийняти інформацію, призначену відразу декільком клієнтам, вичленувати звідти те, що призначене тільки йому, обробити дані і відправити в матричному вигляді назад роутера. А для цього він повинен вміти обробляти сигнальні кадри в дейтограмах, інакше він не зможе взяти інформацію.

2. Клієнти повинні знаходитися на значній відстані один від одного, що б роутер міг сформувати потоки з рознесенням у часі і просторі. Якщо на столі буде лежати ноутбук, планшет і телефон, роутер не зможе обчислити просторове положення кожного пристрою і сформувати для нього просторово-часове зрушення фаз. У цьому випадку він переключиться на звичайний режим.

3. Швидкість передачі завжди буде вирівнюватися по найповільнішому клієнту.

2.4 Технічні переваги розвитку віртуальної реальності завдяки 5G-технологіям

З початку Інтернету люди намагалися знайти кращі способи мати ефективніший електронний зв'язок та швидшу мережу. Оскільки обсяг даних зростав так стрімко, попит на швидшу мережу ще більше зріс за останні кілька років.

В 2018 р. міжнародний стандарт 5G, який кілька років розроблявся спільно найбільшими телекомунікаційними та IT-корпораціями світу, схвалений на пленарній сесії консорціуму 3GPP, повідомляє Samsung Electronics. Пленарне засідання 3GPP TSG №80 затвердило технічні вимоги до автономного Релізу 15 5G.

Таким чином, стандарт 5G прийнятий. Все готове до впровадження, і судячи по заявах розробників, можливості нового покоління зв'язку дозволять телеком-операторам розвивати нові напрямки бізнесу (рис. 2.5) [17].

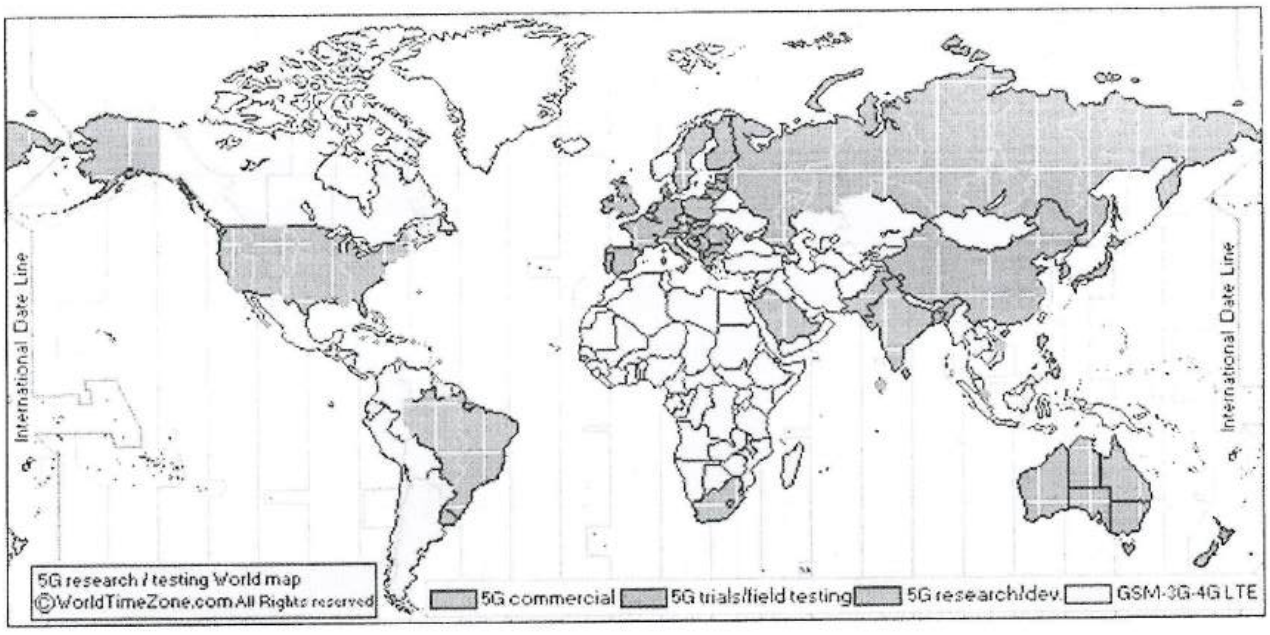


Рис. 2.5. Карта покриття розвитку 5G-мереж в світі
(тестування, випробування і дослідження)

Згідно з аналізом інформації на використання мобільних даних по Tefficient,

люди використовують більшість мобільних даних в світі. Швидкість мобільних даних України в еру GSM, між 2000 і 2001 роками, була лише 9,6 кбіт/с, але в наш час в епоху 5G швидкість становить до 100 Мбіт / с, що в 10 000 разів швидше, ніж раніше. У майбутньому швидкість лише стає швидшою, і ми можемо очікувати, що вона стане більше 500 Мбіт / с до 2025 року (рис. 2.6) [18].

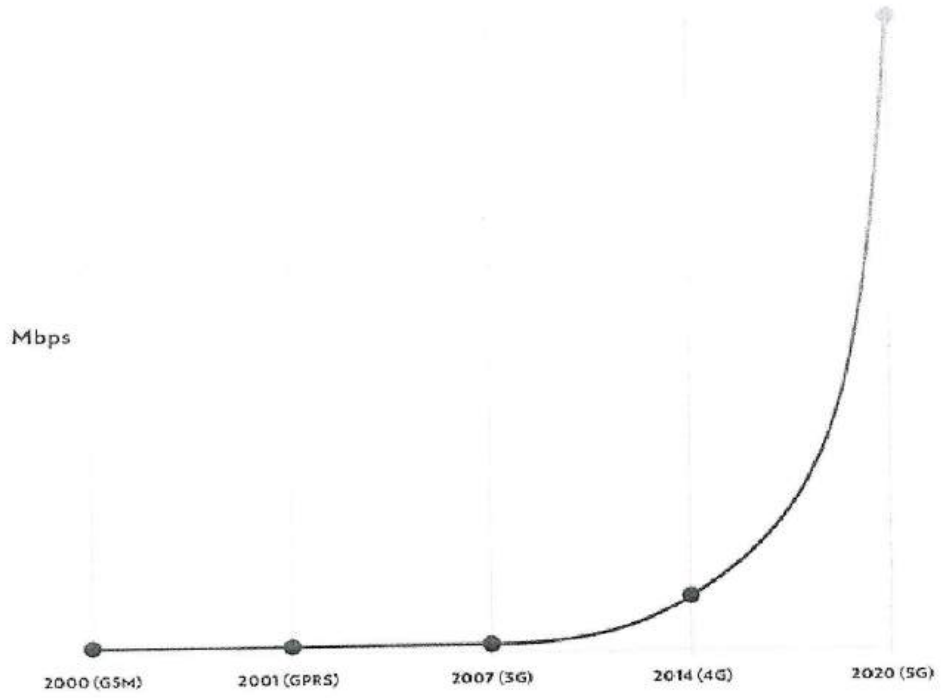


Рис. 2.6. Зростання швидкості мобільних мереж

Elisa Oyj була першим оператором мобільного зв'язку, який привів мережі 5G до Фінляндії в червні 2019 року, і в той же час, мабуть, першим, хто представив комерційні мережі 5G у всьому світі. Кажуть, що 5G в десять разів швидший, ніж його попередник 4G, і дозволяє кожному робити все швидше, що стосується мобільних та інших підключених пристроїв. Це дає більше можливостей для взаємодії в реальному часі, що є гарною новиною для віртуального реального світу.

5G допомагає технологіям віртуальної реальності адаптуватися до потреб програм віртуальної реальності, які включають телеприсутність, потокові медіа, хаптики (знання про відчуття дотику), освіту та програми охорони здоров'я.

Телеприсутність, також згадується як Telexist - ENCE є поняття здатності бути присутнім в віддаленому місці в деякому роді або формі. Ми звикли проводити конференц-дзвінки, які відбуваються через відеодзвінок, який створює 2D-реплікаційне зображення людини. Незабаром ми можемо очікувати більшого, оскільки 3D-реконструкція об'єктів та людей стає можливою завдяки мережі 5G.

Хаптична або тактильна технологія відноситься до технології, яка може створити відчуття дотику, застосовуючи до користувача певний рух чи вібрацію. Наприклад, в відео гри на ігровий контроллер вібрує, коли користувач отримує удар або стикається з чим - то в грі. У Віртуальній реальності хаптики додають інтерфейсу відчуття дотику і віртуальних об'єктів, і навіть певною мірою до текстур. Завдяки 5G можна досягти тактильного Інтернету, який дозволяє передавати відчуття дотику на великі відстані з візуальним зворотним зв'язком або без нього. Раніше тактильний Інтернет був неможливим через обсяг необхідних даних та проблеми із затримками, але незабаром він також може бути поєднаний з віртуальною реальністю (рис. 2.7) [19].

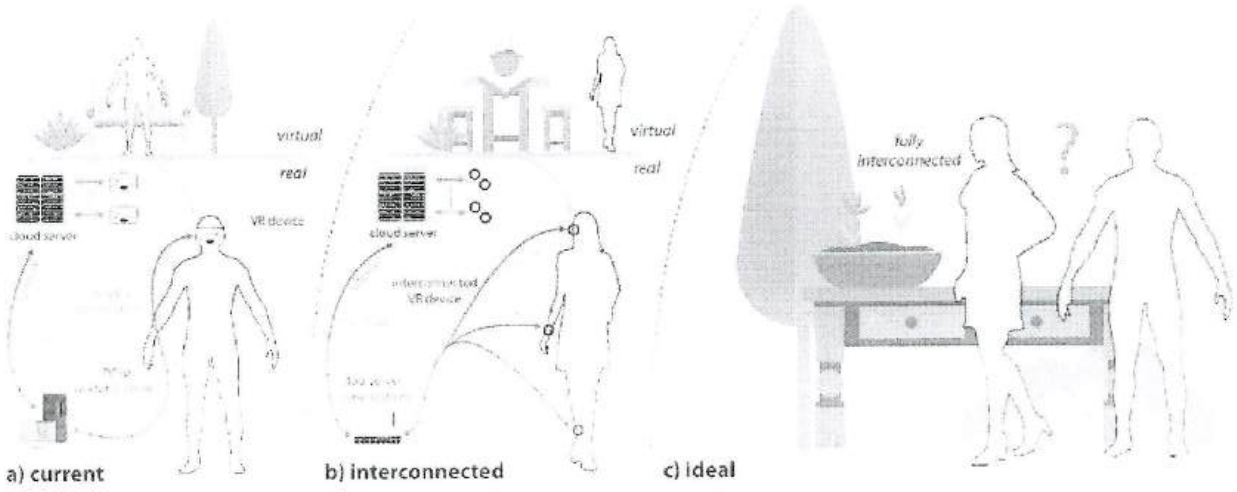


Рис. 2.7. Сучасні, взаємопов'язані та ідеальні системи віртуальної реальності

Що завадило VR стати справжнім захоплюючим досвідом, так це те, що найпотужніші продукти VR з'єднані кабелями, оскільки бездротові системи 4G не можуть впоратися з обсягом переданого відео з роздільною здатністю HD при

високій частоті кадрів. Поточна система VR складається з пристрою VR (головний комплект), підключеного кабелем до ПК або іншого портативного пристрою, який генерує зображення або сцену, а потім через Інтернет підключається до хмарного сервера, який передає програмне забезпечення віртуальної реальності на гарнітура.

Наступний крок буде взаємопов'язаний система віртуальної реальності, а повністю бездротовим шахрай дуальних компонентів. У цьому сценарії ПК з потужним процесором (центральним блоком обробки), необхідним для сучасних технологій віртуальної реальності, буде замінений на хмарні обчислення. Headsets або інші VR пристрою буде безкабельні і світло зносу, так як вони не повинні зберігати стільки даних, оскільки вона буде зберігатися в хмарі замість цього. Багато компаній вже працюють над цією системою віртуальної реальності, оскільки тепер можливо задовольнити вимоги віртуальної реальності щодо швидкої передачі даних та короткої затримки за допомогою мереж 5G.

Ідеальний сценарій представляє повністю захоплюючий досвід реального часу, що поєднує реальний і віртуальний світи разом. Досвід із повною роздільною здатністю, який імітує сприйняття людиною, є кінцевою метою віртуальної реальності, але її неможливо досягти, він працює лише як керівництво для систем віртуальної реальності. Однак Cloud VR - це величезний крок від комп'ютерної, локальної VR. Великі технологічні компанії, такі як Huawei, визнали це величезною тенденцією, і Huawei вже продемонструвала свої п'ять основних сценаріїв застосування додатків Cloud VR: потокове передавання відео VR, ігри VR, пряма трансляція VR, живі види спорту та ігри та домашній фітнес VR (рис. 2.8).

Спроби використання мереж 5G з віртуальною реальністю для створення захоплюючого досвіду вже були зроблені у Фінляндії. Фінська телеоператорська компанія Elisa Oyj, VR- компанія 360Mediatalo та Місто Турку об'єднали зусилля, щоб організувати віртуальну прогулянку вздовж річки Аура для людей похилого віку в рамках проекту розвитку міста про можливості 5G у транспорті, пересуванні та запобіганні виключенню [20].

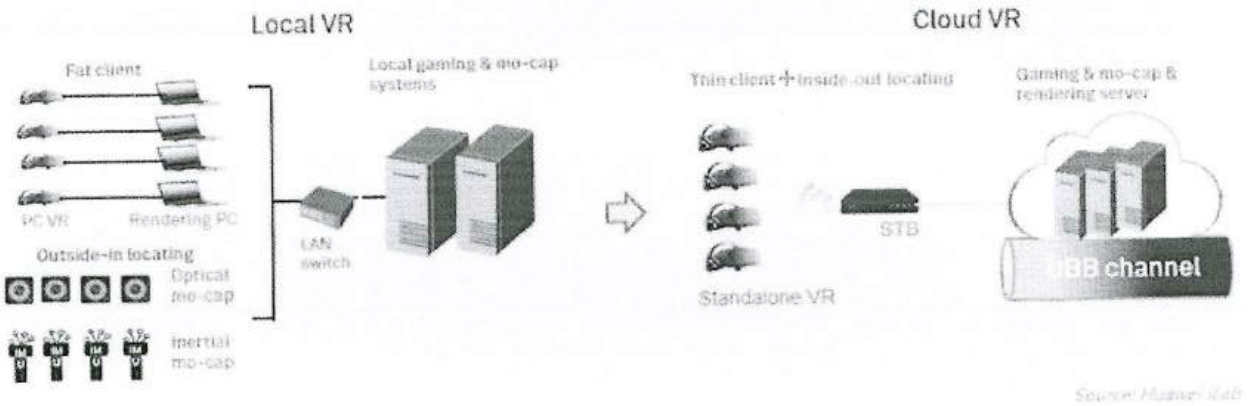


Рис. 2.8. Перехід від локальної VR до Cloud VR

2.5 Прискорення впровадження розширеної реальності завдяки 5G-технологіям

Розширена реальність (XR) - це термін, що натякає на всі справжні та віртуальні ситуації, що поєднуються, та комунікації людина-машина, створені завдяки інноваціям ПК та носінням [1, 2, 21]. Він включає делеговані структури, наприклад, розширену реальність (AR), доповнену віртуальність (AV) та комп'ютерну реальність (VR) та зони, введені серед них. Розширена реальність в основному включає кожну ситуацію, створену для співпраці людей та машин, яка приєднується до справжнього та віртуального світу. Ці умови можна створити за допомогою інновацій для ПК та носіїв. Хоча сьогодні всеохоплюючі адміністрації реальності потребують будь-якої подоби гаджетів та системних імперативів, проте пізніше значні відкриті двері з'являються через мережеві системи 5G та мобільні обчислювальні технології (MEC).

Доповнена реальність (AR). Це перспектива фізичного та справжнього стану, частини якого збільшуються за рахунок тактильних джерел інформації, що виробляються ПК, наприклад, відео, звуку, пікселів, ілюстрацій та інформації GPS [2]. Накладені матеріальні дані зазвичай відокремлюються на два види, конструктивні та деструктивні дані, які бездоганно переплітаються з нинішньою

умовою реальності [2]. Основна оцінка AR полягає в тому, що вона привносить окремі частини рухомого світу у враження людини про цю справжню реальність, і робить це в цій якості не як важливу характеристику даних, але через компроміс особливих вібрацій, які розглядаються як торгові марки бітів обставина [2]. Розширена правда використовується для оновлення середовищ існування корінних народів та пропонує покращені зустрічі. AR допомагає платформам штучного інтелекту на основі ПК сприймати об'єкти. Ці спонукані інновації AR допомагають нам збирати дані про поточний стан справ клієнта, щоб зробити їх все більш інтуїтивними та ретельно контрольованими. У доповненій реальності (AR) ви, швидше за все, спостерігатимете за вашим варіантом власного існування на екрані телефону / проникливих окулярах і все одно залишатиметесь у своєму справжньому світі. Доповнена реальність додатково працює синхронізовано з іншими елективними досягненнями, такими як Інтернет речей (IoT). AR використовує нашу сучасну реальність і пропонує це для використання гаджета. Найбільш відомими режимами керівництва AR-проектами є мобільні телефони та планшети за допомогою камери. Найбільш поширеними прикладами AR є Pokemon Go та нові смайлики AR до Snapchat. Цей підйом у використанні AR походить від чотирьох основних досягнень: невідворотності легкості візуальних датчиків, наприклад, телефонних камер, які створили основу для AR-індустріалізму. Прогрес у обчисленнях природних спостережень, наприклад, одночасна візуальна локалізація та картографування (SLAM), що дало ключовий напрямок переплетення віртуальних даних та реальності. Прогресивні напрямки в оптиці, які значною мірою підштовхнули розвиток AR на рівні покупця. Розробка зорової та звукової стратегій, що покращило суть та стилі застосування AR [22] (рис. 2.9).

Віртуальна реальність (VR) - це інтуїтивно зрозумілий досвід ПК, що виникає у відтвореній ситуації [1]. Він консолідує, по суті, звукову та візуальну критику, але також може дозволити різні види матеріального вкладу. Цей яскравий стан може бути схожим на нинішню реальність, а може бути і фантастичним. Розширена реальність використовує інновації для ПК, щоб

створити віртуальний вигляд. Ми можемо керувати цим створеним комп'ютером досвідом усім, що б ми не хотіли, щоб створювати якісь цікаві програми. У реальності, що генерується комп'ютером, існує правдоподібність постійних асоціацій клієнтів. Вміст витрачається та переживається з точки зору спостерігачів (рис. 2.10).

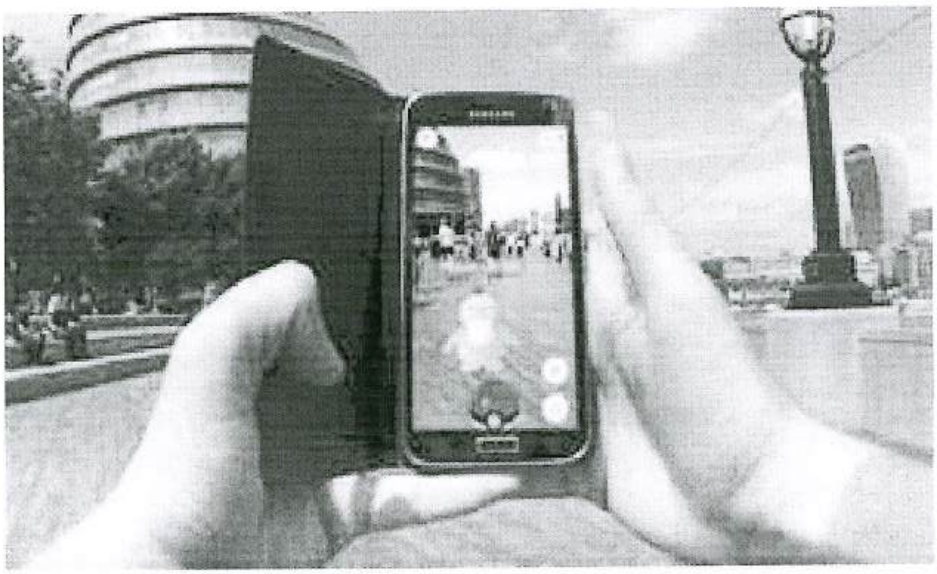


Рис. 2.9. Розширена реальність



Рис. 2.10 Віртуальна реальність

Загальна мета VR - зануритись в інший світ. VR-гарнітуру називають головними вітринами. Найбільш швидко безпомилковою частиною Віртуальної реальності є пристрої, встановлені на голові (HMD) [23]. Ця вітрина встановлена по всьому, в будь-який момент, коли ви рухаєте головою, HMD працює поруч з вами. Для деяких гарнітур VR записи будуть надіслані з підтримки або ПК на гарнітури VR, як і для інших гарнітур VR, стільниковий телефон повинен бути

встановлений у гарнітурі, а відео відтворюється з мобільного телефону. Як правило, у гарнітурах VR є два РК-дисплеї для кожного вашого ока або двох каналів, поданих до однієї презентації. Ці розширені моделюючі гарнітури також матимуть фокусні точки, які використовуються для переформування знімків для кожного ока та центрування. Фокуси Centra, присутні в гарнітурах реальності, створених ПК, можуть створити стереоскопічне 3D-зображення, обчислюючи два 2D-зображення. Базова швидкість фронту гарнітури «Віртуальна реальність» повинна бути не менше 60 контурів на кожну секунду, проте поточні гарнітури VR можуть підніматися до частоти кожухів 120 ребер на кожну секунду. Щоб VR працювала належним чином, гарнітури використовують систему, що називається шістьма ступенями можливостей (6DoF), яка передбачає життєво важливу роботу в розвитку голови після. VR - це стратегія для відтворення справжнього або віртуального світу шляхом застосування гіпотези занурення у віртуальний тривимірний простір, в якому стереоскопічне бачення, почуття слуху, почуття контакту та нюх є принципово однаковими з існуючою реальністю всередині певного регіону. VR змінює спосіб, яким ми багато чого переживаємо, диверсії, сайти, кінофільми, конкретне навчання та підготовка тощо. Крім того, VR пропонує дистанційні листувальні обставини, які забезпечують віртуальну близькість клієнтів через телеприсутність або використання віртуальної старої неправомірності (VA), використовуючи стандартні вигадки інформації або через мультимодальні пристрої [24].

Змішана реальність MR, зрідка згадувана як поперечна реальність, - це зближення справжнього та віртуального всесвітів для створення нових ситуацій та уявлень, коли фізичні та вдосконалені статті існують разом і поступово спілкуються [25]. MR надає основу та схему формування фізичного та комп'ютеризованого існування разом. MR трапляється не просто у фізичному світі чи віртуальному світі, але є сумішшю цієї теперішньої реальності та реальності, створеної ПК, поєднуючи як розширені речовини, так і розширену віртуальність методами для чіткого розвитку]. MR накладає, а також захоплює віртуальні предмети на справжні статті і дозволяє клієнту співпрацювати з об'єднаними

віртуальними / справжніми предметами. Він охоплює частину континууму між абсолютно справжньою умовою і абсолютно віртуальною умовою. За будь-яких цілей будь-яка експозиція, яка об'єднує сертифіковані та віртуальні зображення, є поєднаною реальністю (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Змішана реальність

MR надає основу та основи обробки для поступового існування фізичного та просунутого. Це перешкоджає обмеженню справжнього та віртуального спілкування. Загалом, доповнена реальність та змішана реальність не є сумісними термінами. Загальне уточнення - це все MR - це AP, проте не все AP - це MR. AR - це композит. MR інтуїтивно зрозумілий. MR - це накладення на виготовлену речовину, яка пришвартована та взаємодіє з предметами в реальності. MR лежить десь посеред VR та AR. Він поєднує справжній і віртуальний всесвіти, створюючи складні умови, коли фізичні та комп'ютеризовані компоненти можуть постійно асоціюватися.

Розширена реальність (XR) - це термін, що натякає на всі справжні та віртуально приєднані ситуації та комунікації між людиною та машиною, створені завдяки інноваціям ПК та носінням [1]. XR - це надмножина, яка включає в себе цілий діапазон від "загальної справжньої" до "загальної віртуальної" [1, 8]. З огляду на все, його сенс полягає у розширенні людських зустрічей, зокрема ототожненні з можливостями присутності та отримання сприйняття (з якими говорить AR). Хоча це може здатися надуманим і немислимим зараз, це майбутнє може бути в наших руках через рух у Розширеній Реальності (XR). Це говорить

про здатність Розширеної Реальності (XR) перетворити бізнес на підприємство. Зазвичай XR використовується як загальний термін, який втілює розвиток подій, наприклад, VR, AR та MR разом, а також усі інші речовини, які такі досягнення можуть принести в майбутньому. XR - це надмножина, яка поєднує в собі весь діапазон від "абсолютно справжнього" до "всебічного віртуального" [24] (рис. 2.12).

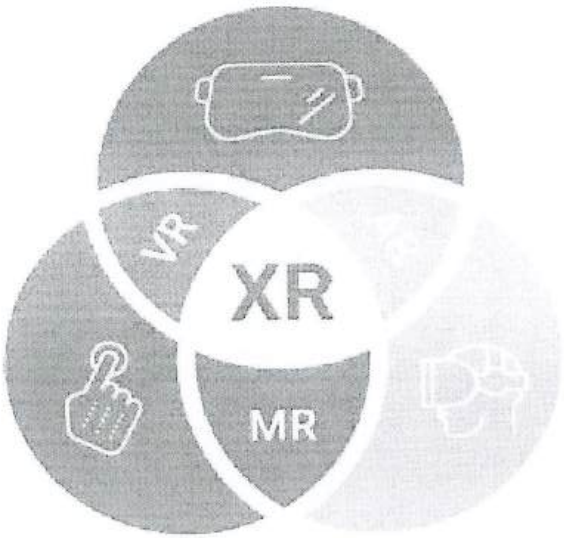


Рис. 2.12. Генеза розширеної реальності

Розширена реальність дає широке розмаїття та величезну кількість рівнів у віртуальності зобов'язань датчиків до певної міри щодо реальності Immersive Virtuality, а для інших - реальності. XR охоплює всю сферу справжнього та віртуального стану.

Переваги розширеної реальності.

Забезпечення унікальної зустрічі: занурення прямо в суттєво різноманітну дійсність дозволяє компаніям забезпечити своїх власних кінцевих споживачів з усією ймовірністю відвідати цікаві місця або, можливо, щось експериментувати, не виїжджаючи з дому [25].

Ефективне засвоєння інформації: XR надає своїм користувачам набагато практичніший погляд на предметний матеріал, що дозволяє їм вчитися набагато

успішніше.

Безпечне навчання: Ті, кому потрібно виступати в обставинах високого ризику, таких як, наприклад, збройна служба або хіміки, можуть безпечно тренуватися із стандартних навчальних класів.

Безшовний доступ до даних: XR позбавляється від дистанційних перешкод, що пояснює, чому люди можуть ефективно отримати доступ до віддалених даних.

Основні виклики у розширеній реальності.

Потужність та теплова ефективність. Це повинно бути термічно досвідченим для гладких, надлегких конструкцій. Ми використовуватимемо подібні гаджети розширеної реальності протягом дня, тому їм буде потрібно величезний час автономної роботи. Ймовірно, він повинен швидко оживити щось приблизно в тисячу разів від типової зарядки [26]. Отже, як цього досягти: організації, що займаються акумуляторами, повинні працювати таким чином, щоб покращити обмеження заряду акумулятора на грам не менше ніж кілька разів протягом наступних 10 років. Інновації в універсальній науці про матеріали HMD та окремому охолодженні.

Дисплей. Показує дедалі сильніший матеріал візуальної сутності та легко змінюється серед повністю і навпіл віртуальних всесвітів. Отже, як цього досягти: По-перше, ми повинні подолати конфлікт, що сприяє зближенню. Ми повинні передати основне поле зору (FoV) як для яскравої віртуальної реальності, так і для цінної AR. Вітрина повинна бути абсолютно непростою для VR, проте тим часом вона повинна бути 85% простою для AR. Це повинно допомогти нестримним цілям у будь-якому випадку 0,5 - 1,0 кругового сегмента хвилин на піксель [26].

Слід бути готовим зробити високий динамічний діапазон (HDR). Дисплей XR повинен бути обладнаний для пожвавлення з будь-якою швидкістю 120 Гц на око. Презентація повинна бути легкою, точно адаптованою, цілком міцною та легкою.

Загальне освітлення. Сьогодні у технології віртуальної реальності найбільша проблема полягає в тому, що створені віртуальні об'єкти виглядають фальшиво завдяки своєму незмінному забарвленню, незалежно від того, як колір

об'єкта буде виглядати в реальному житті. Незважаючи на те, що за допомогою певних покращень ми можемо динамічно забарвлювати об'єкт з ефектом тіні, він не збігається з об'єктами реального світу [9]. Щоб зробити віртуальні об'єкти схожими на справжні, ми можемо з часом використовувати вдосконалену камеру джерела світла, яка визначає кінцевий колір кожного пікселя [27]. Крім того, віртуальні ефекти, що використовуються у VR, повинні змінювати свої динамічні тіні та текстуру, коли вони змінюються в реальному світі. Щоб зробити ці ефекти можливими, ми повинні створити надзвичайно швидку систему, яка може використовувати алгоритми комп'ютерного зору та глобального освітлення, які використовують освітлення реального світу для динамічного відображення та накладання більш реалістичного віртуального об'єкта [9].

Відстеження руху. Рух, який слідує в цих гаджетах Розширеної Реальності, повинен бути простим у використанні, назад до шести головних степеней Свободи (6DoF), а також володіючим [27]. Рух до 10 мс до неактивності фотонів за допомогою міліметрового поплавця. Ці пристрої XR повинні пам'ятати про аварійне завершення роботи. Нам слід зосередитись на вдосконаленні очей після запрограмованого регулювання відстані між зіницями (IPD). Слідуючи точності фовеації / глибини рендерингу поля та уважного відео. Ми робимо акцент на поступово грубій і справжній цільовій співпраці та інтерфейсах. Контролери в розширеній реальності, коли це потрібно, повинні мати здатність забезпечувати шість ступенів можливостей, реагувати та легко реагувати. Новий та кращий 3DR з метою, яка фактично забезпечує VR, виглядає просто як ваша власна. Спілка резюме, штучного інтелекту та дизайну мають життєво важливе значення для досягнення найкращих результатів у русі після чудес.

Безмежні можливості розширеної реальності над 5G. 5G (п'яте покоління) - це найновіший вік універсальних відповідностей клітин. Він змінює основи 4G, 3G та 2G. Виконання 5G націлене на високу швидкість передачі інформації, низьку затримку, економію життєздатності, зниження витрат, вищу межу фреймворку та масове підключення гаджетів [27]. Пікова швидкість передачі даних - це найбільша досяжна швидкість передачі інформації, яка становить 200

Гбіт/с. Прихильність радіосистеми до часу подорожі посилкою - це затримка, і вона повинна бути менше 1 мілісекунд. Мобільність - це найбільша швидкість для передачі обслуговування та QoS, і вона становить близько 500 км / год [18]. Пропускна здатність на одиницю віддаленої швидкості передачі та на організовану комірку відома як спектральна ефективність, і вона становить від 3 до 4 разів 4G [18] (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Варіації смуги пропускання з їх вихідними показниками

Найближчий час (5G, WiFi 6, 802.11ay) готовий покращити спосіб, яким ми асоціюємося з нинішнім урожаєм гаджетів. Розширена реальність - XR (VR / AR / MR) - одне з таких нововведень, яке принесе користь від презентації 5G та штучного інтелекту (AI). Сучасний вік гаджетів XR вимагає або мобільного телефону, або дивовижного ПК, щоб передати якийсь вимір різних зустрічей. Цей досвід час від часу обмежується, оскільки мобільний телефон сам по собі недостатньо неймовірний, щоб передати справді яскраву зустріч, а взаємодія з ПК очікує, що він буде закріплений дротом, в деяких випадках створюючи перешкоду для захоплюючого досвіду. Незважаючи на те, що ми бачимо незалежні пристрої XR, які починають множитися, більша частина цих пристосувань масивна, контроль ненажерливий, оскільки більша частина обробки обмірковується або

об'єднується [28]. Незалежний "Портативний XR" має колосальний потенціал не лише асоціювати або купувати живу речовину, на додаток до виготовлення. Незважаючи на це, мають бути певні спеціалізовані стрибки вперед, які можуть забезпечити плавний, надлегкий XR-пристрій, що сприятиме ефективнішим XR-зустрічам.

Новаторський процесор дозволить гаджету XR мати вбудовані можливості обробки, зняти вимогу до його кріплення до ПК. Доступність через 5G забезпечить надійне та низьке затримку підключення до хмарного фундаменту, передаючи багатий якісний вміст гаджету. Крайова хмара покращує загальну ефективність системи та покращує доступність вмісту для клієнтів, коли і коли їм це потрібно. Швидка доступність мережевого підключення та підготовка потужності разом, швидше за все, забезпечать участь XR із кращим вмістом. Штучний інтелект на основі гаджета та хмари може забезпечити плавність загального залучення XR за рахунок кращого вдосконалення датчиків, налаштування зображення розташування об'єкта, семантичний поділ тощо [28].

Рівномірне зустріч - це головне для Розширеної Реальності. В'ялість, заїкання та уповільнення процесів є незадовільними для досвіду клієнта. Захоплюючий досвід потрібно постійно підтримувати. Передбачувана якість, наприклад, латентність, при цьому не повинно бути перерв у буферизації та відсутність зниження якості через коливання бітрейтів. Будь-яке використання означає засоби від міських громад до зони країни та надійне адміністрування навіть в умовах тестування або краю осередку. Ситуації з високою універсальністю, такі як швидкі обставини, такі як транспортні засоби та постійний розвиток голови. Ось засоби, за допомогою яких Qualcomm буде використовувати 5G для яскравих зустрічей у верхній частині розширеної реальності (XR) або AR. Висока швидкість передачі даних та низька бездіяльність 5G дозволяють швидко з'єднуватися - перебираючи край через хмару, щоб зняти оброблювальне навантаження з гаджета XR. Ця демонстрація використовує базову станцію 5G, яка передає сигнал 5G за допомогою посилання на телефон 5G, який є моделлю, що використовується для тестування [29]. Цей телефон на

той момент взаємодіє з верхньою лінійкою гарнітури з дисплеєм 2K та датчиками камери. Гарнітура ще не виконує жодних обчислень, але передає інформацію, яку датчики ловлять назад, на телефон, який, таким чином, надсилає цю інформацію через 5G на хмарний сервер, який дійсно робить графічний візуалізацію верхньої частини рядка . Коли інформація надається і зроблені фотографії, вони знову відправляються з хмарного сервера на телефон, який виконує подальші дії та передає підготовлену картинку в гарнітуру. Остання модель, по суті, була б гарнітурою та телефоном 5G. На той момент системні адміністратори пропонували VR як адміністрацію. Це також може вписуватися у фактор загальної структури, коли телефон поміщається в гарнітуру і працює як дисплей . Для найближчого масового прийняття розширеної реальності (XR) необхідний розширений мобільний широкосмуговий діапазон 5M (eMMB). За допомогою мережі 5G ми можемо досягти надзвичайної пропускної здатності, тобто мульти Гбіт / с. Існує можливість надзвичайно надійної низької затримки до 1 мілісекунди [30]. Ми можемо отримати рівномірний досвід навіть на краю клітини. Завдяки розширеній мобільній широкосмуговій мережі з 5G ми зможемо забезпечити покращений досвід XR завдяки збільшеній пропускній здатності, меншій затримці та рівномірному досвіду. Ми можемо часто завантажувати та завантажувати вміст Розширеної реальності для будь-яких цілей практично в будь-якій точці світу. Ми можемо створити інтерактивний та насичений візуальний матеріал для кінцевих користувачів. Нові зустрічі з новими вимірами затоплення. Миттєвість, персоналізація та безпека. Створення нового бізнесу та зміна існуючого бізнесу в новий період розсіяної самодостатності. Фундаментальні можливості ґаджета розширились завдяки обробці / обробці, вмісту, контролю на краю хмари (рис. 2.14).

Наслідки для поточних програм.

Нерухомість та благоустрій будинку. Дохід від доповненої реальності / віртуальної реальності до 2025 року становитиме 2,6 мільярда доларів. У 2016 році 51% покупців перестали займатися облаштуванням будинку, оскільки вони не могли думати про те, як виглядатимуть їх результати.

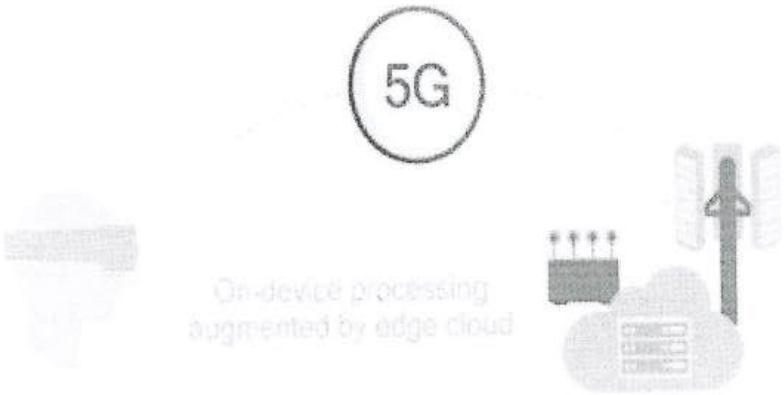


Рис. 2.14. Пристрій XR із підключенням 5G та доповненою хмарною інфраструктурою

Віртуальний досвід: за допомогою інновацій, створених комп'ютером, клієнти можуть здійснити інтуїтивне 3D-проходження властивості, яка все ще перебуває в стадії розробки за допомогою гарнітур VR [11]. Це дозволяє потенційним покупцям побачити готовий товар. За допомогою програми Street Peak ми зможемо зібрати всі дані про будинок, коли ви вкажете на нього телефон. І додаток Ikea Place, отже, масштабує предмети меблів для вашого рогу залежно від вимірювань у приміщеннях з 98% точністю [29].

Роздрібна торгівля. Дохід від доповненої реальності / віртуальної реальності складе 1,6 мільярда доларів до 2025 року. Покупці дедалі більше цікавляться розширеною реальністю роздрібного бізнесу. 71% покупців купували б у продавця, коли б рекламувалася доповнена реальність. 61% клієнтів хотіли б робити покупки в місцях, де вся пропозиція розширена досвід реальності. 40% покупців платили б більше за товар, якби AR використовувались як їх досвід [15]. У 2011 році в Вашингтон-сквер-парку (Нью-Йорк) та Венеціанському пляжі (Луїзіана) були створені невідкриті магазини для реклами нового взуття, відомого як Airwalk Invisible Pop Up Stores [30]. Використовуйте GPS та додаток, щоб побачити взуття, яку можна придбати. Він заробив ЗМІ на суму 5 мільйонів доларів. Тепер, коли Аргос може продавати святкові каталоги, читачі можуть

швидко купувати речі, вказуючи телефоном різні речі всередині.

Медицина. Дохід від доповненої реальності / віртуальної реальності становитиме 5,1 мільярда доларів до 2025 року у сфері медичних послуг. 24% інсайдерів-інноваторів сподіваються побачити більше досягнень AR / VR у медичних послугах чи відновлювальних пристроях. Accuvein - це сканер, який працює там, де є характерні клапани та вени, з метою медичні працівники та фахівці можуть ефективніше виявити його з першої спроби. 40% IVS пропускають первинні зусилля з пошуку вени. Дотепер інновація, використана на 10 мільйонах пацієнтів, робить пошук вени в головній справі в 3,5 рази більш імовірним. Козирок VA-ST: «Кмітливі характеристики» планується використовувати особами, які законно або частково не звертають уваги на те, щоб допомогти їм у регулярних дорученнях. Ця програма є чемпіоном виклику Google 2014 року [11]. Продукт можна навчити сприймати тривимірні предмети, а після цього розпізнавати їх на сцені. Може допомогти у виявленні загублених речей та вивченні нових умов, що відображає відомі обставини для розпізнавання. Поточна гра МРТ у Studios допомагає дітям залишатися нерухомими впродовж всього періоду МРТ-сканування [31].

Подорожі. Дохід від доповненої реальності / віртуальної реальності становитиме 4,1 мільярда доларів до 2025 року у сфері подорожей [11]. 84% клієнтів по всьому світу зацікавлені б використовувати AR / VR як свій досвід пересування [17]. 42% клієнтів вірять, що AR та VR є долею туристичної галузі [17]. Експедиція Google Wikitude and Etips City проводить молодших школярів на екскурсії по всьому світу, не виходячи з домашньої кімнати. Це менш дорогий вибір для подорожей і корисний для людей з фізичними вадами [11].

Основним елементом ефективного електронного спілкування, як правило, є надійне, доступне взаємозв'язок мережевої системи. Від зародження Інтернету до створення сучасних мереж мобільних телефонів з великою пропускною здатністю, ми зараз працювали над наданням більш швидких послуг за рахунок меншої затримки, а потім і більш широкого охоплення. Зараз ми на межі впровадження швидкої, ніж будь-коли раніше, мережевої інфраструктури 5G, яка

пропонує життєво важливі наслідки для досягнення майбутніх років у Розширеній реальності. Хоча сьогодні численні програми та адміністрації всередині всесвіту XR дуже потрібні гаджету та системі, збірка не надто далека від точки зору гаджета, так само значні відкриті двері завдяки розв'язуванню за допомогою 5G та Mobile Edge Computing (MEC). Завдяки розширеній мобільній широкосмуговій мережі з 5G ми зможемо забезпечити покращений досвід XR завдяки збільшеній пропускній здатності, меншій затримці та рівномірному досвіду.

3 РОЗРОБКА 5G MIMO-АНТЕНИ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

3.1 CST STUDIO SUITE 2020 - моделювання тривимірних електромагнітних структур

Мета цього дослідження - представити конструкцію мікросмужкової антени UWB, придатну для інтеграції гарнітури з віртуальною реальністю (VR) за допомогою ПЗ CST STUDIO SUITE 2020 (за безкоштовною студентською ліцензією) [32]. Ця конформна гексагональна антена оптимізована для демонстрації 3:1 широкої смуги частот, що збільшується від 4 ГГц до 12 ГГц з коефіцієнтом відбиття нижче - 6 дБ. Більше того, чотири антени UWB розміщені на гарнітурі VR, були розглянуті різні положення антен та оцінені різні кути повороту з точки зору оптимального покриття діаграми випромінювання. Нарешті, ефективність MIMO оцінюється за наявності пов'язаних та корельованих антен. Тому в цьому розділі описано, як охарактеризувати антени як для різноманітності, так і для систем MIMO.

Розумні носимі пристрої отримують багато успіху в різних сферах охорони здоров'я, фітнес-вправах та промислових цілях. Для смарт-годинників [1], розумного взуття [2] та розумних окулярів [3] застосовується конформна інтеграція антен для розумних додатків. У мультимедійній галузі носимих пристроїв гарнітури VR націлені на активних та пасивних користувачів, дозволяючи їм використовувати їх або для ігор, і для додатків з доповненою реальністю. У наш час пристрої VR підключаються до мультимедійного сервера за допомогою кабелю для передачі великих об'ємів даних. У цьому розділі розроблено масив з чотирьох надширокосмугових антен для безпроводової передачі даних із високою швидкістю передачі даних з мінімальною затримкою. Антена шолома запропонована для військового застосування [4, 5]. Більше того, для застосування в напівсферичних капелюхах представлені інвертована F-антена

та кругова плоска складчаста дипольна антена [6, 7]. У цьому розділі запропоновано патч-антену з гексагональною формою UWB [8], яка має смугу пропускання 8 ГГц, що охоплює від 4 до 12 ГГц з коефіцієнтом відбиття нижче - 6 дБ. Досліджено вплив людської голови на схему випромінювання. Завдання полягає в моделюванні та проектуванні антени, розміщеної на шоломі VR. Крім того, досліджено діаграму випромінювання для різних положень антен на шоломі VR. Спочатку розглянуто параметричну оптимізацію одиничної антени з точки зору коефіцієнтів відбиття. У той час далі, антена вивчається, коли вона вбудована у гарнітуру VR. Потім фантом людської голови включається в моделювання і вивчаються різні положення антен. Крім того, проаналізовано розподіл поля та схеми випромінювання антени в різних положеннях на шоломі VR, включаючи ефект людської голови. Також, оцінено ефективність рознесення чотирьох позицій антени, щоб забезпечити глобальне покриття для передачі даних і показано дослідження потужності MIMO антен 2 X 2 VR.

Пакет CST STUDIO SUITE являє собою набір інструментів для проектування, моделювання та оптимізації тривимірних електромагнітних систем, що використовується самими передовими технологічними та інжиніринговими компаніями в усьому світі.

Повний набір рішень для 3D EM моделювання.

Високий рівень технологій моделювання CST був досягнутий шляхом постійного вдосконалення обчислювальних модулів, узагальнюючих в собі досвід багаторічних досліджень в галузі точних і ефективних обчислювальних методів. Висока вірогідність результатів роботи пакета програм CST STUDIO SUITE дозволяє користувачам створювати віртуальні прототипи, що моделюють поведінку реальних пристроїв, зберігаючи тим самим час і кошти на етапі розробки.

Сучасна версія пакету CST STUDIO SUITE включає наступні модулі:

– обчислювачі загального призначення в часовій і в частотній областях для

моделювання низькочастотних і високочастотних завдань;

– повнохвильова обчислювач з використанням інтегральних рівнянь;

– модуль для отримання власних мод і асимптотический обчислювач;

– самоузгоджений алгоритм;

– статичний і мультифізичний обчислювач;

– безліч додаткових спеціалізованих обчислювальних модулів.

Комбінація перерахованих модулів забезпечують точний і багатогранний підхід для вирішення широкого кола завдань (рис. 3.1).

У ряді випадків рішення одного завдання може бути реалізовано з використанням різних обчислювальних методів. Універсальний підхід CST дозволяє виконувати верифікацію отриманих даних шляхом порівняння результатів моделювання, отриманих з використанням різних обчислювачів в єдиній робочому середовищі. Подібна перехресна перевірка підвищує достовірність отриманих результатів і допомагає інженерам виявити помилки в описі проекту або в процесі вимірювань.

Моделювання магнетрона вимагає врахування ефектів, пов'язаних з високочастотними і статичними електромагнітними полями, а також ефектів динаміки заряджених частинок. Все це може бути промоделювати в рамках одного проекту в єдиному середовищі проектування.



Рис. 3.1. ПЗ включає обчислювачі для вирішення завдань, що перекривають весь спектр електромагнітних випромінювань

Для якісного моделювання потрібно проект з правильно описаної структурою. Це означає, що модель повинна описувати реальні об'єкти і враховувати широкий набір впливають на них електромагнітних ефектів. Пакет CST STUDIO SUITE включає потужні засоби побудови і імпорту моделей з CAD систем, що допомагають користувачеві побудувати правильних проект аналізованого пристрою.

Є ряд дисциплін, наприклад, магнетизм або фотоніка, де характеристики електромагнітних ефектів є тільки результатом взаємодії з використовуваними в пристрої нелінійними матеріалами. Пакет CST STUDIO SUITE пропонує широкий набір типів матеріалів, що дозволяє моделювати найрізноманітніші фізичні явища, наприклад, плазмонний і фотонний ефект, феромагнетизм, вторинну електронну емісію, прогрів біологічних тканин.

Змішаний аналіз електричних схем і ЕМ структур в часовій області дозволяє розраховувати електромагнітні поля, що виникають в результаті взаємодії з нелінійними елементами схеми, наприклад, діодами або транзисторами. Широкосмугова природа аналізу в тимчасовій області дає можливість врахувати при аналізі широкий набір гармонійних складових сигналу.

Виміряні дані, наприклад, характеристики поля в ближній зоні або S-параметри напівпровідникових пристроїв теж можуть бути імпортовані в пакет CST STUDIO SUITE. Це дозволяє інтегрувати ці дані до проекту і поліпшити опис фізичної системи.

Наявність реалістичних моделей матеріалів і дискретних елементів дає можливість якісно промоделювати СВЧ фільтр на SMD елементах.

3.2 Проектування антени для пристроїв віртуальної реальності

Широкосмугова шестикутна антена представлена на матеріалі з склотекстоліту товщиною 1,6 мм. Розміщення антени показано на рис. 3.1. Основні геометричні параметри оптимізовані за допомогою симплексного алгоритму Нельда Мід. Розміри оптимізованої антени наведені в табл. 3.1. Однакова конструкція антени моделюється в плоскій та криволінійній моделі. Коефіцієнт відбиття обох режимів антени нижче -6 дБ від 4 ГГц до 12 ГГц, як показано на рис. 3.2 і 3.3 [32].

Таблиця 3.1

Розміри UWB-антени

	L1	L2	L3	Ls	Ws	W1	W11	W2	W3	W4
Криволінійна модель	10.12	23.53	13.71	15.76	1.09	30.75	8	9.28	11.80	49
Плоска модель	4.20	30.33	11.69	13.24	0.86	30.97	8	4.83	8.52	46.67

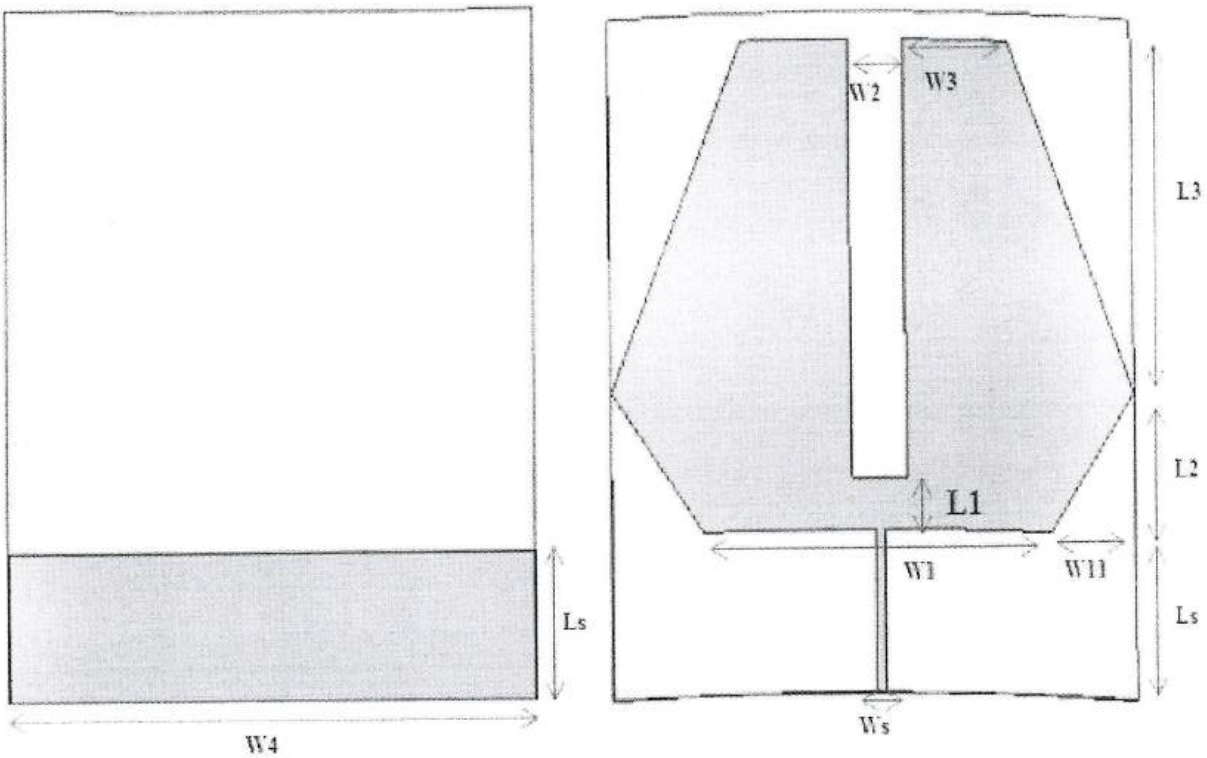


Рис. 3.1. Розміщення UWB-антени

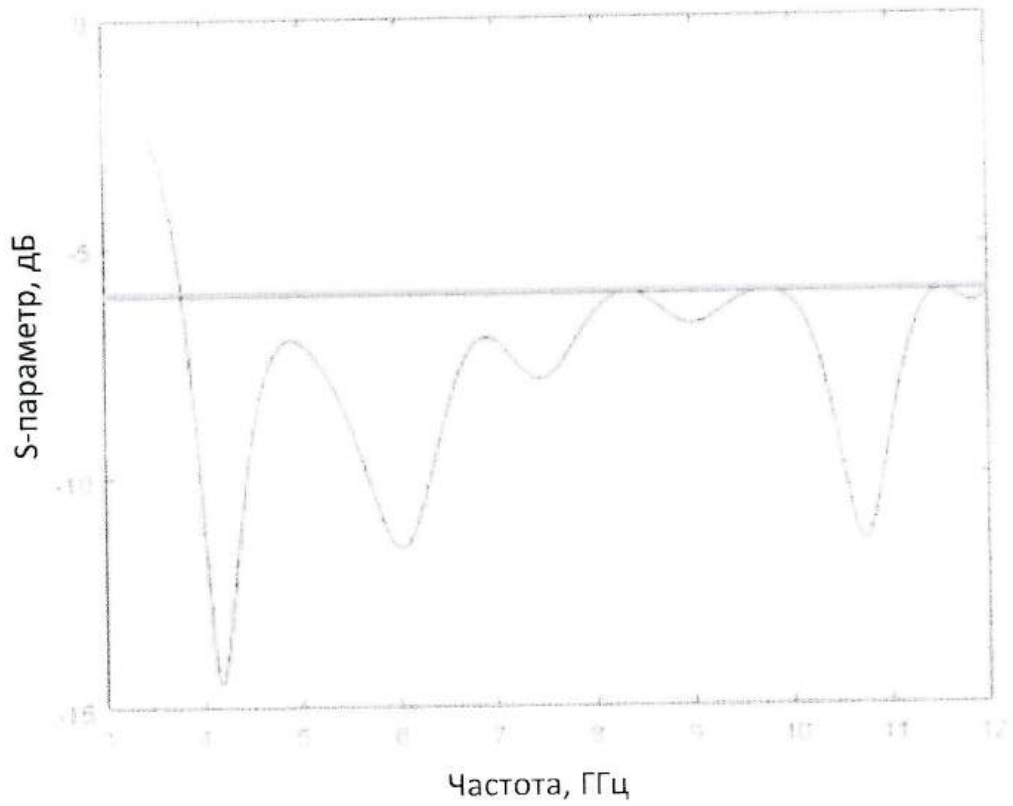


Рис. 3.2. Коефіцієнт відбиття в плоскому режимі

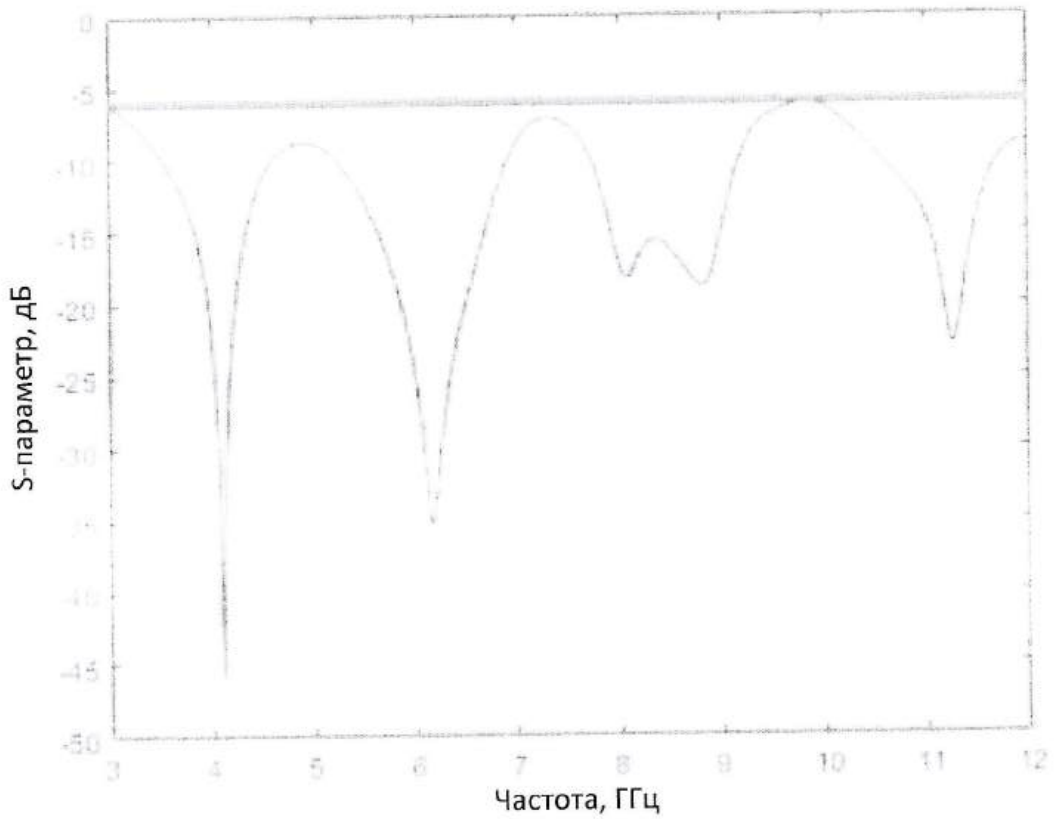


Рис. 3.3. Коефіцієнт відбиття в криволінійному режимі

Оптимізована конформна антена (узгоджена з формою моделі) інтегрована в діелектричну модель гарнітури VR з двома варіантами розміщення:

- передній пластиковий корпус (рис. 3.4);

- бічна гумова зона (рис. 3.6).

На рис. 3.5 показано вплив пластикового корпусу VR на S11 плоскої антени. У той час як на рис. 3.7 представлений вплив еластичної гуми на вигнуту антену VR. Показано, що на ефективність збігу антени сильно впливає, коли вона розміщена на пластиковому корпусі, на відміну від гумового положення, коли зміна продуктивності антени S11 незначна і залишається нижче - 6 дБ по всій смузі частот.

Будь чотириполюсника можна представити у вигляді "чорного ящика" з набором деяких параметрів.

Існують системи параметрів, що зв'язують струми і напруги на затискачах чотириполюсника, а також є системи параметрів, де чотириполюсник аналізується з точки зору падаючих і відбитих хвиль (до них відноситься опис через S параметри).

S11 - це коефіцієнт відбиття від входу, при умови, що навантаження на виході енергію не відбиває.

S22 - коефіцієнт відбиття, за умови, що генератор має коефіцієнт відбиття рівний 0.

S21 - коефіцієнт передачі падаючої хвилі від входу до виходу.

S12 - навпаки, коефіцієнт передачі від виходу до входу.

Для VR-програм найкраще підходить всеспрямована антена. Для цього було розміщено чотири антени в гарнітурі VR, як показано на рис. 3.8, щоб забезпечити найкраще покриття випромінювання в горизонтальній площині.

Після того, як було включено 3D-модель фантома людської голови, змоделювали UWB-антену, інтегровану в чотири місця розташування. Результати моделювання показують, що на коефіцієнт відбиття впливає положення антени на VR, як показано на рис. 3.9. Найкращий варіант адаптації антени отриманий для положення антени 3, тоді як найгірший показник коефіцієнта відбиття показаний

у положенні 4. Всі інші місця розташування антен мають S11 між ними. Загалом, S11 залишається нижче - 6 дБ на більшій частині смуги частот для всіх положень антени.

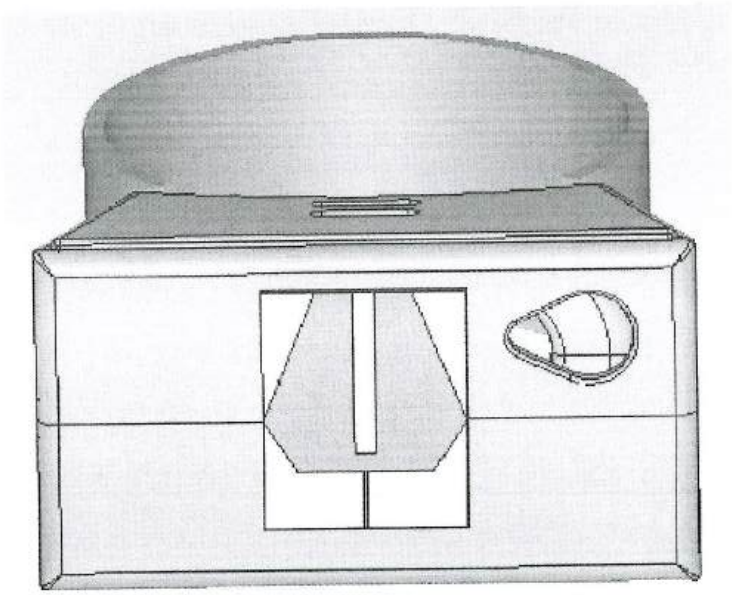


Рис. 3.4. Антена на пластиковому футлярі VR

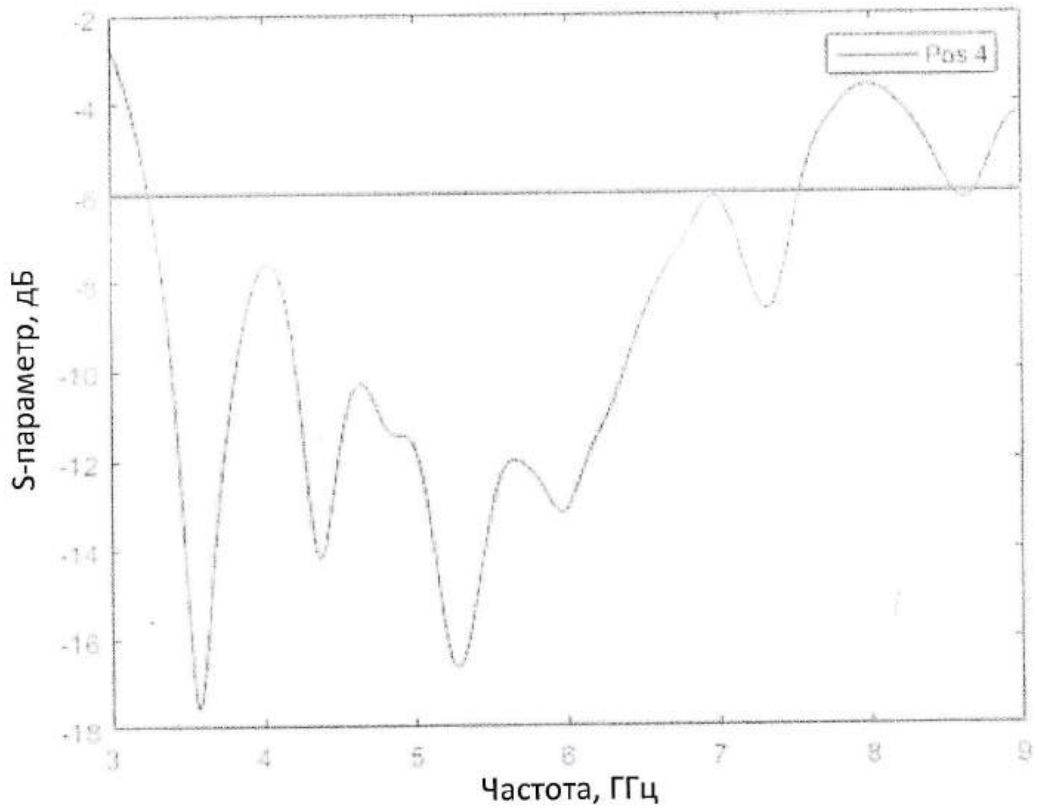


Рис. 3.5. Коефіцієнт відбиття в пластичному положенні

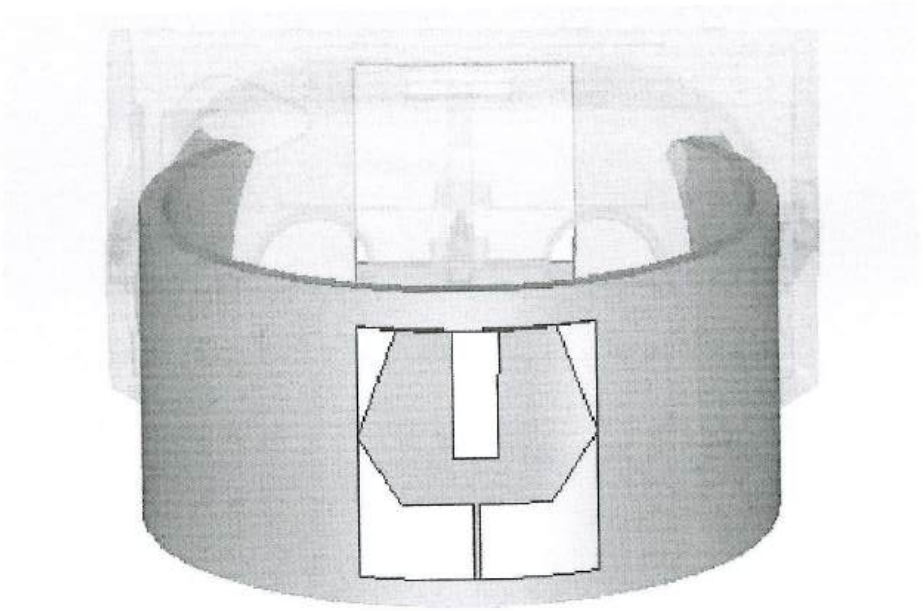


Рис. 3.6. Антена на гумовому утримувачу VR

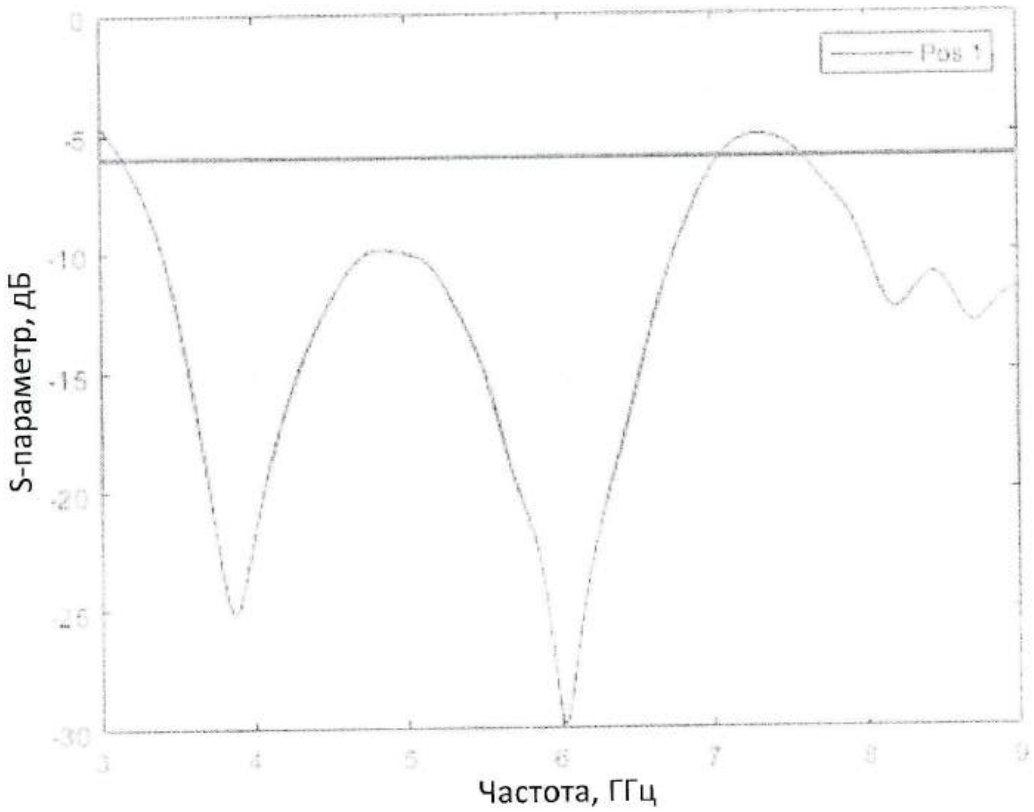


Рис. 3.7. Коефіцієнт відбиття в положенні гуми

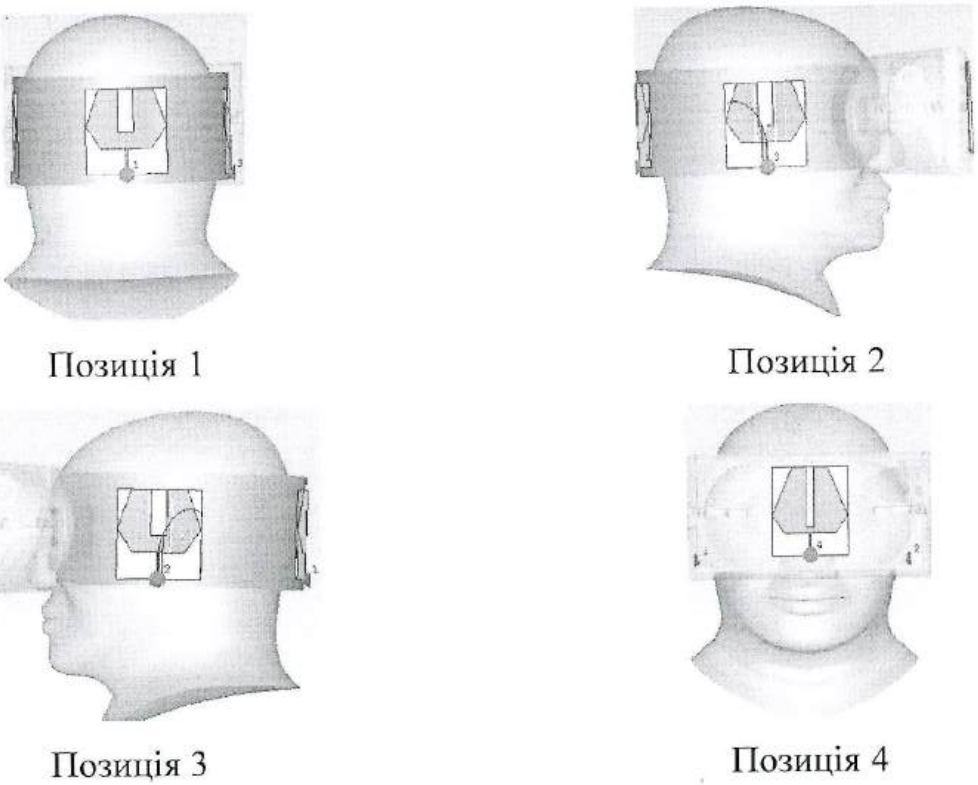


Рис. 3.8. Положення антен в VR-гарнітурі

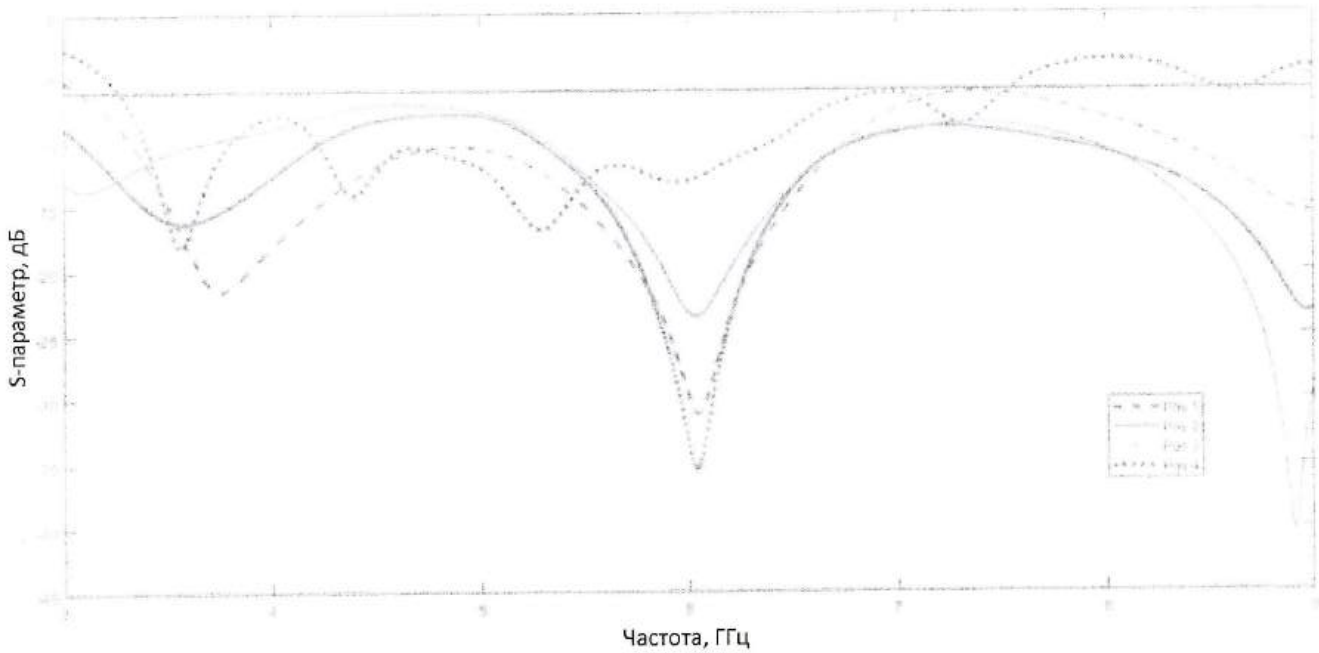


Рис. 3.9. Вплив положення антени на адаптацію

Розглянемо амплітудне рознесення, поєднуючи коефіцієнт підсилення антени, щоб збільшити загальну ефективність спрямованості антен для додатків VR, тобто забезпечити безперебійну передачу даних. Отже, ми вивчили

абсолютний коефіцієнт підсилення чотирьох антен на трьох різних частотах у горизонтальній площині, де 0 зафіксовано на 90 градусів, а φ змінюється від 0 до 360 градусів. Тому беремо максимальний абсолютний коефіцієнт підсилення чотирьох антен на трьох частотах 3 ГГц, 6 ГГц і 9 ГГц.

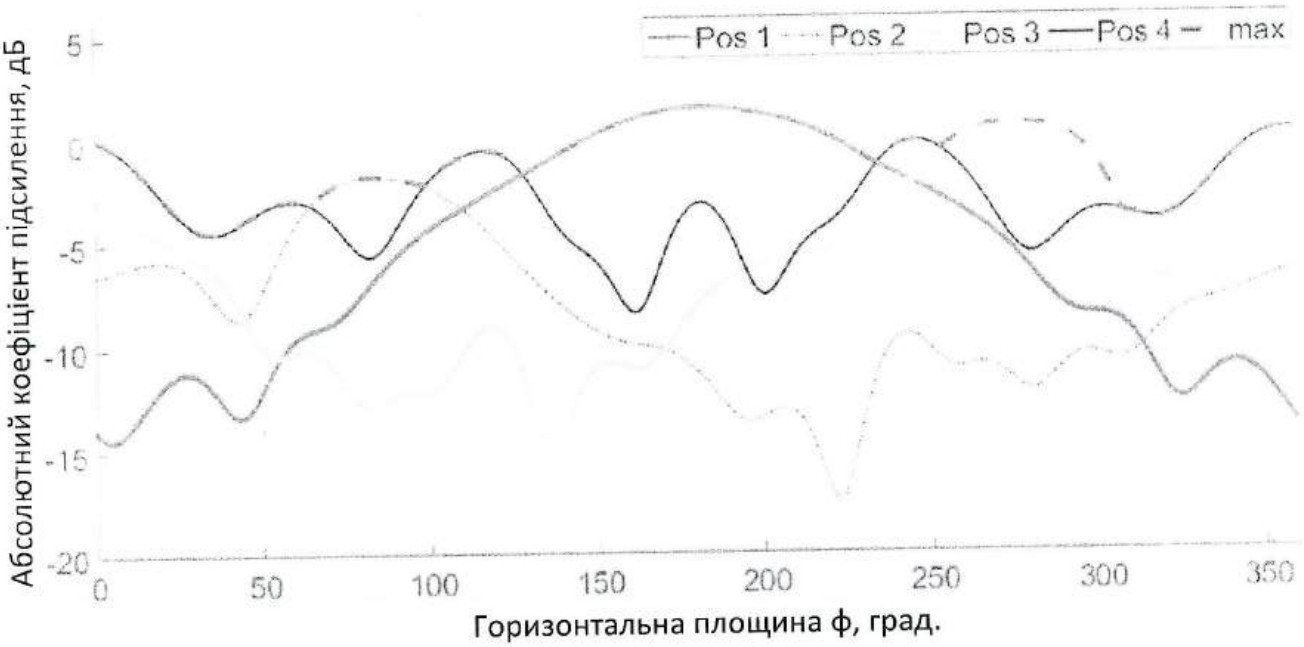


Рис. 3.10. Абсолютний коефіцієнт підсилення в горизонтальній площині на частоті 3 ГГц

Порівняння абсолютного коефіцієнта підсилення чотирьох антен в горизонтальній площині показує, що при 3 ГГц, як показано на рис. 10, максимальний абсолютний коефіцієнт підсилення в основному займає антена в положеннях 1 і 4, тоді як антена в положеннях 2 і 3 займає менші частини його максимуму. На частоті 6 ГГц, як показано на рис. 3.11, максимальний абсолютний коефіцієнт підсилення переважно забезпечується антеною в положенні 4, тоді як антена в положеннях 1, 2 і 3 вносить невеликі частини свого максимуму. На частоті 9 ГГц, як показано на рис. 3.12, результат подібний до попереднього.

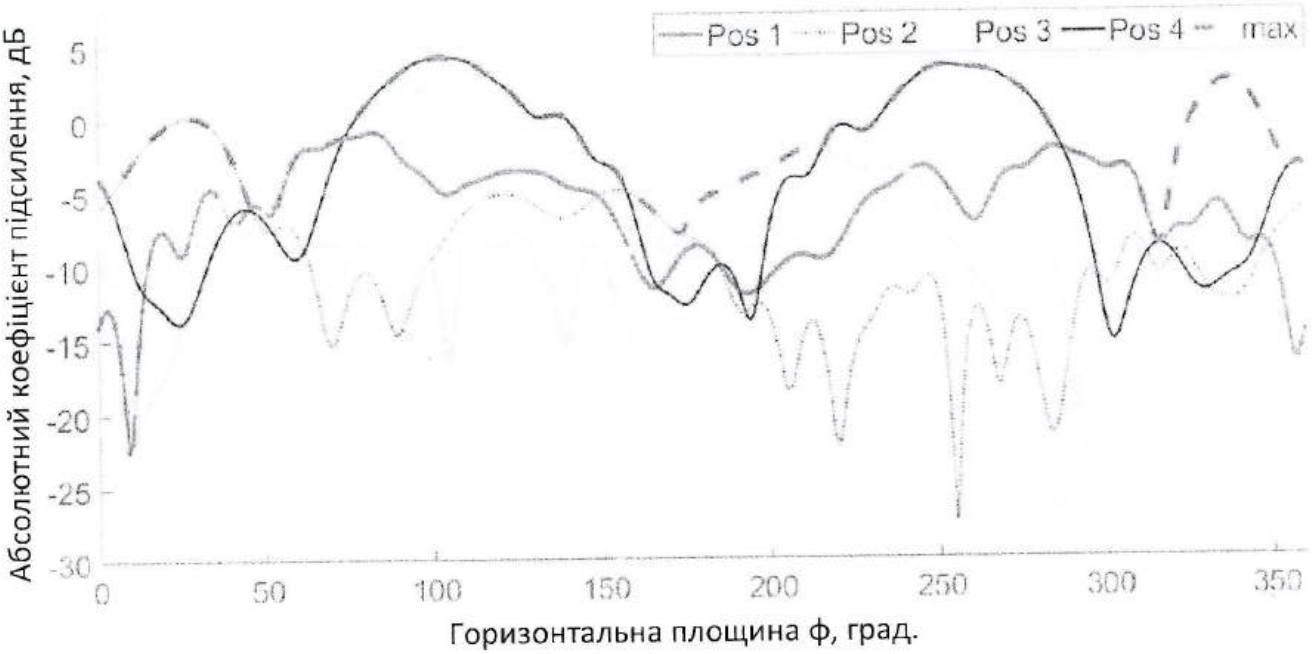


Рис. 3.11. Абсолютний коефіцієнт підсилення в горизонтальній площині на частоті 6 ГГц

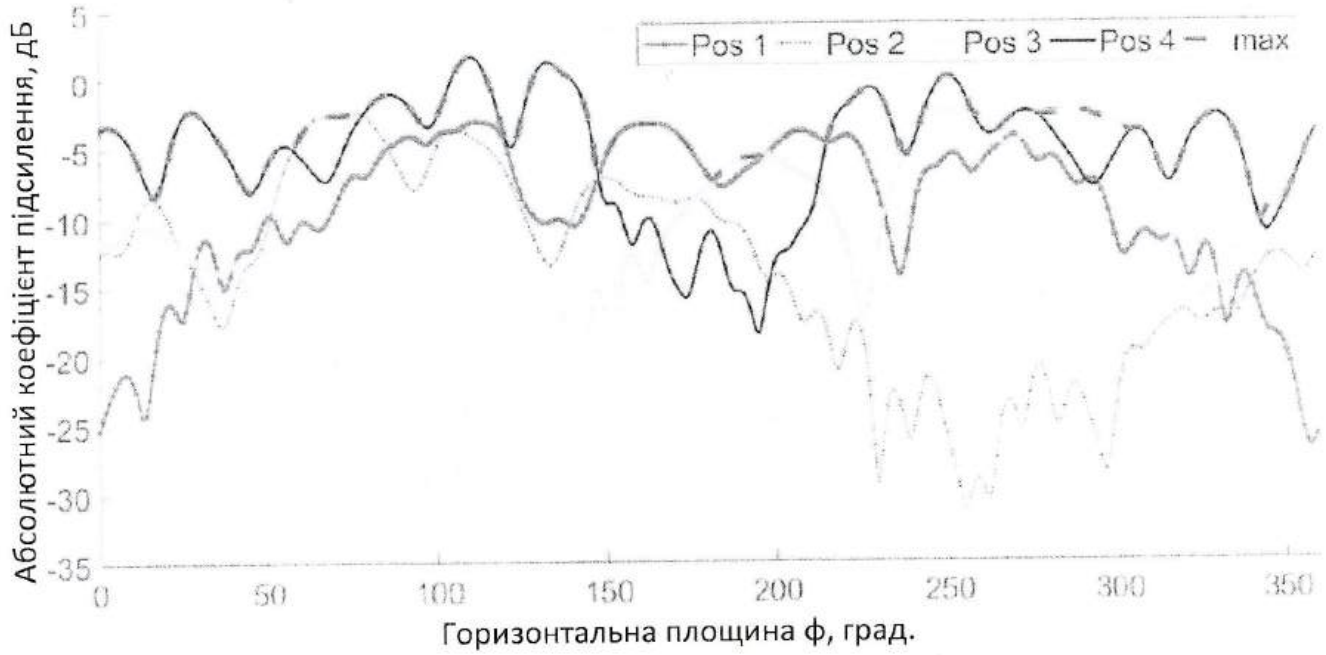


Рис. 3.12. Абсолютний коефіцієнт посилення в горизонтальній площині при 9 ГГц

Дослідимо різні варіанти комбінування пари антен на різних частотах для досягнення найкращої продуктивності системи 2 X 2 MIMO. Загальні ефекти антени можуть бути включені за допомогою методу S-параметрів [33, 34].

Передавач і приймач мають дві шестигранні антенні елементи. Припустимо, що передавальна та приймальна антени розташовані спільно.

Матриці кореляції передачі та прийому, відповідно, задаються:

$$R_{tx} = C_{tx}A_{tx}C_{tx}^{H}; \quad R_{rx} = C_{rx}A_{rx}C_{rx}^{H} \tag{3.1}$$

де C_{tx} і C_{rx} - матриці взаємного зв'язку для передавальної та приймальної антен, утворених значеннями параметрів розсіювання, верхній індекс H вказує на матрицю Ерміта, а A_{tx} та A_{rx} - матриці кореляції передавальної та приймальної антен. Для каналу 2 X 2 останні матриці набувають наступного вигляду

$$\mathbf{A_{tx}} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{tx,i,j} \\ \rho_{tx,i,j} & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{A_{rx}} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{rx,i,j} \\ \rho_{rx,i,j} & 1 \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

де p_{tX}; i; j - коефіцієнт кореляції між і-ю та j-ю передавальними антенами та p_{rX}; i; j - коефіцієнт кореляції між і-м та j-м приймальними антенами.

$$H = \sqrt{(R_{rx})}H_{iid}\sqrt{(R_{tx})}^{T} \tag{3.3}$$

де H - матриця каналів 2 X 2, H_{iid} - матриця каналу, що генерується з використанням нульової середньої одиниці дисперсії, незалежної та однаково розподіленої складної гауссової випадкової величини. Оскільки передавальна та приймальна антени поєднані, тоді $R_{tx} = R_{rx}$.

Ергодична ємність каналу MIMO визначається:

$$C = \log_2\left[det\left(\mathbf{I} + \frac{\gamma}{N_t}\mathbf{H}\mathbf{H}^{H}\right)\right] \tag{3.4}$$

де I - ідентифікаційна матриця, а γ - відношення сигнал / шум (SNR).

На рис. 3.13, 3.14 та 3.15 показано результуючу потужність каналу для SNR = 10 дБ для системи 2 X 2 MIMO [35]. Ми бачимо, що потужність, заснована на моделюванні, лінійно зростає при високих коефіцієнтах SNR при побудові графіків проти SNR, виражених в дБ.

Оптимальна комбінація антен знайдена для пар позицій 1 і 4, як показано на

рис. 3.13. Хоча найгірша комбінація виявилася для антени 2 і 3. Всі інші комбінації лежать між цими двома значеннями ємності. З рис. 3.14 і 3.15 видно, що різні комбінації для пари антен на частотах 6 ГГц і 9 ГГц дають подібні результати. Зрозуміло, що ємність для пар на позиціях 1-4, 3-4 і 2-4 має найвищі значення. Крім того, ємність для парних позицій 2-3, 1-2 і 1-3 майже дорівнює нулю в порівнянні з SNR. Таким чином, можна помітити, що значення ємності на 3 ГГц перевищували значення ємності на 9 ГГц приблизно вдвічі більше, ніж SNR. Однак ємність на 6 ГГц залишається найгіршим випадком, коли максимальна потужність при високому SNR не перевищує 1 біт/с/Гц.

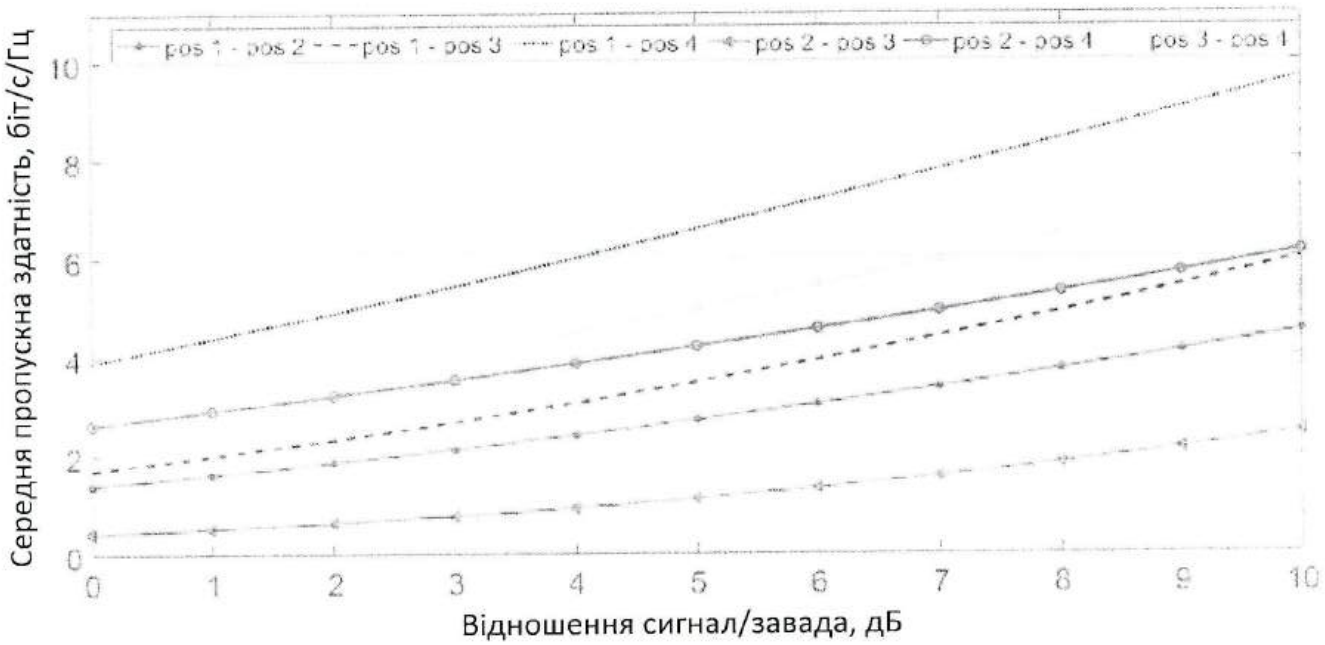


Рис. 3.13. Ємність MIMO 2 X 2 як функція SNR при 3 ГГц

З рисунків добре видно, що найкраща комбінація завжди була з антеною в позиції 4, що узгоджується з результатами дослідження різноманітних положень, коли антени в положеннях 1 і 4 перевершували по якості зв'язку інші положення.

Отже, можна зробити висновок, що антени в положеннях 1 і 4 представляють найкраще місцезнаходження та найкращу комбіновану пару антен для поліпшення безпроводового зв'язку на VR-шоломі через надширокосмуговий діапазон, переважно на високій частоті.

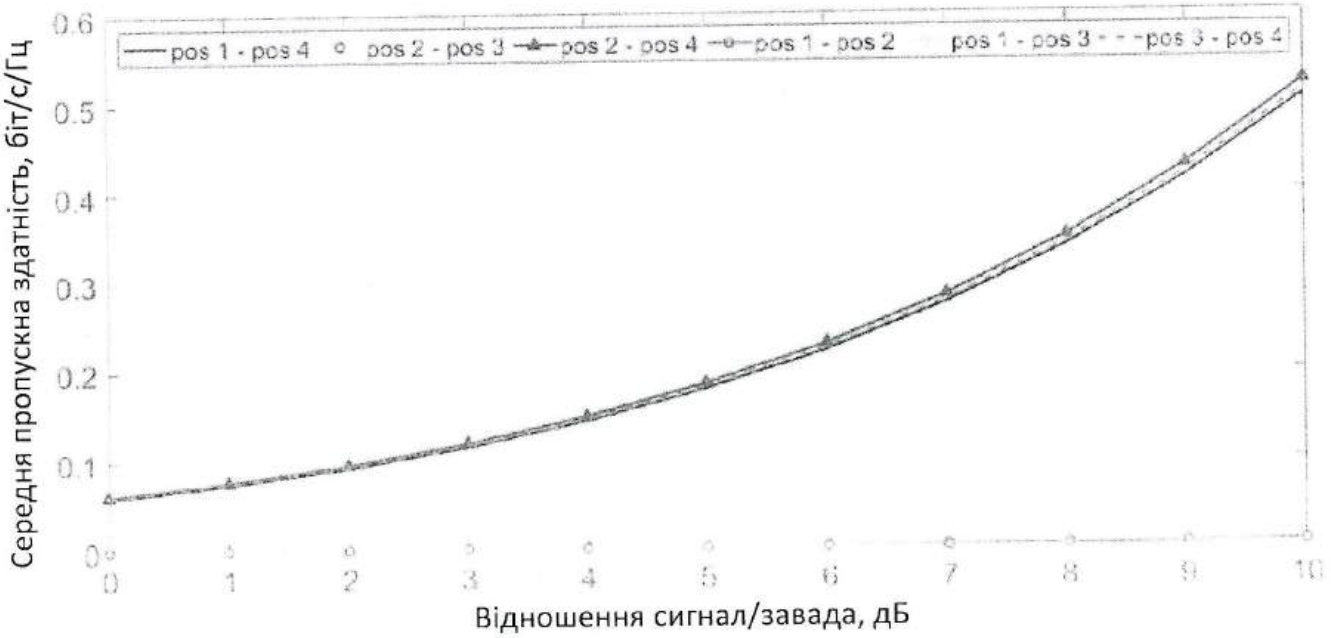


Рис. 3.14. Ємність 2 X 2 MIMO як функція SNR при 6 ГГц

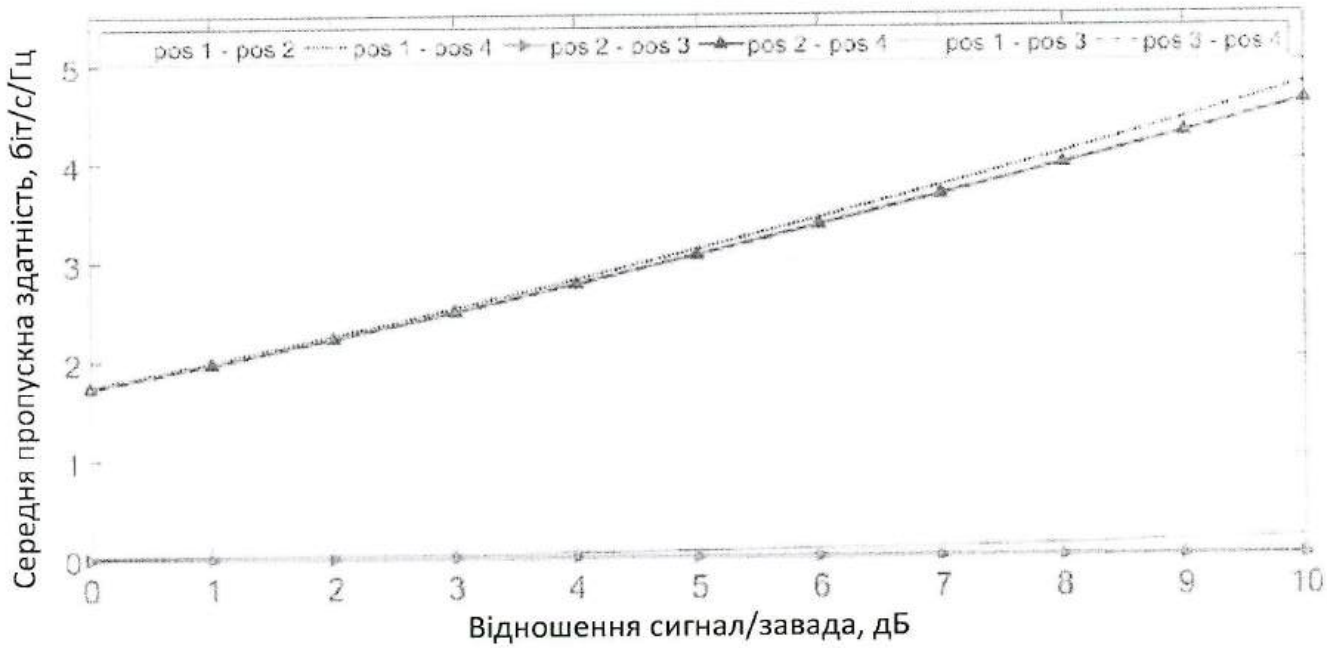


Рис. 3.15. Ємність MIMO 2 X 2 як функція SNR при 9 ГГц

У розділі представлено нову розробку антени з шестигранною формою UWB, яка була розміщена на VR-шоломі. Нова антена має смугу пропускання 8 ГГц, що охоплює від 4 до 12 ГГц з точки зору коефіцієнта відбиття нижче - 6 дБ. Порівняння між плоскою та криволінійною антенами показало незначні зміни

характеристик. Більше того, ефект гуми на антену значно менший, ніж вплив пластикового корпусу. Порівнявши чотири положення антен на VR-шоломі, результати довели, що положення 3 є найкращим з точки зору коефіцієнта відбиття. Крім того, результати дослідження рівня підсилення показали різні варіації, засновані на положенні антен на VR-шоломі. Отже, позиція 4 перевершила решту позицій з точки зору абсолютного підсилення та горизонтальної поляризації, і оцінка різноманітності положень показала, що пара позицій 1 та 4 антени є найбільш зручною. Нарешті, результати моделювання MIMO показали, що з точки зору пропускної здатності антени в положеннях 1 і 4 показали найкращі характеристики.

ВИСНОВКИ

В роботі досягнуто таких результатів:

1. У першому розділі виконано аналіз розвитку технологій доповненої та віртуальної реальності, показано що:

Імерсивні технології доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) зазвичай йдуть рука об руку, але там, де AR дійсно фокусується на реальності та віртуальній інформації, представленій над реальністю, VR базується на віртуальних даних як на головному фокусі, занурюючи користувача в середина віртуального середовища синтетичної реальності.

Віртуальна реальність - це реальне або уявне середовище, яке було зафіксовано або створено для інтерактивного або пасивного відтворення на гарнітурі, що носяться. Через гарнітуру або головний пристрій можливо отримати доступ до середовища віртуальної реальності. На сьогоднішній день найгарніший та реалістичний досвід VR забезпечується гарнітурами, оскільки вони повністю закривають користувача у віртуальний світ. Існують інші технології віртуальної реальності, яким гарнітура не потрібна, щоб забезпечити досвід віртуальної реальності, наприклад, проекційні стіни та звичайні екрани з віртуальними платформами, але вони не досягають такого відчуття присутності, як гарнітура VR.

2. У другому розділі показано роль технологій 5 покоління в розвитку віртуальної реальності, показано що:

Завдяки агрегації несучих частот, використанню MIMO і Beamforming в 5G збільшується швидкість та якість інтернет з'єднання з абонентом.

Зараз ми на межі впровадження швидкої, ніж будь-коли раніше, мережевої інфраструктури 5G, яка пропонує життєво важливі наслідки для досягнення майбутніх років у Розширеній реальності. Хоча сьогодні численні програми та адміністрації всередині всесвіту XR дуже потрібні гаджету та системі, збірка не надто далека від точки зору гаджета, так само значні відкриті двері завдяки розв'язуванню за допомогою 5G та Mobile Edge Computing. Завдяки розширеній

мобільній широкосмуговій мережі з 5G ми зможемо забезпечити покращений досвід XR завдяки збільшеній пропускній здатності, меншій затримці та рівномірному досвіду.

3. У третьому розділі представлено нову розробку антени з шестигранною формою UWB, яка була розміщена на VR-шоломі. Нова антена має смугу пропускання 8 ГГц, що охоплює від 4 до 12 ГГц з точки зору коефіцієнта відбиття нижче - 6 дБ. Порівняння між плоскою та криволінійною антенами показало незначні зміни характеристик. Більше того, ефект гуми на антену значно менший, ніж вплив пластикового корпусу. Порівнявши чотири положення антен на VR-шоломі, результати довели, що положення 3 є найкращим з точки зору коефіцієнта відбиття. Крім того, результати дослідження рівня підсилення показали різні варіації, засновані на положенні антен на VR-шоломі. Отже, позиція 4 перевершила решту позицій з точки зору абсолютного підсилення та горизонтальної поляризації, і оцінка різноманітності положень показала, що пара позицій 1 та 4 антени є найбільш зручною. Результати моделювання MIMO показали, що з точки зору пропускної здатності антени в положеннях 1 і 4 показали найкращі характеристики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Віртуальна реальність [Електронний ресурс] IT-Enterprise // - Режим доступу: https://www.it.ua/com/knowledge-base/technology-innovation/virtual'na-real'nist' (дата звернення: 25.10.2023).

2. Nokia stops building its OZO Professional Virtual Reality Camera. [Електронний ресурс] Nokia // Allard M. - Режим доступу: https://www.newsshooter.com/2017/10/11/nokia-kills-off-its-ozo-profes-sional-virtual-reality-camera/ (дата звернення: 25.10.2023).

3. Towards interconnected Virtual Reality: Opportunities, Challenges and Enablers [Електронний ресурс] // Bastug E., Bennis M., Medard M., Debbah M. - Режим доступу: https://arxiv.org/pdf/1611.05356.pdf (дата звернення: 25.10.2023).

4. 5 Trends Appear on the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. [Електронний ресурс] Gartner // Panetta K. - Режим доступу: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/ (дата звернення: 26.10.2023).

5. 5 Trends Appear on the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2020. [Електронний ресурс] Gartner // Panetta K. - Режим доступу: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020/ (дата звернення: 26.10.2023).

6. VR / AR Industry of Finland. [Електронний ресурс] Business Finland 2017 // - Режим доступу: https://www.businessfinland.fi/conten-tassets/f5de924989fc4708b447fd9b805ce7b2/tekes_fivr_ar_vr_esite_web_300_high.pdf (дата звернення: 26.10.2023).

7. Digitalisaation mahdollisuudet palvelumuotoilussa [Електронний ресурс] University of Jyväskylä // Clements K. - Режим доступу: https://www.jyu.fi/digipolku/materiaalipankki/kati-clements_digi-talisaatio_palvelumuotoilussa.pdf (дата звернення: 26.10.2023).

8. Simulator sickness: A problem for Army Aviation - Aviation, Space, and Environmental Medicine [Електронний ресурс] // Crowley J. - Режим доступу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3579825. (дата звернення: 26.10.2023).

9. CSE Entertainment [Електронний ресурс] CSE Entertainment Oy 2019 // - Режим доступу: https://cse.fit-ness/en/aboutus/ (дата звернення: 01.11.2023).

10. Haptic Technology: an animated explanation. [Електронний ресурс] // Robles De-La-Torre G. - Режим доступу: https://web.archive.org/web/20100307033200/ (дата звернення: 01.11.2023).

11. Google Earth VR [Електронний ресурс] Google // - Режим доступу: https://arvr.google.com/earth/ (дата звернення: 01.11.2023).

12. 5G - Fifth generation of mobile technologies [Електронний ресурс] // ITU – Режим доступу: https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx (дата звернення: 05.11.2023).

13. Технічні, нормативно-правові та економічні аспекти впровадження технологій мобільного зв'язку 4-го (4G) та 5-го (5G) поколінь [Електронний ресурс] О.П. Проживальський // ITU – Режим доступу: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2016/11_Kiev/Oleg%20Prozhivalsky.pdf (дата звернення: 05.11.2023).

14. Ahmadi S. LTE-Advanced: A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access Technologies. – Academic Press, 2018. – 1152 p.

15. Release 16 3GPP [Електронний ресурс] // 3GPP – Режим доступу: http://www.3gpp.org/specifications/releases/70-release-10 (дата звернення: 05.11.2023).

16. LTE Physical Layer Overview [Електронний ресурс] // Keysight – Режим доступу: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/ subsystems /lte/content/lte_overview.htm (дата звернення: 05.11.2023).

17. Картографічний сайт WorldTimeZone [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.worldtimezone.com/ (дата звернення: 05.11.2023).

18. Huawei Technologies 2017b. Huawei iLab: Cloud VR is the Best Choice of VR Develop-ment. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.huawei.com/en/press-events/events/ubbf2017/hw-ilab-cloud-vr-the-best (дата звернення: 10.11.2023).

19. International Health, Racquet and Sportsclub Association 18 April 2016. Health clubs use Net Promoter Score to improve member experience. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.ihrsa.org/improve-your-club/health-clubs-use-net-promoter-score-to-improve-member-experience/ (дата звернення: 10.11.2023).

20. International Health, Racquet and Sportsclub Association 30 September 2019. Report: Health Club, Gym, & Studio Usage Reach All-Time High. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.ihrsa.org/about/media-center/press-releases/report-health-club-gym-studio-usage-reach-all-time-high/ (дата звернення: 10.11.2023).

21. Kim, H., Jeong, H., Baddar, W., Ro, Y. & Lim, H. 10 November 2017. Measurement of ex-ceptional motion in VR video contents for VR sickness assessment using deep convolu-tional autoencoder. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1804/1804.03939.pdf (дата звернення: 10.11.2023).

22. Konami Digital Entertainment 2016. Dance Dance Revolution Product information. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.konami.com/games/asia/en/products/ddr_a/ (дата звернення: 10.11.2023).

23. New Generation Applications Pvt Ltd 19 February 2018. How VR Works? Know The Technology Behind Virtual Reality. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.newgenapps.com/blog/how-vr-works-technology-behind-virtual-reality (дата звернення: 10.11.2023).

24. Orlosky, Kiyokawa & Takemura 18 February 2017. Virtual and Augmented Reality on the 5G Highway. Journal of Information Processing Vol.25. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/313739443_Virtual_and_Augmented_Reality_on_the_5G_Highway (дата звернення: 15.11.2023).

25. Reichheld, F. 2011. The Ultimate Question 2.0. Harvard Business Review Press. Sethumadhavan, A. 8 December 2017. Designing wearables that users will wear. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1064804617747254 (дата звернення: 15.11.2023).

26. Tefficient AB 2018. Public analysis on the development and drivers of mobile data. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://tefficient.com/wp-content/uploads/2018/09/tefficient-industry-analysis-2-2018-mo-bile-data-usage-and-revenue-FY-2017-1H-2018-per-operator-8-Sep.pdf (дата звернення: 15.11.2023).

27. Virtual Reality Society 2016. History of Virtual Reality. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html (дата звернення: 15.11.2023).

28. N. Athwal, "Council Post: The Rise Of Virtual Reality In Real Estate", Forbes.com, 2019. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.forbes.com/sites/forbesrealestatecouncil/2017/06/13/the-rise-ofvirtual-reality-in-real-estate/#20ee9561989b. (дата звернення: 15.11.2023).

29. A. Klubnikin, "Augmented Reality in Healthcare: Benefits Get Real", Medium, 2019. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://medium.com/@andrei.klubnikin/augmented-reality-in-healthcarebenefits-get-real-7c4ea066a76e. (дата звернення: 15.11.2023).

30. N. Baird, "What Consumer Adoption Of Augmented Reality Means For Retail", Forbes.com, 2019. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.forbes.com/sites/nikkibaird/2019/03/20/what-consumer-adoptionof-augmented-reality-means-for-retail/#5a0699a84624. (дата звернення: 20.11.2023).

31. T. Joseph, "How Is Augmented Reality Reshaping Travel and Tourism Fingent Blog", Fingent Blog, 2019. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.fingent.com/blog/how-is-augmented-reality-reshaping-travel-andtourism. (дата звернення: 20.11.2023).

32. CST STUDIO SUITE 2020 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.3ds.com/com/produkty-i-uslugi/simulia/produkty/cst-studio-suite/novyi-vypusk/ (дата звернення: 20.11.2023).

33. Chen, X., P. S. Kildal, and J. Carlsson, \Simple calculation of ergodic capacity of lossless two-port antenna system using only S-parameters-comparison with common Z-parameter approach," 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), 1885-1888, IEEE, Jul. 2011.

34. Wu, Y., J. P. Linnartz, J. W. M. Bergmans, and S. Attallah, Effects of antenna mutual coupling on the performance of MIMO systems," 29th Symposium on Information Theory inthe Benelux, 1-8, May 2020.

35. Kildal, P. S. and K. Rosengren, Correlation and capacity of MIMO systems and mutual coupling, radiation effciency, and diversity gain of their antennas: Simulations and measurements in a reverberation chamber," IEEE Communications Magazine, Vol. 42, No. 12, 104-112, 2019. (дата звернення: 25.11.2023).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Презентація по магістерській роботі на тему:

РОЗРОБКА 5G MIMO-АНТЕНИ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Студента
Алєксєєнка Сергія Романовича

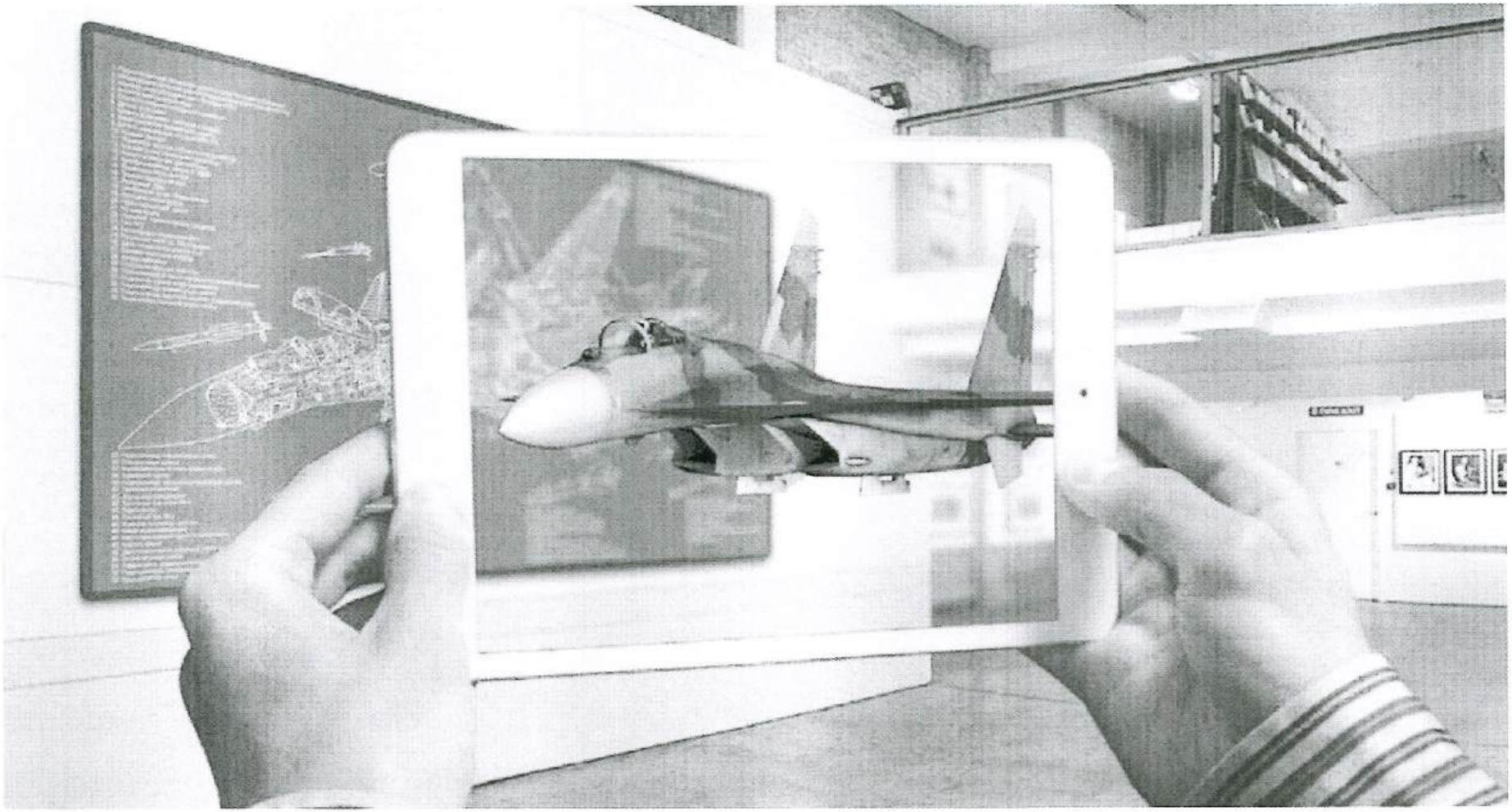
Об'єкт, Предмет, Мета роботи

Об'єкт дослідження – процес безпроводового доступу в мережах LTE пристроїв віртуальної реальності.

Предмет дослідження – методи впровадження віртуальної реальності на основі технологій п'ятого покоління.

Мета роботи – дослідження методів впровадження віртуальної реальності на основі технологій п'ятого покоління та розробка 5G антени для пристроїв що її реалізують.

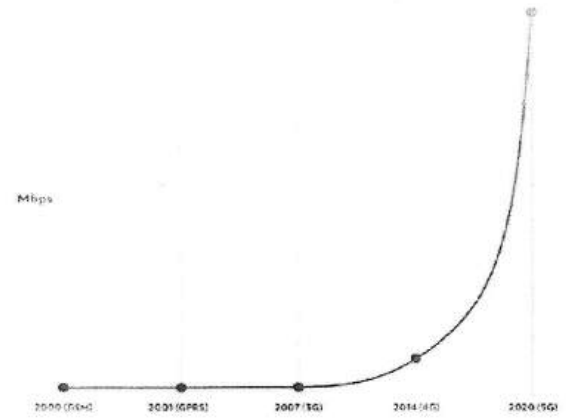
Доповнена реальність



Віртуальна реальність



Швидкості в епоху 5G



2 Мбіт/с
Відеоконференції

Від 5 до 25 Мбіт/с
Двостороння телеприсутність

Від 50 до 200 Мбіт/с
360° відео наступного покоління (8K, стереоскопічність)

Пропускна здатність

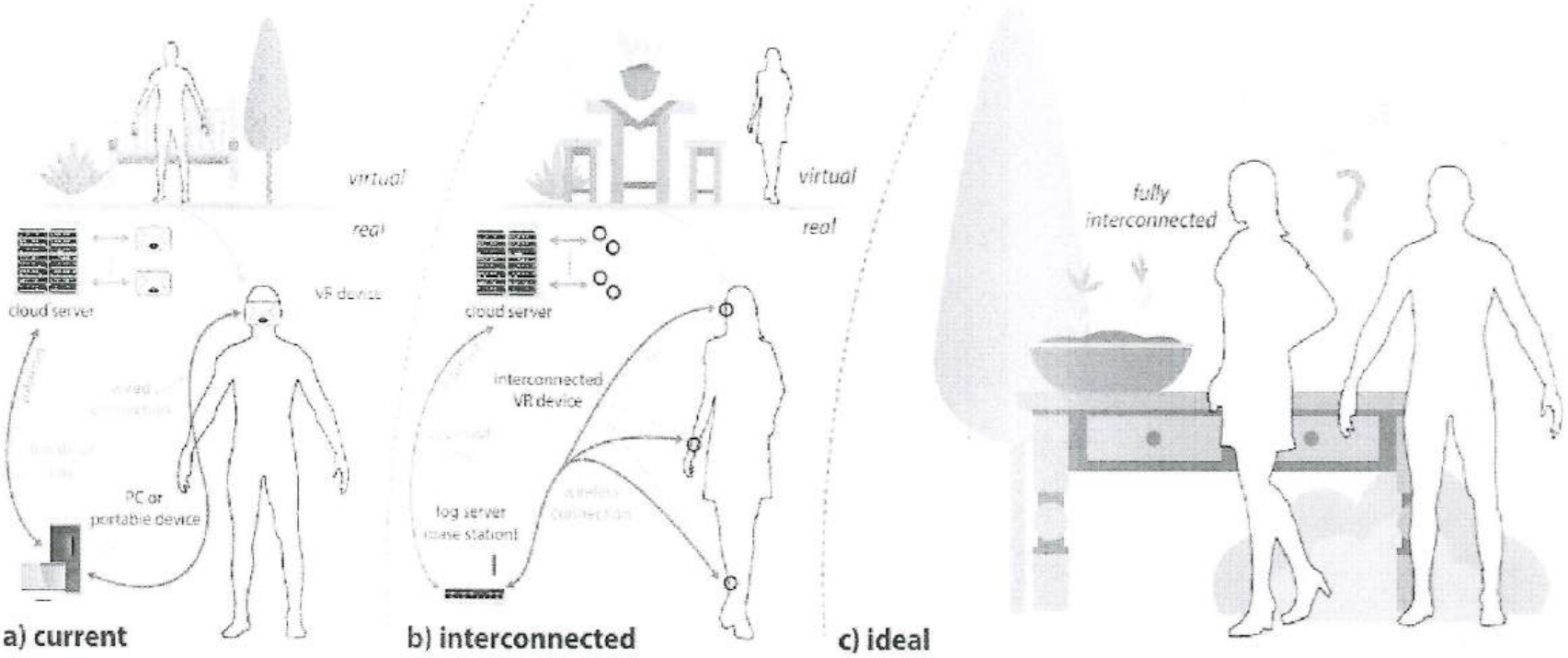
1 Мбіт/с
Завантаження зображень та робочий процес

Від 2 до 20 Мбіт/с
3D модель та візуалізація даних

Від 10 до 50 Мбіт/с
поточного покоління 360° відео (4K)

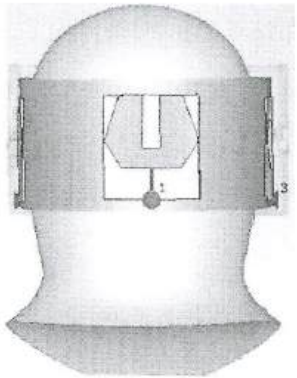
Від 200 до 5000 **Мбіт/с**
6 рівнів свободи

Етапи розвитку VR

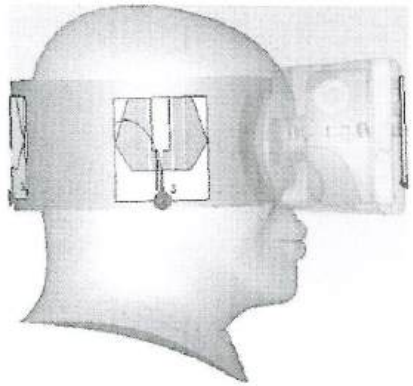


сучасність майбутнє ідеальна VR

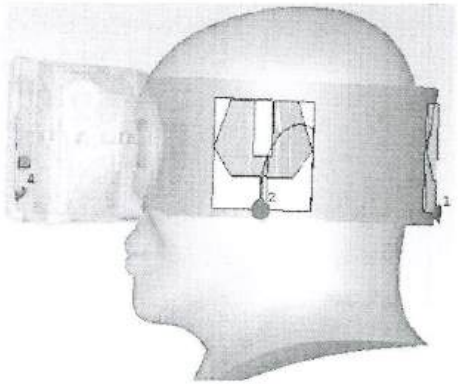
Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності



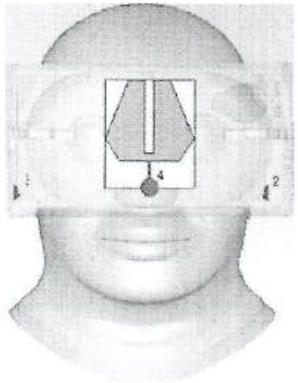
Позиція 1



Позиція 2



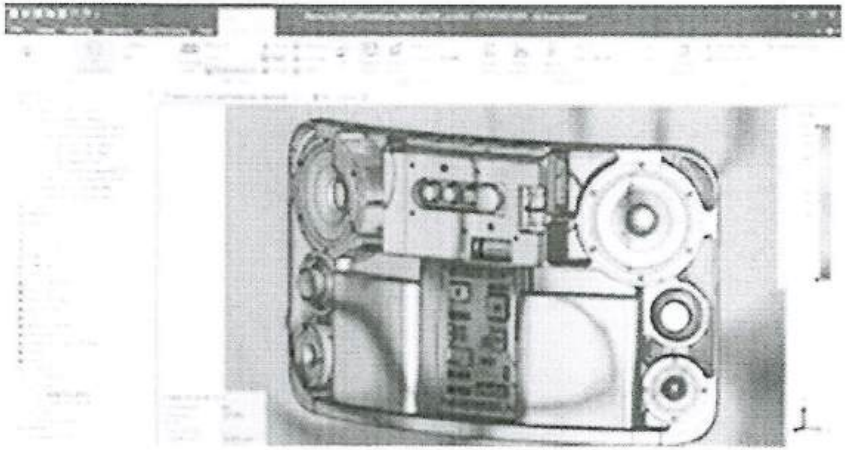
Позиція 3

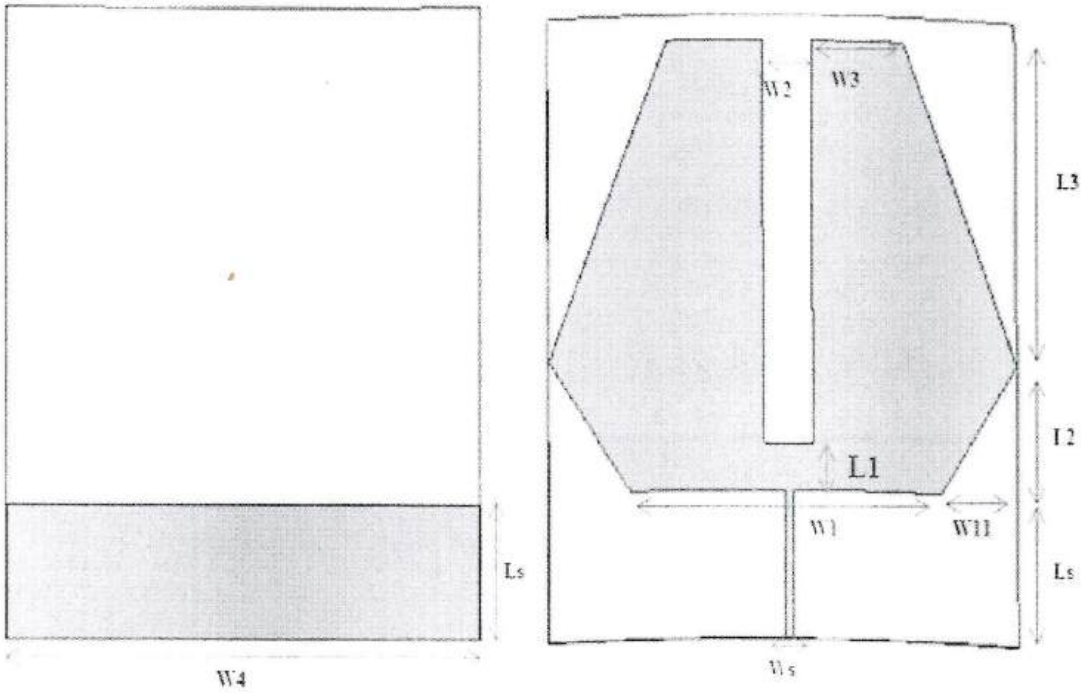


Позиція 4

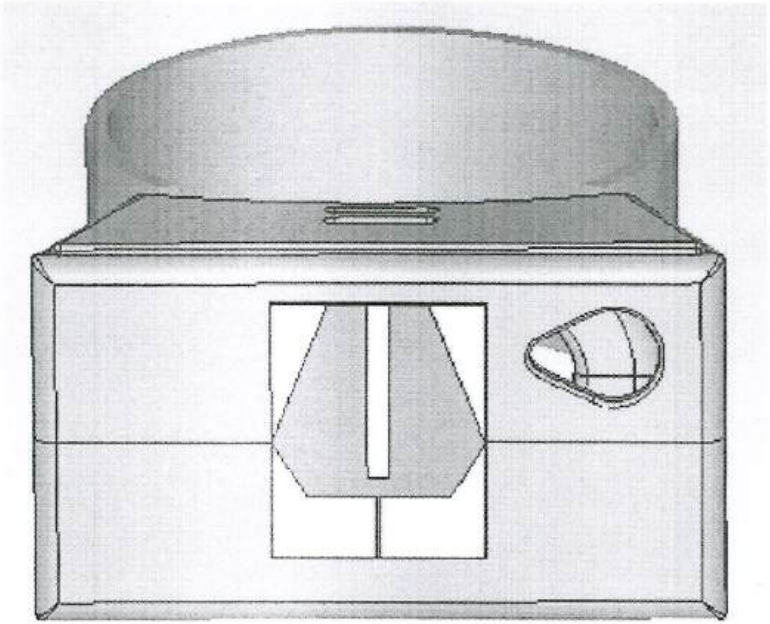
Положення антен в VR-гарнітурі

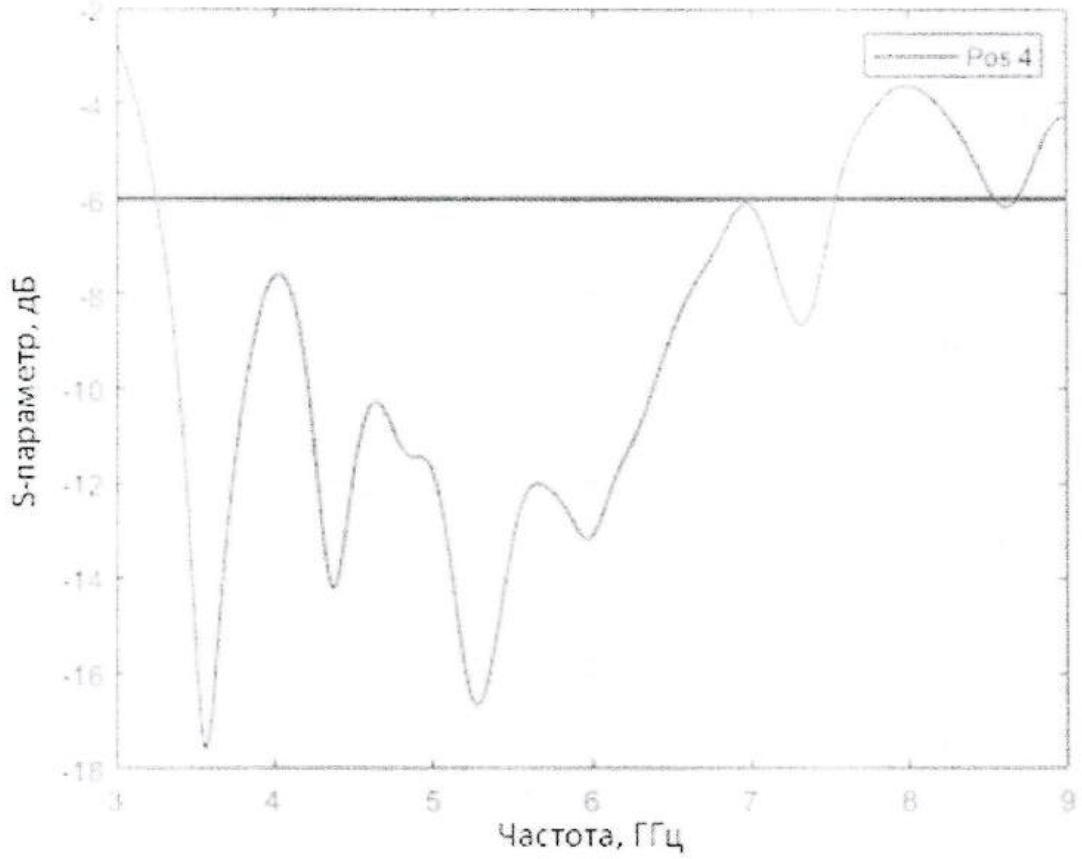
ПЗ CST STUDIO SUITE 2020





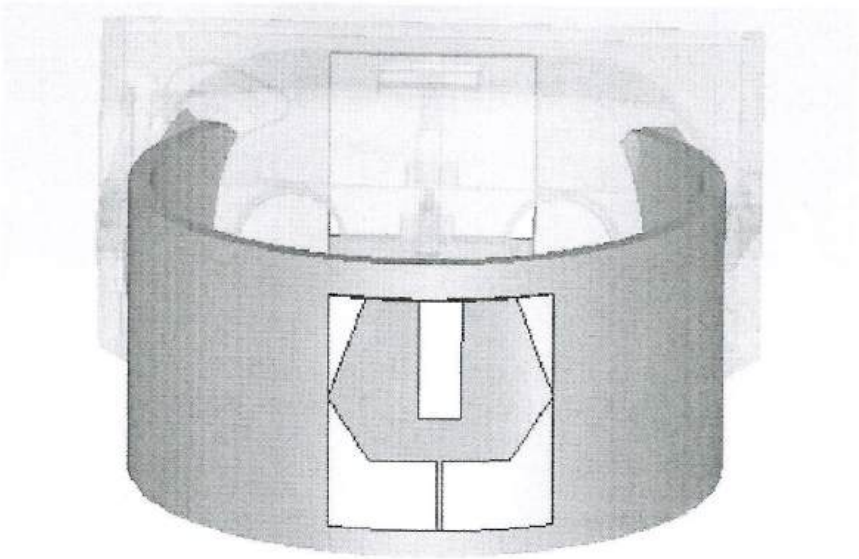
Антена на пластиковому футлярі VR

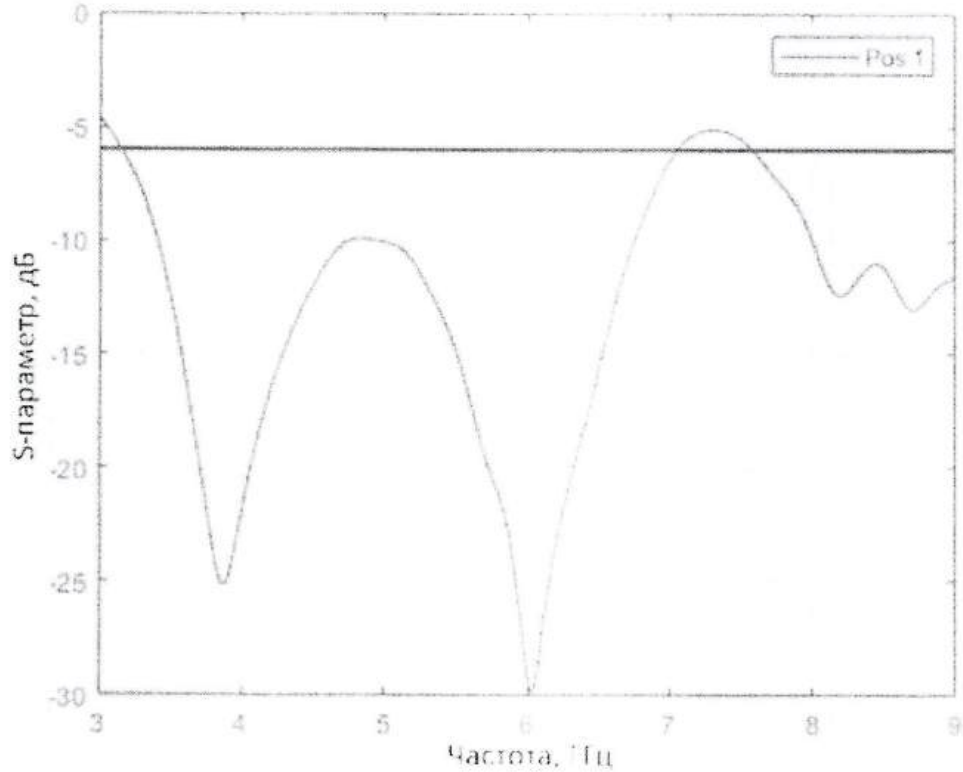




Коефіцієнт відбиття

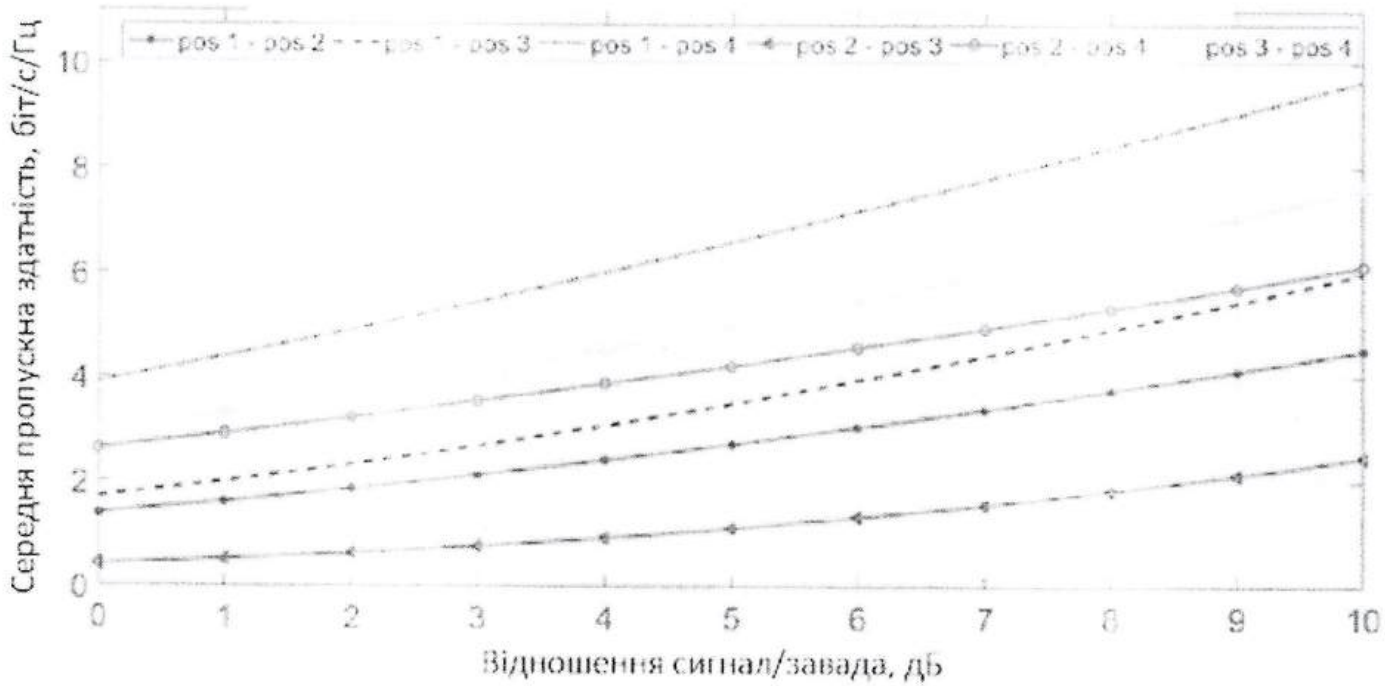
Антена на гумовому утримувачі VR



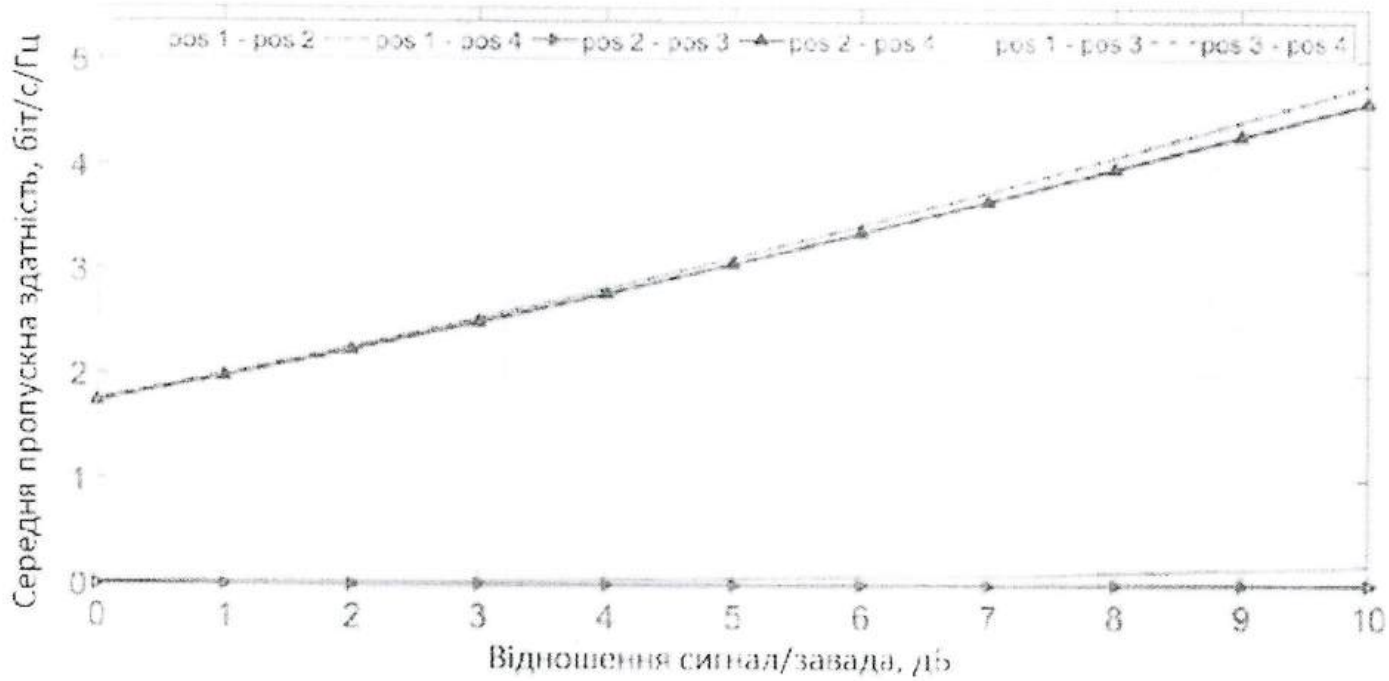


Коефіцієнт відбиття

Середня пропускна здатність на частоті 3 ГГц



Середня пропускна здатність на частоті 9 ГГц



Висновки

У першому розділі виконано аналіз розвитку технологій доповненої та віртуальної реальності.

Показано, що віртуальна реальність - це реальне або уявне середовище, яке було зафіксовано або створено для інтерактивного або пасивного відтворення на гарнітурі, що носяться.

У другому розділі показано роль технологій 5 покоління в розвитку віртуальної реальності. Завдяки розширеній мобільній широкосмуговій мережі з 5G ми зможемо забезпечити покращений досвід VR завдяки збільшеній пропускній здатності, меншій затримці та рівномірному досвіду.

У третьому розділі представлено нову розробку антени з шестигранною формою, яка була розміщена на VR-шоломі. Нова антена має смугу пропускання 20 МГц, і охоплює частоту від 4 до 12 ГГц з точки зору коефіцієнта відбиття нижче - 6 дБ.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Сергій АЛЄКСЄЄНКО

Назва: Розробка 5G MIMO-антени для пристроїв віртуальної реальності

Координатор: Анатолій МАКАРЕНКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :11.6

Коефіцієнт подібності 2 :7.2

Тривога: 1

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

....

Дата *Підпис Наукового керівника*