

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет інформаційних технологій

УДК 004.4:004.8

«ПОГОДЖЕН  
О»

Декан факультету  
інформаційних технологій

Болбот І. М., д.п.н., професор

«ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри  
комп'ютерних наук

Голуб Б.Л., к.т.н.,

доцент

\_\_\_\_\_ 2024 р.

\_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему** Програмне забезпечення підтримки віртуальної та доповненої реальності в ігровій розробці з урахуванням апаратних обмежень

Спеціальність 121 «Інженерія програмного забезпечення»

(код і назва)

Освітня програма Програмне забезпечення інформаційних систем

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Міловідов Ю.О.  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Савчук І.М.

\_\_\_\_\_ (ПІБ студента)

КИЇВ-2024

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ .....	11
1.1 Визначення віртуальної та доповненої реальності.....	11
1.2 Використання VR та AR у ігровій індустрії.....	11
1.3 Технічні складові VR/AR і апаратні обмеження.....	12
1.4 Загальні поняття про технології підтримки VR/AR у ігровій розробці .....	14
1.5 Використання текстур, моделей та шейдерів у VR/AR.....	18
1.6 Аналіз існуючих рішень та їх недоліків.....	23
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ .....	28
2.1 Аналіз методологій системного аналізу для VR/AR .....	28
2.2 Загальні відомості про моделювання VR/AR систем.....	32
2.3 Огляд інструментів для реалізації завдань Data Mining.....	36
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ .....	41
3.1 Діаграма прецедентів.....	41
3.2 Об'єктно-орієнтована архітектура системи.....	42
3.3 База даних.....	46
3.4 Структура сховища даних .....	49

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	54
4.1 Результати аналізу активності гравців .....	54
4.2 Звіт про продуктивність конфігурацій систем .....	56
4.3 Звіт про тривалість взаємодії з AR/VR .....	60
4.4 Звіт про використання AR/VR взаємодії в іграх за жанрами .....	62
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	69

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

**VR (Virtual Reality)** – віртуальна реальність, створення штучного середовища, яке повністю ізольоване від фізичного світу.

**AR (Augmented Reality)** – доповнена реальність, технологія, що додає цифрові об'єкти до фізичного світу.

**MR (Mixed Reality)** – змішана реальність, поєднання віртуальної та доповненої реальності.

**XR (Extended Reality)** – розширена реальність, узагальнений термін для VR, AR і MR.

**ETL (Extract, Transform, Load)** – процес вилучення, перетворення і завантаження даних.

**1-Rule** – алгоритм класифікації, що використовує одну найважливішу змінну.

**Naive Bayes** – алгоритм класифікації, що базується на ймовірнісній теорії Байєса.

**Apriori** – алгоритм пошуку асоціативних правил у великих наборах даних.

**K-Means** – алгоритм кластеризації, що групує дані за схожістю.

**Decision Tree (DT)** – метод машинного навчання для класифікації та прогнозування.

**Game Assets** – ресурси ігрових проєктів, зокрема 3D-моделі, текстури, звуки, анімації.

**LOD (Level of Detail)** – рівні деталізації об'єктів, що використовуються для оптимізації графіки.

**Шейдер** — програма, яка виконується на графічному процесорі (GPU) і використовується для обробки візуальних ефектів у комп'ютерній графіці. Основне завдання шейдерів — обробка геометрії сцени, кольорів, освітлення, текстур та інших графічних параметрів для створення візуального вигляду об'єктів у реальному часі.

**Session Metrics** – метрики взаємодії користувачів з грою: FPS, час завантаження, тривалість сесії.

**Hardware Profiles** – профілі апаратного забезпечення, що описують його технічні характеристики.

**Unreal Engine 5** – сучасний ігровий рушій для створення високоякісних інтерактивних додатків.

**Unity** – популярний рушій для розробки ігор з підтримкою VR/AR.

**OpenXR** – відкритий стандарт для створення XR-додатків.

**WebXR** – технологія для розробки VR/AR контенту для браузерів.

**SDK (Software Development Kit)** – набір інструментів для розробки програмного забезпечення.

**OLAP (Online Analytical Processing)** – технології аналізу великих обсягів багатовимірних даних.

**Data Mining** – процес виявлення шаблонів та закономірностей у великих обсягах даних.

**KPI (Key Performance Indicators)** – ключові показники ефективності, що використовуються для оцінки результатів.

**NVIDIA GeForce RTX** – лінійка відеокарт із високою продуктивністю для ігор і VR/AR.

**AMD Radeon RX** – серія відеокарт, оптимізованих для роботи з графікою та іграми.

**Intel Iris Xe** – графічний процесор, інтегрований у процесори Intel.

**FPS (Frames Per Second)** – кількість кадрів за секунду, показник плавності графіки.

**Latency** – затримка між діями користувача та реакцією системи.

**Load Time** – час завантаження ігрового середовища.

**FOV (Field of View)** – кут огляду в іграх або VR/AR.

**Rendering** – процес створення фінального зображення з 3D-моделі.

**Sandbox** – ігри з відкритим світом та високою свободою дій.

**Action RPG** – рольові ігри з елементами динамічного бою.

**FPS (First-Person Shooter)** – шутери від першої особи.

**Adventure** – пригодницькі ігри з акцентом на дослідження та сюжет.

**HMD (Head-Mounted Display)** – гарнітура для перегляду VR/AR-контенту.

## ВСТУП

У сучасному світі технології віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) стрімко змінюють підходи до ігрової розробки, відкриваючи нові горизонти для інтерактивності, занурення та креативності. Ігрова індустрія стала однією з найдинамічніших сфер використання VR/AR, що дозволяє не лише розважати користувачів, але й забезпечувати унікальні освітні, комерційні та соціальні можливості. Проте, із зростанням масштабів VR/AR-проектів виникають нові виклики, серед яких ключову роль відіграють апаратні обмеження сучасних пристроїв.

Завдяки широкому використанню різних платформ — від настільних комп'ютерів та ігрових консолей до мобільних пристроїв та гарнітур віртуальної реальності — розробники стикаються з необхідністю оптимізації ігрового середовища для забезпечення високої продуктивності, стабільності та якості візуалізації. Це особливо актуально для інтерактивних VR/AR-додатків, де кожна затримка, нестача продуктивності чи низька якість графіки можуть значно вплинути на досвід користувача.

Ця робота присвячена дослідженню, розробці та впровадженню програмного забезпечення підтримки VR/AR у ігровій розробці з урахуванням обмежень апаратного забезпечення. Основним завданням є розробка рішень, які дозволять оптимізувати ігрові продукти для різноманітних платформ, враховуючи їх технічні характеристики, такі як продуктивність графічних процесорів, об'єм оперативної пам'яті та швидкість завантаження.

Особливу увагу приділено використанню сучасних технологій, включаючи алгоритми класифікації (1-Rule, Naive Bayes), методи пошуку асоціативних

правил, побудову OLAP-кубів, а також інструменти інтеграції та аналізу даних, такі як SSIS та SSAS. Завдяки цим технологіям можна досягти ефективного управління ігровими ресурсами та створення оптимальних рішень для забезпечення плавного геймплею навіть на платформах із обмеженими ресурсами .

**Актуальні проблеми.** Основними проблемами, які стоять перед розробниками VR/AR-ігор, є:

- Нерівномірність продуктивності на різних пристроях через апаратні відмінності.
- Високі вимоги до обчислювальних ресурсів, що ускладнює використання VR/AR-додатків на мобільних пристроях та старших комп'ютерах.
- Відсутність єдиної платформи для оптимізації та тестування, що змушує розробників адаптуватися під кожен окрему платформу.

Ці проблеми вимагають впровадження інноваційних рішень для оптимізації ігрових об'єктів, структури даних, механізмів візуалізації та процесів передачі інформації. Наприклад, оптимізація текстур, зменшення полігональності моделей, адаптація рівнів деталізації (LOD) під різні пристрої є ключовими аспектами забезпечення якості VR/AR-середовищ.

**Постановка завдання для магістерської роботи.** Сучасні технології віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) активно інтегруються в ігрову індустрію, пропонуючи користувачам унікальний досвід занурення у віртуальний світ та взаємодії з цифровими елементами в реальному просторі. Проте розвиток цих технологій стикається з низкою викликів, серед яких найбільш критичним є

оптимізація роботи VR/AR-додатків для пристроїв із обмеженими обчислювальними ресурсами.

Згідно з результатами попередніх досліджень та аналізу існуючих рішень, забезпечення стабільної продуктивності VR/AR-додатків в умовах різноманітних апаратних платформ потребує комплексного підходу. Це включає впровадження адаптивних методів оптимізації, інструментів аналізу даних, а також інтеграцію алгоритмів класифікації для автоматичного налаштування параметрів гри.

**Мета роботи.** Розробка програмного забезпечення для підтримки VR/AR-додатків з урахуванням апаратних обмежень, що дозволить:

1. Забезпечити оптимальну продуктивність на різних апаратних платформах.
2. Розширити доступність VR/AR-ігор для користувачів із пристроями середнього та низького класу.
3. Автоматизувати процеси аналізу та оптимізації продуктивності ігрових середовищ.

#### **Завдання дослідження**

1. Дослідити ігрові рушії (Unreal Engine, Unity) з акцентом на їхні інструменти для оптимізації графіки.
2. Вивчити SDK (OpenXR, ARKit, ARCore) для забезпечення кросплатформності.
3. Впровадити алгоритми 1-Rule та Naive Bayes для класифікації продуктивності апаратного забезпечення.
4. Розробити методи автоматичного налаштування рівня деталізації графіки (LOD) залежно від характеристик пристрою.
5. Використовувати OLAP-технології для аналізу метрик продуктивності, таких як FPS, час завантаження, тривалість сесій.

6. Реалізувати механізми збору, обробки та візуалізації даних про використання ресурсів у ігрових сесіях.
7. Створити структуру сховища даних для зберігання та аналізу інформації про апаратне забезпечення, ігрові сесії, продуктивність.
8. Побудувати платформу для діагностики продуктивності VR/AR-додатків на різних пристроях.
9. Забезпечити автоматизацію виявлення та усунення проблем, пов'язаних із апаратними обмеженнями.

### **Очікувані результати**

1. Створення програмного забезпечення, яке дозволить оптимізувати VR/AR-додатки для різних апаратних платформ, забезпечуючи їхню стабільну роботу.
2. Розробка універсальної системи тестування та налаштування, що стане інструментом для розробників ігрового контенту.
3. Зниження витрат на розробку та підтримку VR/AR-додатків завдяки автоматизації процесів оптимізації та аналізу.

### **Наукова новизна.**

Наукова новизна роботи полягає в інтеграції сучасних алгоритмів аналізу даних, адаптивних методів оптимізації графіки та OLAP-технологій у розробку програмного забезпечення для VR/AR. Запропоновані рішення забезпечать стабільну продуктивність навіть у складних умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Визначення віртуальної та доповненої реальності.

Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) є технологіями, що докорінно змінюють спосіб взаємодії користувачів з цифровим контентом. Віртуальна реальність створює ілюзію повного занурення в комп'ютерно генероване середовище, повністю ізолюючи користувача від фізичного світу. Це досягається за допомогою спеціального обладнання, такого як гарнітури VR, контролери руху та трекери положення.

Доповнена реальність, на відміну від VR, накладає цифрові об'єкти на фізичний світ, дозволяючи користувачам взаємодіяти як із реальним середовищем, так і з його віртуальним доповненням. AR використовує камери, дисплеї, датчики та алгоритми для інтеграції цифрових елементів у реальний простір.

## 1.2 Використання VR та AR у ігровій індустрії

Ігрова індустрія є однією з найбільших сфер застосування VR/AR. Ці технології дозволяють створювати ігрові сценарії з високим рівнем занурення, що значно розширює можливості для користувачів.

### **Серед переваг використання VR/AR у іграх:**

1. **Повна інтерактивність.** Гравці можуть безпосередньо впливати на віртуальне середовище, використовуючи фізичні рухи.

2. **Занурення у гру:** VR дозволяє користувачам відчувати себе у центрі подій, наприклад, у середовищах бойових дій, відкритих світів або фантастичних локацій.
3. **Інноваційні механіки гри:** AR забезпечує використання реальних об'єктів у грі, таких як інтерактивні мапи чи навколишні елементи простору.

### **Популярні приклади**

**VR-ігри:** "Beat Saber", "Half-Life: Alyx" та "The Walking Dead: Saints & Sinners".

**AR-ігри:** "Pokémon Go", "Ingress" та "Minecraft Earth".

## **1.3 Технічні складові VR/AR і апаратні обмеження**

Створення VR/AR-додатків вимагає використання складного апаратного і програмного забезпечення, що включає:

### **1. Гарнітури VR/AR:**

- 1.1. Oculus Rift, HTC Vive, Sony PlayStation VR для VR.
- 1.2. Microsoft HoloLens, Magic Leap для AR.

### **2. Контролери та датчики:**

- 2.1. Ручні пристрої, які відстежують рухи рук (наприклад, Oculus Touch).
- 2.2. Трекери для точного позиціонування в просторі.

### **3. Програмні платформи:**

- 3.1. Unreal Engine 5 та Unity як основні рушії для створення ігор.

4. **SDK (Software Development Kit)** для гарнітур, такі як OpenXR, ARKit, ARCore.

Попри значний прогрес, VR/AR стикаються із серйозними технічними викликами. Основними з них є:

1. **Високі вимоги до продуктивності:**

- 1.1. Для забезпечення плавного зображення потрібен стабільний FPS (не менше 90 кадрів за секунду) і низький час затримки (менше 20 мс).
- 1.2. Висока роздільна здатність дисплея та деталізація графіки створюють додаткове навантаження на GPU.

2. **Обмеження обчислювальних ресурсів:**

- 1.3. Мобільні пристрої та старі моделі комп'ютерів часто не здатні ефективно обробляти великий обсяг графічних даних.
- 1.4. Низька продуктивність призводить до затримок, зниження якості графіки та навіть дискомфорту для користувача.

3. **Енергоспоживання:** Гарнітури VR/AR та мобільні пристрої швидко розряджаються під час роботи з такими додатками.

Щоб забезпечити якісну роботу VR/AR у ігрових додатках, використовуються наступні стратегії оптимізації:

1. **LOD (Level of Detail)** – зниження рівня деталізації об'єктів на віддалених ділянках сцени.
2. **Зменшення полігональності моделей** – використання більш простих геометричних форм без втрати візуальної якості.

3. **Компресія текстур** – стиснення графічних ресурсів для зменшення навантаження на GPU.
4. **Динамічна адаптація графіки** – алгоритми, що автоматично підлаштовують якість графіки під обчислювальні можливості пристрою.

Застосування VR/AR у ігровій розробці набуває популярності, але зростає й потреба у науковому підході до вирішення проблем оптимізації. Впровадження алгоритмів класифікації, асоціативного аналізу та прогнозування, таких як 1-Rule, Naive Bayes, OLAP-куби, дозволяє:

1. **Аналізувати продуктивність** і виявляти проблеми в ігрових сесіях.
2. **Прогнозувати вплив змін** у графіці або механіках на продуктивність.
3. **Створювати багатоплатформні рішення** для різних класів пристроїв.

Таким чином, предметна область VR/AR розробки потребує постійних досліджень для вирішення викликів, пов'язаних з апаратними обмеженнями, що робить цю тему вкрай актуальною для сучасної ігрової індустрії.

## **1.4 Загальні поняття про технології підтримки VR/AR у ігровій розробці**

Графіка у VR (віртуальній реальності) та AR (доповненій реальності) відіграє ключову роль у створенні занурюючого досвіду користувача. Високоякісне зображення, що відповідає реальності або створює її ілюзію, значно підвищує залучення гравців і ефективність VR/AR-додатків. Проте проектування графіки для VR/AR значно ускладнюється через високу залежність від апаратних ресурсів і потребу в дотриманні низьких затримок.

### **Основні особливості графіки у VR/AR**

## 1. Високий рівень деталізації:

- У VR важливо створювати середовища з максимальною реалістичністю. Кожен елемент – текстури, світло, шейдери – має виглядати природно.
- У AR деталізація доповнених об'єктів має гармоніювати з реальним світом.

## 2. Висока частота кадрів (FPS):

- Для уникнення запаморочення або дискомфорту користувачів VR/AR-додатки повинні працювати з частотою кадрів не менше 90 FPS. Це вимагає значної оптимізації графіки та ефективного використання ресурсів GPU.

## 3. Широкий кут огляду (FOV):

- У VR графіка повинна охоплювати весь кут зору користувача, зазвичай 100–120°. Це створює додаткове навантаження на обчислювальні ресурси.

## 4. Роздільна здатність і рендеринг:

- Роздільна здатність дисплея гарнітури VR має бути високою, щоб уникнути ефекту "сітки" (screen door effect).
- У AR важливо, щоб віртуальні об'єкти відображалися чітко та без розмиття, незалежно від умов освітлення.

## 5. Низька затримка (Latency):

- Затримка між діями користувача та реакцією системи повинна бути мінімальною (менше 20 мс). Це досягається оптимізацією графічних процесів і програмного забезпечення.

## 6. Реалістичне освітлення:

- У VR використовуються динамічні джерела світла, шейдери та глобальне освітлення для реалістичного вигляду.
- У AR освітлення має враховувати реальні умови, щоб віртуальні об'єкти виглядали природно.

## **Методи оптимізації графіки для VR/AR**

### **1. LOD (Level of Detail):**

- Використання рівнів деталізації для зменшення складності моделей об'єктів, які знаходяться далеко від користувача.

### **2. Компресія текстур:**

- Зменшення розміру текстур без втрати якості, що дозволяє зменшити використання GPU і пам'яті.

### **3. Застосування шейдерів:**

- Використання оптимізованих шейдерів для рендерингу реалістичних матеріалів без надмірного навантаження на графічний процесор.

### **4. Динамічне масштабування роздільної здатності:**

- Зниження роздільної здатності зображення у випадках високого навантаження на систему.

### **5. Попередній рендеринг:**

- Використання попередньо відрендерених текстур і об'єктів для зменшення навантаження на систему під час виконання.

### **6. Фільтрація та згладжування:**

- Використання алгоритмів фільтрації текстур (наприклад, анізотропна фільтрація) для покращення якості без значного впливу на продуктивність.

## **Проектування графіки з урахуванням апаратних обмежень**

### **1. Платформи з низькою продуктивністю:**

- Застосовуються більш прості моделі, текстури та шейдери.
- Обмежується кількість джерел світла та використання динамічних ефектів.

### **2. Потужні платформи:**

- Забезпечується максимальний рівень деталізації та використання реалістичних фізичних моделей.

### **3. Кросплатформність:**

- Розробники мають враховувати різні типи пристроїв (гарнітури VR, мобільні телефони, ПК), створюючи адаптивні моделі, які автоматично налаштовуються під потужність пристрою.

## **Інструменти для проектування графіки VR/AR**

### **1. Unreal Engine 5:**

- Підтримує технології Nanite для автоматичного управління рівнями деталізації та Lumen для глобального освітлення.
- Забезпечує інтеграцію з VR/AR SDK.

### **2. Unity:**

- Легкий рушій для розробки VR/AR-додатків, що підтримує мобільні платформи.
- Має гнучкі налаштування графіки та оптимізації.

### **3. Blender:**

- Інструмент для створення високоякісних 3D-моделей та текстур.
- Підтримує попередній рендеринг і оптимізацію об'єктів.

### **4. Substance Painter:**

- Використовується для створення текстур і матеріалів, які виглядають реалістично в VR/AR-середовищах.

## **Рекомендації для проектування графіки у VR/AR**

### **1. Дотримання балансу між якістю та продуктивністю:**

- Графіка повинна бути достатньо реалістичною, але не перевантажувати систему.

### **2. Оптимізація для цільової платформи:**

- Передбачення адаптивних рішень для роботи на різних пристроях.

### **3. Тестування на різних пристроях:**

- Забезпечення стабільної продуктивності та якості на всіх підтримуваних платформах.

Проектування графіки для VR/AR є складним, багатогранним процесом, який потребує врахування як технічних обмежень, так і вимог до якості. Ефективна оптимізація графіки дозволяє створювати занурюючі VR/AR-додатки, які працюють плавно навіть на пристроях із обмеженими ресурсами, забезпечуючи користувачам захоплюючий і комфортний досвід.

## **1.5 Використання текстур, моделей та шейдерів у VR/AR**

Текстури, моделі та шейдери є основними компонентами візуального представлення віртуальних і доповнених реальностей. Їх правильне проектування та оптимізація відіграють вирішальну роль у забезпеченні якості графіки, реалістичності середовища та продуктивності VR/AR-додатків.

### **1. Текстури:**

- Визначають вигляд поверхні 3D-об'єктів (наприклад, колір, деталі, матеріали).
- Забезпечують реалістичний вигляд без потреби додавання додаткових геометричних деталей до моделі.

### **2. 3D-моделі:**

- Описують геометрію об'єктів, з якими користувач взаємодіє у VR/AR.
- Якість моделі впливає на реалістичність і плавність роботи додатку.

### **3. Шейдери:**

- Відповідають за обчислення освітлення, відбиття, прозорості та інших візуальних ефектів.
- Забезпечують візуальну взаємодію текстур і геометрії.

## Особливості використання текстур у VR/AR

### 1. Типи текстур:

- **Diffuse Map:** Відповідає за базовий колір поверхні.
- **Normal Map:** Створює ілюзію об'єму без додавання полігонів.
- **Specular/Metallic Map:** Визначає властивості відбиття світла.
- **Ambient Occlusion (AO) Map:** Імітує тіні, які утворюються в кутах і стиках поверхонь.
- **Roughness Map:** Контролює шорсткість поверхні.

### 2. Оптимізація текстур:

- **Розмір текстур:** Використання текстур високої роздільної здатності може перевантажити GPU. Для VR/AR рекомендується застосовувати компресію текстур (наприклад, формати ASTC або DXT).
- **Комбіновані текстури:** Використання текстур, що об'єднують кілька властивостей у один файл (наприклад, Roughness + AO + Metallic).
- **Міпмапи:** Зменшені копії текстури, які використовуються для оптимізації графіки при відображенні об'єктів на великій відстані.

### 3. Використання PBR (Physically-Based Rendering):

- PBR забезпечує реалістичність текстур за рахунок імітації фізичних властивостей матеріалів, таких як металевість, прозорість і шорсткість.

## Особливості використання моделей у VR/AR

### 1. Типи моделей:

- **High-poly моделі:** Використовуються для рендерингу високоякісних зображень, але рідко застосовуються у VR/AR через високу обчислювальну складність.
- **Low-poly моделі:** Відповідають за зменшення навантаження на GPU, використовуючи меншу кількість полігонів.

## 2. Оптимізація геометрії моделей:

- **LOD (Level of Detail):**
  - Застосовується для автоматичного зменшення рівня деталізації моделі залежно від відстані до об'єкта.
- **Видалення невидимих поверхонь:**
  - Поверхні, які не відображаються в кадрі, повинні бути видалені для зменшення навантаження на систему.
- **Переробка складних елементів:**
  - Дрібні деталі можна замінити текстурами або нормал-мапами для економії обчислювальних ресурсів.

## 3. Динамічні об'єкти:

- У VR/AR моделі часто змінюються залежно від взаємодії користувача, тому потрібна додаткова оптимізація для плавного рендерингу.

## Особливості використання шейдерів у VR/AR

### 1. Типи шейдерів:

- **Vertex Shader:** Виконує обчислення позицій вершин у 3D-просторі.
- **Fragment Shader:** Розраховує колір і властивості пікселів.
- **Geometry Shader:** Додає або змінює геометрію об'єктів у реальному часі.
- **Post-Processing Shaders:** Додають ефекти (глибина різкості, відблиски, розмиття руху) після рендерингу кадру.

### 2. Шейдери для реалістичності VR/AR:

- **Шейдери для динамічного освітлення:**
  - Розраховують зміну освітлення залежно від положення джерел світла.
- **Шейдери прозорості:**
  - Використовуються для відображення прозорих або напівпрозорих об'єктів.

- **Рефракційні шейдери:**
  - Імітують ефекти заломлення світла через прозорі поверхні.

### 3. Оптимізація шейдерів:

- **Спрощення обчислень:**
  - Використання менше математичних операцій у фрагментних шейдерах.
- **Усунення непотрібних ефектів:**
  - Відключення шейдерів, які не впливають на якість візуального представлення, наприклад, для об'єктів на великій відстані.

## Роль текстур, моделей і шейдерів у VR/AR

Текстури, моделі та шейдери є основними компонентами візуального представлення віртуальних і доповнених реальностей. Їх правильне проектування та оптимізація відіграють вирішальну роль у забезпеченні якості графіки, реалістичності середовища та продуктивності VR/AR-додатків.

### 1. Текстури:

- Визначають вигляд поверхні 3D-об'єктів (наприклад, колір, деталі, матеріали).
- Забезпечують реалістичний вигляд без потреби додавання додаткових геометричних деталей до моделі.

### 2. 3D-моделі:

- Описують геометрію об'єктів, з якими користувач взаємодіє у VR/AR.
- Якість моделі впливає на реалістичність і плавність роботи додатку.

### 3. Шейдери:

- Відповідають за обчислення освітлення, відбиття, прозорості та інших візуальних ефектів.
- Забезпечують візуальну взаємодію текстур і геометрії.

## Виклики при використанні текстур, моделей і шейдерів у VR/AR

### 1. Апаратні обмеження:

- Обмежена потужність GPU на мобільних пристроях і гарнітурах VR.

### 2. Проблеми продуктивності:

- Надто складні моделі або текстури можуть спричинити зниження FPS і збільшення затримок.

### 3. Гармонія між графікою та продуктивністю:

- Важливо досягти балансу між реалістичністю візуального представлення та обчислювальними ресурсами.

## Інструменти для роботи з текстурами, моделями та шейдерами

### 1. Substance Painter:

- Використовується для створення текстур із застосуванням PBR.

### 2. Blender/Maya:

- Інструменти для створення 3D-моделей і оптимізації геометрії.

### 3. Unreal Engine 5/Unity:

- Мають вбудовані шейдери та засоби для роботи з текстурами та моделями.

### 4. Shader Graph (Unity):

- Інтуїтивний інструмент для створення та налагодження шейдерів.

Правильне використання текстур, моделей і шейдерів у VR/AR є критично важливим для створення реалістичних і продуктивних додатків. Оптимізація цих компонентів дозволяє забезпечити високу якість графіки навіть на пристроях із обмеженими ресурсами. Використання сучасних інструментів і технологій, таких як LOD, компресія текстур і PBR, дозволяє досягти максимальної ефективності у VR/AR-додатках.

## 1.6 Аналіз існуючих рішень та їх недоліків

Сучасна індустрія ігрової розробки пропонує низку потужних інструментів для створення VR/AR-додатків. Ці рішення включають ігрові рушії, SDK (Software Development Kit), а також платформи для аналізу та оптимізації продуктивності.

### Ігрові рушії

Ігровий рушій (англ. game engine) — це програмна платформа, яка забезпечує розробників інструментами та функціями для створення комп'ютерних ігор. Вона виконує більшість технічних завдань, пов'язаних з візуалізацією, фізикою, анімацією, звуком і логікою гри, дозволяючи розробникам зосередитися на створенні контенту та механік гри.

**Unreal Engine 5.** Один із найпопулярніших рушіїв для створення VR/AR-додатків.

#### Основні переваги:

1. Інструменти для створення фотореалістичної графіки.
2. Технологія Nanite для автоматичного зменшення рівня деталізації (LOD).
3. Повна інтеграція з VR/AR SDK, такими як OpenXR.

**Unity.** Легкий у використанні рушій із широкою підтримкою платформ.

#### Пропонує:

1. Бібліотеки для роботи з ARKit, ARCore та OpenXR.
2. Вбудовані інструменти для оптимізації графіки та фізики.

## **SDK для розробки VR/AR**

1. **OpenXR:** Відкритий стандарт, який забезпечує сумісність VR/AR-додатків із різними гарнітурами.
2. **ARKit (Apple)** та **ARCore (Google):** SDK для розробки AR-додатків на мобільних платформах iOS та Android.
3. **SteamVR SDK:** Інструмент для розробки VR-додатків під гарнітури HTC Vive, Valve Index тощо.

## **Інструменти для аналізу та оптимізації**

1. **SSIS (SQL Server Integration Services):** Використовується для інтеграції даних про продуктивність VR/AR-додатків.
2. **SSAS (SQL Server Analysis Services):** Дозволяє створювати OLAP-куби для багатовимірного аналізу продуктивності.
3. **Pix (Performance Investigator for Xbox):** Інструмент для аналізу продуктивності графіки у додатках.

## **Сильні сторони існуючих рішень**

1. **Універсальність:** Більшість сучасних інструментів підтримують кросплатформну розробку.
2. **Високий рівень інтеграції:** Рушії, такі як Unreal Engine 5 та Unity, інтегрують SDK для VR/AR, що значно спрощує розробку.
3. **Підтримка потужної графіки:** Сучасні технології, такі як Nanite та Lumen в Unreal Engine 5, дозволяють створювати високоякісні графічні сцени.

## **Недоліки існуючих рішень**

### **1. Високі апаратні вимоги:**

- 1.1. Графічні рушії вимагають потужного обладнання, особливо для VR-додатків.
- 1.2. Навіть з оптимізацією Nanite та LOD, продуктивність залишається проблемою для мобільних пристроїв.
- 1.3. Мобільні VR/AR-пристрої, такі як гарнітура Oculus Quest, мають обмежені ресурси, що ускладнює використання високоякісної графіки.

### **2. Обмежені інструменти оптимізації:**

- 2.1. Існуючі рішення не завжди враховують різницю в апаратному забезпеченні користувачів.
- 2.2. Автоматичні алгоритми оптимізації, такі як LOD, можуть не враховувати специфіку кожної сцени, що іноді призводить до втрати деталей.

### **3. Відсутність універсального стандарту:**

- 3.1. Різні платформи, наприклад, ARKit та ARCore, мають свої унікальні обмеження, що ускладнює кросплатформну розробку.
- 3.2. Гарнітури VR (Oculus, HTC Vive, PlayStation VR) використовують різні SDK, що змушує розробників адаптуватися до кожної платформи.

### **4. Високі витрати на розробку:**

- 4.1. Оптимізація для VR/AR вимагає значного часу і ресурсів.

4.2. Розробники часто стикаються з проблемою тестування додатків на широкому спектрі пристроїв.

## **5. Проблеми продуктивності:**

5.1. VR-додатки з високою частотою кадрів (90+ FPS) вимагають надзвичайно ефективного оброблення графіки.

5.2. AR-додатки можуть стикатися з проблемами відстеження та накладання цифрових об'єктів у реальному часі.

## **Критичні виклики**

### **1. Висока затримка:**

1.1. Висока затримка між діями користувача та реакцією системи може викликати дискомфорт і навіть хворобу віртуальної реальності.

1.2. Особливо актуально для мобільних VR/AR-додатків.

### **2. Оптимізація текстур і моделей:**

2.1. Більшість сучасних рушіїв вимагають попередньої підготовки текстур і моделей для зменшення навантаження на GPU.

2.2. Компроміси між якістю графіки та продуктивністю залишаються складними для реалізації.

### **3. Тестування продуктивності:**

3.1. Немає стандартного середовища для оцінки VR/AR-додатків на різних апаратних платформах.

Аналіз існуючих рішень демонструє значний прогрес у підтримці VR/AR, але також виявляє серйозні проблеми, пов'язані з апаратними обмеженнями, оптимізацією та кросплатформністю. Ці недоліки створюють можливості для вдосконалення систем підтримки VR/AR шляхом впровадження аналітичних підходів, нових алгоритмів оптимізації та універсальних платформ для тестування

.

## **2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ**

Моделювання є фундаментальним інструментом системного аналізу, який використовується для дослідження, проектування та оптимізації складних систем. Воно дозволяє представити функціонування реальних процесів у формі абстрактної моделі, яка відображає структуру, поведінку та взаємодії компонентів системи.

У контексті розробки програмного забезпечення для підтримки віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR), моделювання слугує основою для планування, аналізу та створення ефективних рішень, адаптованих до обмежень апаратного забезпечення.

### **2.1 Аналіз методологій системного аналізу для VR/AR**

#### **Основні цілі моделювання**

##### **1. Візуалізація системи:**

- Моделювання забезпечує графічне представлення складної системи, що полегшує розуміння її структури та компонентів.
- Наприклад, UML-діаграми використовуються для візуалізації взаємодій між компонентами VR/AR-додатків.

##### **2. Прогнозування поведінки:**

- Моделі дозволяють оцінювати, як система буде працювати в різних умовах.

- У VR/AR-системах це може включати тестування продуктивності на різних апаратних платформах.

### **3. Оптимізація процесів:**

- Визначення слабких місць у системі та пошук шляхів їх усунення.
- У разі VR/AR це може бути оптимізація графічних компонентів або зменшення затримки (латентності).

### **4. Адаптація під апаратні обмеження:**

- За допомогою моделей можна створювати адаптивні алгоритми, які налаштовують параметри системи в реальному часі залежно від характеристик пристрою.

## **Типи моделювання**

### **1. Об'єктно-орієнтоване моделювання (ООМ):**

- Засноване на концепції об'єктів, які мають властивості (атрибути) та поведінку (методи).
- Використовується для розробки програмного забезпечення шляхом визначення об'єктів, їх взаємодії та залежностей.

### **2. Функціональне моделювання:**

- Зосереджене на описі потоків даних і виконанні функцій системи.
- У VR/AR-додатках функціональне моделювання може використовуватися для аналізу обробки графічних даних.

### **3. Моделювання даних:**

- Включає створення моделей даних, таких як ER-діаграми або схеми баз даних.
- Це особливо важливо для зберігання метрик продуктивності ігрових сесій (FPS, час завантаження, використання GPU тощо).

#### **4. Динамічне моделювання:**

- Досліджує зміну станів системи у часі.
- У VR/AR це може бути використано для аналізу взаємодії користувача з віртуальним середовищем.

### **Методології моделювання**

Для розробки VR/AR-систем використовуються різні методології, зокрема:

#### **1. UML (Unified Modeling Language):**

- Це універсальна мова моделювання, що дозволяє створювати діаграми, які відображають структуру та динаміку системи.
- У VR/AR-додатках UML використовується для побудови діаграм прецедентів, класів, послідовностей, розгортання тощо.

#### **2. Методологія Agile:**

- Забезпечує гнучкість ітеративної розробки, що дозволяє адаптувати моделі залежно від вимог проекту.

#### **3. Багаторівневе моделювання:**

- Застосовується для опису системи на різних рівнях абстракції (наприклад, фізичний рівень пристрою, логічний рівень програмного забезпечення).

## **Інструменти для моделювання**

Для створення моделей використовуються різні інструменти:

### **1. Розробка програмного забезпечення:**

- **Unreal Engine 5** та **Unity** дозволяють моделювати поведінку VR/AR-середовищ.

### **2. Аналітичні платформи:**

- **Microsoft SQL Server** для створення моделей баз даних та аналізу метрик продуктивності.
- **SSAS (SQL Server Analysis Services)** для побудови OLAP-кубів.

### **3. Графічні редактори UML:**

- **Enterprise Architect** або **Visual Paradigm** для створення UML-діаграм.

## **Моделювання для оптимізації VR/AR-систем**

У контексті VR/AR-додатків моделювання забезпечує:

### **1. Адаптацію графіки:**

- Використання моделей рівня деталізації (LOD) для автоматичної оптимізації графіки.

### **2. Управління даними:**

- Створення моделей для зберігання та обробки даних про продуктивність ігрових сесій.

### **3. Тестування продуктивності:**

- Моделювання сценаріїв взаємодії користувача з VR/AR для перевірки стабільності та якості роботи системи.

## Переваги моделювання

- **Зниження ризиків:** Дозволяє виявити потенційні проблеми ще на етапі проектування.
- **Покращення комунікації:** Моделі забезпечують візуальне представлення, що полегшує розуміння системи всіма учасниками проекту.
- **Ефективність розробки:** Завдяки попередньо створеним моделям зменшується час на проектування та тестування.

## 2.2 Загальні відомості про моделювання VR/AR систем

VR/AR системи є складними технологічними рішеннями, які включають у себе інтерактивні 3D-середовища, побудовані з використанням спеціалізованого програмного та апаратного забезпечення. Основною метою таких систем є створення високого рівня занурення користувачів (у випадку VR) або накладання віртуальних об'єктів на реальне середовище (у випадку AR). Моделювання VR/AR систем є ключовим етапом розробки, який забезпечує оптимізацію архітектури, процесів і взаємодій.

### Цілі моделювання VR/AR систем

#### 1. Візуалізація архітектури:

- Забезпечення структурного представлення системи, її компонентів та зв'язків між ними.
- У VR/AR-системах це включає моделювання обробки графіки, фізичних процесів та інтеракцій.

#### 2. Аналіз продуктивності:

- Вивчення, як система реагує на різні апаратні платформи, визначення вузьких місць у продуктивності.
- Наприклад, аналіз FPS (кадрів за секунду) або часу завантаження у VR-додатках.

### **3. Адаптація під апаратні обмеження:**

- Розробка адаптивних механізмів, які автоматично налаштовують рівень деталізації та графіки залежно від потужності пристрою.

### **4. Оптимізація взаємодії з користувачем:**

- Проектування сценаріїв, які мінімізують затримку (латентність) і забезпечують плавний геймплей.

## **Ключові компоненти VR/AR систем**

### **1. Графічний рушій:**

- Використовується для створення та рендерингу віртуального середовища.
- Приклади: Unreal Engine 5, Unity.
- Забезпечує функції для роботи з 3D-об'єктами, текстурами, освітленням та фізикою.

### **2. Обробка введення:**

- Контролери, трекери руху, сенсорні екрани, гарнітури VR/AR.
- Забезпечують збір даних про рухи, позиції користувача та дії.

### **3. Рендеринг:**

- Процес генерації візуальних зображень у реальному часі.
- Використовуються алгоритми оптимізації, такі як LOD (Level of Detail) та шейдери.

### **4. Система взаємодії:**

- Забезпечує інтуїтивно зрозумілу взаємодію користувача з VR/AR середовищем, наприклад, за допомогою жестів або голосових команд.

### **5. База даних і аналітика:**

- Дані про ігрові сесії, продуктивність, апаратні ресурси.
- Використовуються для аналізу та оптимізації.

## **Методології моделювання VR/AR систем**

### 1. **Об'єктно-орієнтоване моделювання (ООМ):**

- Базується на використанні об'єктів, які описують компоненти VR/AR системи.
- Наприклад, об'єкти можуть включати в себе "Користувач", "Віртуальний об'єкт", "Інтерактивне середовище".

### 2. **Функціональне моделювання:**

- Описує потоки даних і функції системи, наприклад, потоки між обробкою введення та рендерингом.

### 3. **UML (Unified Modeling Language):**

- Включає побудову діаграм класів, прецедентів, послідовностей і розгортання для детального опису компонентів і взаємодій.

### 4. **Багат шарове моделювання:**

- Застосовується для відображення взаємозв'язків між фізичними (апаратними) та логічними (програмними) компонентами VR/AR системи.

## **Процес моделювання VR/AR систем**

### 1. **Аналіз вимог:**

- Визначення цільової платформи, типу додатку (VR або AR), сценаріїв використання та обмежень.
- Наприклад, розробка гри з підтримкою VR для настільних комп'ютерів і мобільних пристроїв.

### 2. **Створення концептуальної моделі:**

- Загальний опис структури системи, її компонентів та їх функцій.
- Включає ключові об'єкти, наприклад, гарнітура VR, користувач, віртуальні об'єкти.

### 3. **Розробка детальних моделей:**

- UML-діаграми, функціональні моделі, моделі даних.
- Наприклад, побудова діаграми класів для опису взаємодії компонентів.

#### **4. Ітеративне тестування моделей:**

- Перевірка моделей за допомогою прототипів.
- Аналіз, як система реагує на зміни конфігурації, наприклад, зниження рівня продуктивності.

### **Технологічні інструменти для моделювання VR/AR систем**

#### **1. Графічні рушії:**

- Unreal Engine 5 – забезпечує інструменти для створення високоякісної графіки та інтеграції з VR/AR SDK.
- Unity – популярний інструмент для розробки багатоплатформних VR/AR додатків.

#### **2. Аналітичні платформи:**

- SQL Server Analysis Services (SSAS) для аналізу метрик продуктивності.
- Microsoft Power BI для візуалізації даних про взаємодію користувача з VR/AR середовищем.

#### **3. Розробницькі середовища:**

- Blender та Maya для створення 3D-об'єктів.
- Visual Studio для розробки програмного коду.

### **Переваги моделювання VR/AR систем**

#### **1. Оптимізація процесів розробки:**

- Ефективне використання апаратних ресурсів завдяки детальному аналізу.

#### **2. Візуалізація складних систем:**

- Моделі забезпечують зрозуміле представлення структури системи.

### **3. Прогнозування продуктивності:**

- Можливість оцінити вплив змін у системі до їх реалізації.

## **2.3 Огляд інструментів для реалізації завдань Data Mining**

Data Mining (інтелектуальний аналіз даних) – це процес виявлення прихованих закономірностей, зв'язків та трендів у великих обсягах даних. У контексті VR/AR систем, Data Mining є критично важливим для аналізу продуктивності, поведінки користувачів та оптимізації ресурсів. Ці інструменти дозволяють створювати прогнози, розробляти рекомендації та покращувати загальний досвід користувачів.

### **Ключові завдання Data Mining у VR/AR**

#### **1. Аналіз продуктивності:**

- Визначення проблемних зон, наприклад, зниження FPS або збільшення часу завантаження.

#### **2. Прогнозування:**

- Передбачення потреб у ресурсах для забезпечення стабільної роботи VR/AR-додатків.

#### **3. Оптимізація:**

- Виявлення методів зниження використання GPU/CPU для покращення продуктивності.

#### **4. Класифікація користувачів:**

- Групування за параметрами взаємодії (наприклад, тип пристрою, жанр гри, тривалість сеансу).

## **Популярні інструменти для Data Mining**

### **1. Microsoft SQL Server Analysis Services (SSAS)**

SSAS є одним із найпотужніших інструментів для аналізу даних, що дозволяє створювати OLAP-куби та реалізовувати багатовимірний аналіз.

- **Можливості:**

- Підтримка багатовимірного аналізу даних.
- Створення складних моделей Data Mining для прогнозування та класифікації.

- **Застосування у VR/AR:**

- Аналіз FPS та інших метрик продуктивності.
- Побудова моделей для передбачення завантаження апаратних ресурсів.

### **2. Microsoft SQL Server Integration Services (SSIS)**

SSIS – це платформа для інтеграції, трансформації та завантаження даних (ETL).

- **Можливості:**

- Автоматизація збору та підготовки даних із різних джерел.
- Трансформація даних у потрібний формат для аналізу.

- **Застосування у VR/AR:**

- Збирання даних із клієнтських пристроїв та ігрових серверів.
- Формування єдиної структури даних для аналізу.

### **3. Microsoft Excel**

Excel часто використовується як доступний інструмент для швидкого аналізу даних.

- **Можливості:**
  - Побудова графіків, діаграм і статистичних моделей.
  - Підключення до OLAP-кубів для аналізу багатовимірних даних.
- **Застосування у VR/AR:**
  - Швидкий аналіз даних про користувацькі сесії.
  - Побудова прогнозів на основі часових рядів.

#### 4. Python (бібліотеки Scikit-learn, Pandas, NumPy)

Python є гнучким інструментом для роботи з даними, завдяки своїм бібліотекам для аналізу та машинного навчання.

- **Можливості:**
  - Кластеризація, класифікація та регресійний аналіз.
  - Побудова алгоритмів для обробки великих обсягів даних.
- **Застосування у VR/AR:**
  - Виявлення залежностей між апаратними ресурсами та продуктивністю.
  - Розробка алгоритмів класифікації для налаштування рівня деталізації графіки.

#### 5. R

R – це потужний інструмент для статистичного аналізу та візуалізації даних.

- **Можливості:**
  - Розширені моделі прогнозування та статистичний аналіз.
  - Інтерактивні графіки для візуалізації.
- **Застосування у VR/AR:**

- Візуалізація даних про продуктивність ігрових сесій.
- Аналіз впливу різних параметрів на тривалість ігрового процесу.

## 6. RapidMiner

RapidMiner – це платформа для Data Mining, яка підтримує широкий спектр задач, таких як класифікація, кластеризація, регресія та асоціативний аналіз.

- **Можливості:**

- Інтуїтивний інтерфейс для роботи з великими обсягами даних.
- Підтримка інтеграції з Python і R.

- **Застосування у VR/AR:**

- Побудова моделей класифікації для передбачення FPS залежно від апаратних обмежень.
- Аналіз поведінки користувачів під час взаємодії з VR/AR-додатками.

## Алгоритми Data Mining, застосовувані для VR/AR

### 1. 1-Rule:

- Простий алгоритм для класифікації на основі однієї змінної.
- У VR/AR використовується для класифікації пристроїв за рівнем продуктивності.

### 2. Naive Bayes:

- Статистичний алгоритм для передбачення результатів на основі попередніх даних.
- Використовується для оцінки ймовірності досягнення заданого FPS на певному обладнанні.

### 3. Кластеризація (K-Means):

- Розподіл пристроїв і користувачів на групи залежно від їх характеристик.

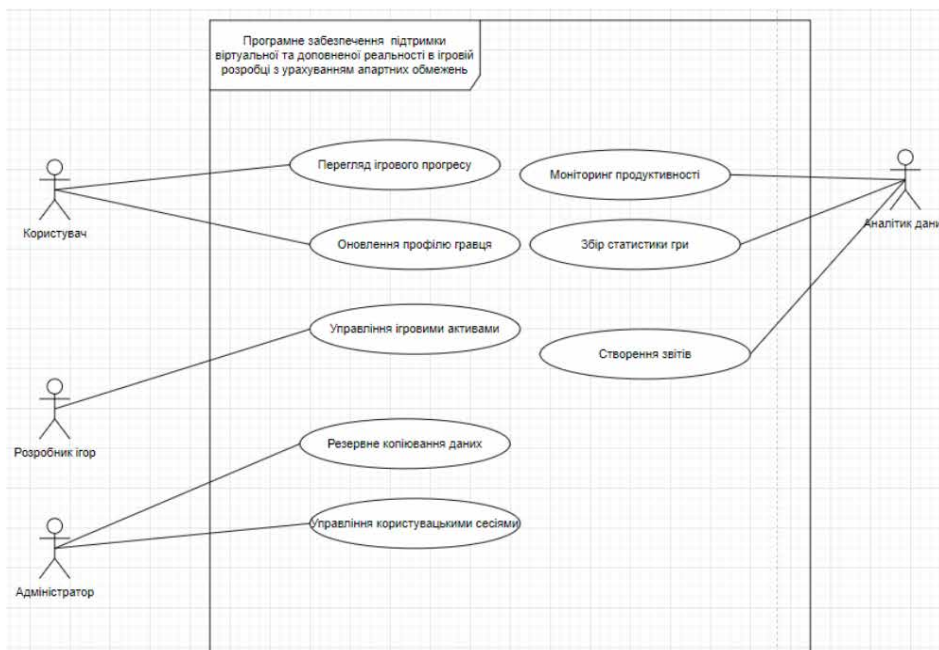
#### 4. Асоціативний аналіз (Apriori):

- Виявлення закономірностей між параметрами апаратного забезпечення та продуктивністю.

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ

### 3.1 Діаграма прецедентів.

Діаграма прецедентів (Use Case Diagram) є одним із ключових інструментів UML для моделювання взаємодії між користувачами (акторами) та системою. Вона демонструє, які дії (прецеденти) можуть виконувати актори та як ці дії пов'язані із системою.



#### Основні елементи діаграми прецедентів:

##### 1. Прецеденти для гравця:

- **Запуск VR/AR додатку:** Гравець ініціалізує додаток.
- **Інтеракція з віртуальним середовищем:** Гравець використовує контролери для взаємодії.

- **Налаштування параметрів графіки:** Додаток автоматично налаштовує якість текстур та рівень деталізації.

## 2. Прецеденти для розробника:

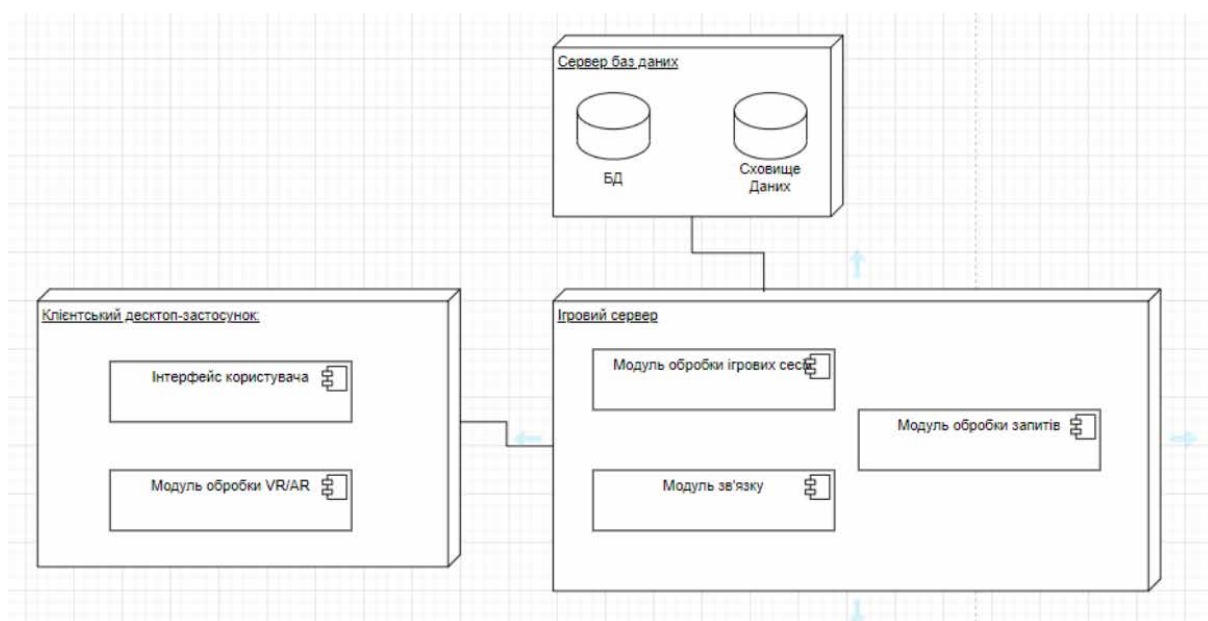
- **Аналіз метрик продуктивності:** Розробник отримує дані про FPS, час завантаження, використання GPU.
- **Внесення змін до налаштувань:** Розробник оптимізує параметри для пристроїв із різною продуктивністю.

## 3. Прецеденти для хмарного сервера:

- **Зберігання даних сесій:** Метрики ігрових сесій зберігаються для аналізу.
- **Генерація звітів:** Сервер формує звіти для розробників.

## 3.2 Об'єктно-орієнтована архітектура системи

Представлена схема демонструє архітектуру VR/AR системи, яка складається з трьох ключових компонентів: клієнтського додатку, ігрового сервера та сервера баз даних. Ця архітектура відображає взаємодію між основними елементами системи та потоки даних між ними.



### 1. Клієнтський десктоп-застосунок

Клієнтський додаток є основним інтерфейсом для взаємодії користувача із системою. Його основні компоненти:

### **1. Інтерфейс користувача:**

- Забезпечує взаємодію користувача з VR/AR додатком.
- Містить інструменти для навігації в середовищі, виконання дій та налаштування параметрів.
- Обробляє введення даних від пристроїв, таких як гарнітура VR, контролери або сенсорні екрани.

### **2. Модуль обробки VR/AR:**

- Відповідає за рендеринг віртуального або доповненого середовища.
- Оптимізує графічну складову залежно від апаратних характеристик пристрою.
- Виконує інтерактивну обробку даних у реальному часі, наприклад, відстеження рухів користувача та адаптацію віртуального середовища.

Цей модуль передає дані про продуктивність (FPS, використання GPU тощо) до ігрового сервера для подальшого аналізу.

## **2. Ігровий сервер**

Ігровий сервер є центральною частиною системи, яка відповідає за обробку ігрових сесій, обмін даними між клієнтом та базою даних, а також забезпечення стабільної роботи системи. Основні компоненти сервера:

### **1. Модуль обробки ігрових сесій:**

- Збирає дані про продуктивність і взаємодію користувача з віртуальним середовищем.
- Відповідає за управління сеансами гри, включаючи обробку взаємодії між користувачем та віртуальними об'єктами.

- Виконує функції моніторингу та діагностики, виявляючи проблеми продуктивності.

## **2. Модуль обробки запитів:**

- Забезпечує взаємодію між клієнтським додатком і сервером баз даних.
- Виконує запити на отримання або оновлення даних, наприклад, метрик продуктивності або параметрів гри.

## **3. Модуль зв'язку:**

- Відповідає за передачу даних між клієнтським застосунком, сервером баз даних та іншими компонентами системи.
- Забезпечує стабільність мережевого підключення для мінімізації затримок і втрат даних.

## **3. Сервер баз даних**

Сервер баз даних є сховищем для всієї інформації, необхідної для роботи VR/AR системи. Основні компоненти:

### **1. База даних (БД):**

- Містить дані про користувачів, пристрої, ігрові сесії, параметри графіки та продуктивності.
- Забезпечує швидкий доступ до ключових параметрів для обробки запитів від сервера.

### **2. Сховище даних:**

- Використовується для збереження історичних даних, наприклад, статистики ігрових сесій або даних про продуктивність.
- Підтримує багатовимірний аналіз за допомогою OLAP-кубів, що дозволяє розробникам і адміністраторам отримувати глибоку аналітику продуктивності системи.

## **Взаємодія між компонентами**

### 1. **Клієнтський застосунок** → **Ігровий сервер**:

- Передає дані про поточну ігрову сесію, включаючи параметри графіки, метрики продуктивності (FPS, використання GPU) та інші дані.
- Отримує зворотний зв'язок у вигляді оновлених налаштувань графіки або даних для виведення в інтерфейсі користувача.

### 2. **Ігровий сервер** → **Сервер баз даних**:

- Виконує запити на отримання даних, таких як історичні метрики продуктивності або інформація про пристрої користувача.
- Зберігає результати ігрових сесій для подальшого аналізу.

### 3. **Сервер баз даних** → **Ігровий сервер** → **Клієнтський застосунок**:

- Дані, отримані з бази, передаються через ігровий сервер до клієнтського застосунку для візуалізації або оптимізації.

## **Переваги описаної топології**

### 1. **Модульність**:

- Компоненти системи можуть бути розроблені, протестовані та оновлені окремо.

### 2. **Масштабованість**:

- Додавання нових функцій або обробка більшого обсягу даних можливі без значної перебудови архітектури.

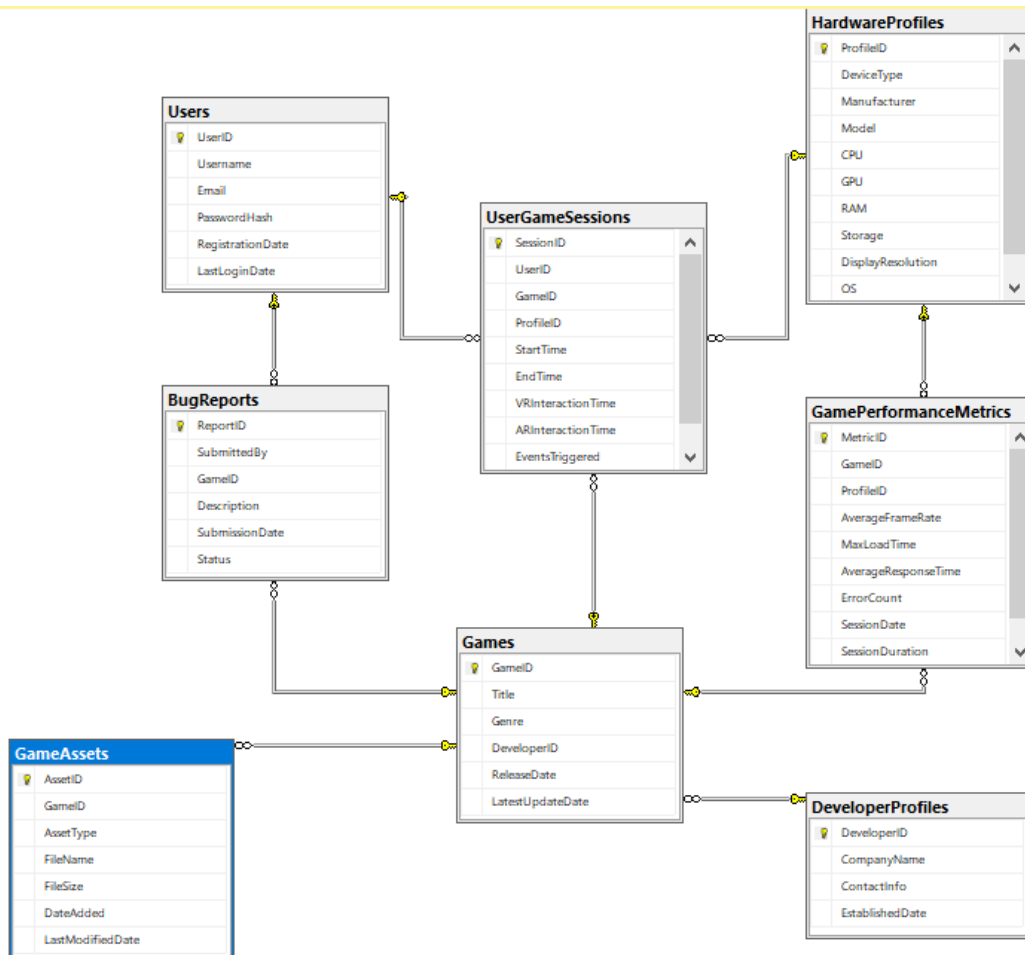
### 3. **Ефективність обробки даних**:

- Чітке розмежування між клієнтською, серверною та базовою частинами забезпечує швидкість і стабільність роботи системи.

Представлена топологія VR/AR системи забезпечує ефективну взаємодію між компонентами, оптимізує обробку ігрових даних і дозволяє адаптувати графіку та продуктивність під апаратні ресурси користувача. Завдяки модульній

архітектурі система залишається масштабованою та гнучкою для майбутніх удосконалень.

### 3.3 База даних



#### Таблиця DeveloperProfiles

Ця таблиця зберігає ключову інформацію про розробників ігор. Вона дозволяє централізувати всі дані, пов'язані з компаніями-розробниками, які створюють або підтримують ігри. Це основа для побудови зв'язків між іграми та їхніми творцями. Таблиця використовується для організації та відображення інформації про

компанії, щоб забезпечити легкий доступ до даних, необхідних для аналізу або співпраці.

---

### Таблиця Users

Ця таблиця містить всю необхідну інформацію про користувачів системи. Вона служить для організації даних, які дозволяють ідентифікувати користувачів, забезпечувати їх доступ до системи, а також зберігати історію їхньої активності. Ця інформація використовується для забезпечення персоналізованого досвіду користувача, аналізу поведінки користувачів у системі та підтримання безпеки їхніх даних.

---

### Таблиця HardwareProfiles

Таблиця є ключовим елементом для зберігання інформації про апаратне забезпечення, що використовується в іграх. Вона дозволяє системі адаптуватися до різноманітних пристроїв, на яких запускаються ігри. Дані цієї таблиці використовуються для аналізу продуктивності ігор, тестування оптимізації та забезпечення сумісності з різними апаратними конфігураціями.

---

### Таблиця Games

Ця таблиця забезпечує зберігання детальної інформації про всі ігри, які відображаються в системі. Вона є важливим елементом бази даних, оскільки об'єднує інформацію про розробників, гравців, сесії та апаратні специфікації. Вона використовується для аналізу ігрового ринку, підтримки бібліотеки ігор, а також для оптимізації їхньої роботи.

---

## Таблиця GamePerformanceMetrics

Таблиця зберігає важливу статистичну інформацію про продуктивність ігор на різних конфігураціях апаратного забезпечення. Вона є інструментом для збору, аналізу та відображення технічних метрик, таких як частота кадрів, час завантаження або помилки. Ці дані допомагають розробникам покращувати якість ігор та забезпечувати плавний геймплей для користувачів.

---

## Таблиця UserGameSessions

Таблиця відстежує сесії користувачів, під час яких вони взаємодіють із системою. Вона дозволяє аналізувати поведінку гравців, тривалість їхньої активності, використання VR або AR, а також оцінювати популярність ігор. Ці дані важливі для маркетингу, аналізу залученості користувачів і вдосконалення ігрового досвіду.

---

## Таблиця GameAssets

Ця таблиця зберігає всі активи, які використовуються у створенні ігор. Вона допомагає організувати дані про ресурси, такі як моделі, текстури або звуки, щоб полегшити керування контентом гри. Таблиця є важливою для оптимізації активів і забезпечення їхньої доступності для розробників або гравців.

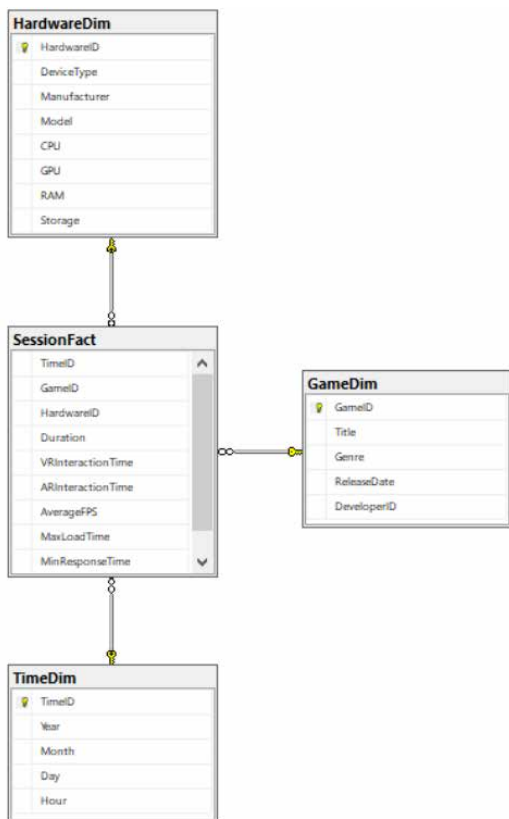
---

## Таблиця BugReports

Таблиця служить для зберігання звітів про помилки, які виявляються в процесі тестування чи використання ігор. Вона допомагає відстежувати проблеми, аналізувати їх, пріоритизувати виправлення та підтримувати загальну якість продукту. Ця інформація важлива для розробників, які працюють над стабільністю та вдосконаленням ігор.

### **3.4 Структура сховища даних**

Сховище даних для підтримки VR/AR систем є важливим компонентом інфраструктури, яка забезпечує зберігання, обробку та управління даними, необхідними для функціонування додатків віртуальної та доповненої реальності. Вона служить центральним репозиторієм, що містить інформацію про ігрові сесії, апаратні профілі, метрики продуктивності, ігрові активи, та багато іншого. Оптимізована структура бази даних дозволяє забезпечити ефективність, швидкість та гнучкість системи, навіть у випадках обмежених апаратних ресурсів.



## 1. Таблиці вимірів (Dimensions):

- **GameDim:**

- Поля: **GameID, Title, Genre, ReleaseDate, DeveloperID.**
- Описує атрибути ігор, включаючи жанр та розробника.

- **TimeDim:**

- Поля: **TimeID, Year, Month, Day.**
- Використовується для відстеження часу ігрових сесій.

- **HardwareDim:**

- Поля: **HardwareID, DeviceType, Manufacturer, Model, CPU, GPU, RAM, Storage.**
- Містить дані про апаратні характеристики пристроїв, що використовуються для запуску VR/AR-додатків.

## 2. Таблиця фактів (Facts):

- **SessionFact:**

- Поля: `TimeID`, `GameID`, `HardwareID`, `Duration`, `VRInteractionTime`, `ARInteractionTime`, `AverageFPS`, `MaxLoadTime`, `MinResponseTime`.
- Зберігає інформацію про ігрові сесії, включаючи тривалість, взаємодію з VR/AR, продуктивність (FPS), та час завантаження.

## 3. Додаткові таблиці:

- **BugReports:**

- Містить звіти про помилки, включаючи деталі помилок та їх статус.

- **GameAssets:**

- Описує активи ігор, такі як текстури, моделі, та інші ресурси.

## Логічна структура бази даних

База даних організована за принципами реляційної моделі. Вона включає зв'язки між таблицями вимірів та таблицею фактів. Наприклад:

- Поле `GameID` у `SessionFact` пов'язане з `GameDim`, що дозволяє отримувати атрибути гри для кожної сесії.
- Поле `HardwareID` забезпечує доступ до даних апаратного профілю пристрою.

## Особливості структури

### 1. Підтримка багатовимірного аналізу (OLAP):

- Таблиці організовані таким чином, щоб підтримувати швидкий аналіз даних за різними вимірами: час, апаратні характеристики, продуктивність гри.

- Наприклад, середній FPS може аналізуватися залежно від року, типу пристрою або жанру гри.

## **2. Інтеграція з аналітичними сервісами:**

- База даних інтегрується з SQL Server Analysis Services (SSAS) для побудови OLAP-кубів, що забезпечує ефективну обробку великих обсягів даних у реальному часі.

## **3. Оптимізація продуктивності:**

- Використання індексів на ключових полях (**GameID**, **HardwareID**, **TimeID**) дозволяє швидко отримувати потрібні дані.
- Компресія даних для зниження використання пам'яті.

## **Використання бази даних у VR/AR**

### **1. Моніторинг ігрових сесій:**

- Збір даних про час взаємодії користувачів з VR/AR.
- Аналіз продуктивності (FPS, час завантаження) для різних типів пристроїв.

### **2. Аналіз апаратних профілів:**

- Виявлення залежностей між апаратними характеристиками та продуктивністю VR/AR-додатків.
- Формування рекомендацій для оптимізації графіки на різних пристроях.

### **3. Управління ресурсами:**

- Аналіз ігрових активів для оптимізації їх використання.
- Визначення ресурсів, які створюють найбільше навантаження на систему.

Структура сховища даних для обробки VR/AR елементів забезпечує гнучкість, масштабованість і ефективність системи. Використання багатовимірного підходу, підтримка аналітичних сервісів і інтеграція з сучасними інструментами Data

Mining дозволяють забезпечити стабільну роботу VR/AR-додатків, оптимізацію продуктивності та покращення користувацького досвіду.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

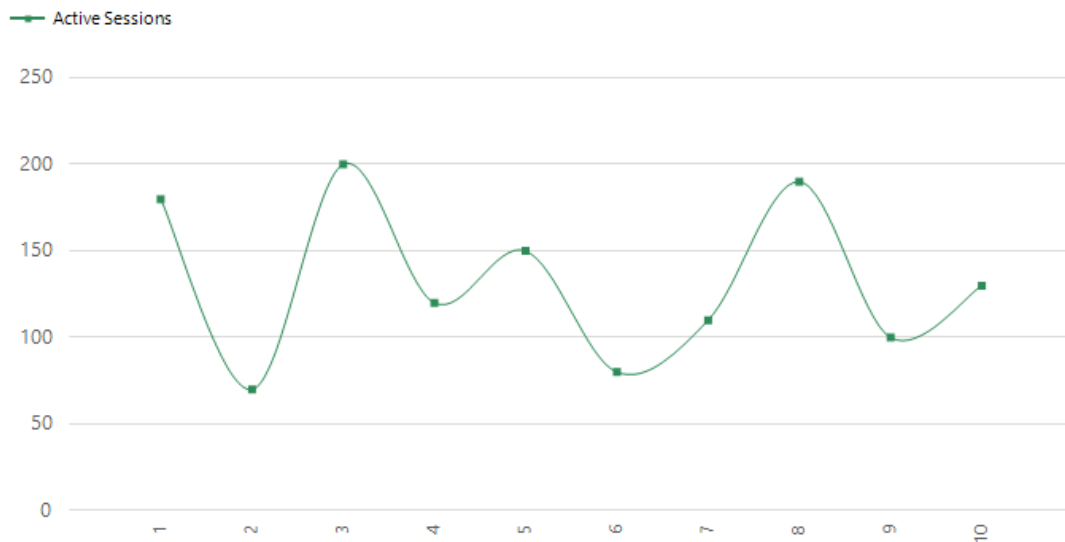
### 4.1 Результати аналізу активності гравців

Дані представлені у вигляді таблиці, що відображає кількість активних ігрових сесій за місяцями. Ці результати отримані в результаті роботи програми, яка аналізує активність користувачів на основі їхньої взаємодії з ігровою системою протягом року.

#### Звіт про піки активності гравців за місяцями за 2023

Month	Active Sessions
1	180
2	70
3	200
4	120
5	150
6	80
7	110
8	190
9	100
10	130

Заголовок діаграми



## Опис даних

Програма автоматично збирала дані про кількість сесій гравців, які були зафіксовані щомісячно, і сформувала звіт про піки активності. Таблиця містить дві ключові категорії:

1. **Місяць (Month):** Числовий ідентифікатор кожного місяця, що дозволяє швидко відобразити період активності.
2. **Активні сесії (Active Sessions):** Кількість ігрових сесій, зареєстрованих у системі протягом кожного місяця.

---

Детальний аналіз активності:

### 1. Періоди високої активності:

- Найбільша активність зафіксована у березні (200 активних сесій), що може свідчити про:
  - Випуск оновлення або нової версії гри.
  - Проведення сезонних подій чи акцій.

- Серпень (190 сесій) показує другий найвищий пік активності, що може бути пов'язано з літніми канікулами, коли гравці мають більше вільного часу.

## **2. Періоди низької активності:**

- Лютий (70 сесій) демонструє найменшу кількість активностей, що може бути пов'язано з:
  - Меншою залученістю після зимових свят.
  - Відсутністю нових оновлень або значних ігрових подій.
- Червень (80 сесій) також показує низький рівень, можливо, через сезонні відпустки або інші фактори.

## **3. Стабільна активність:**

- У жовтні (130 сесій), квітні (120 сесій) та липні (110 сесій) спостерігається середній рівень активності, який не перевищує пікові значення, але залишається значущим для підтримання бази гравців.

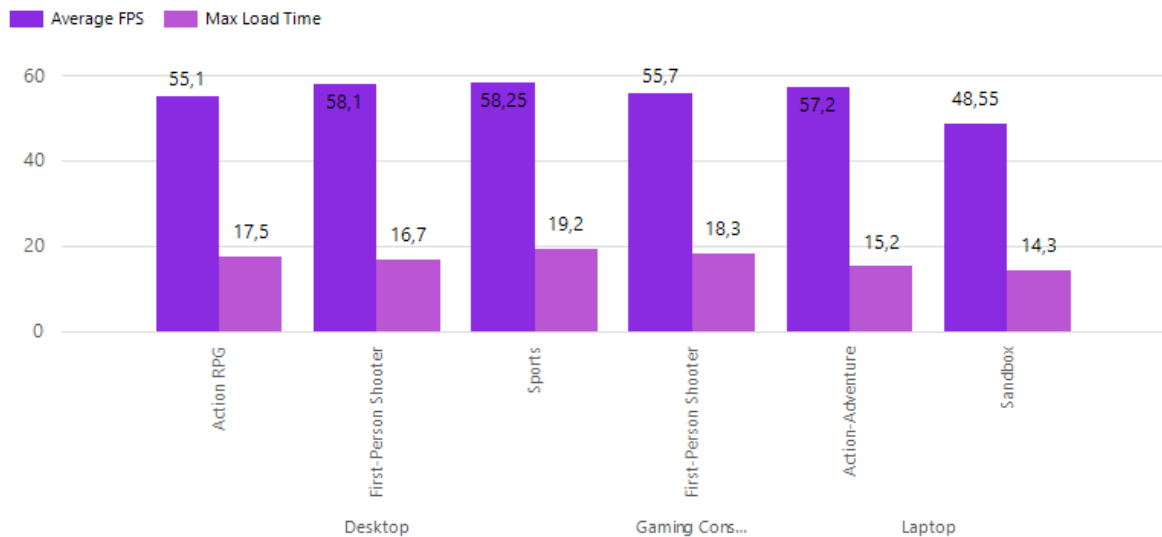
## **4.2 Звіт продуктивності конфігурацій систем**

Даний звіт відображає результати аналізу продуктивності різних апаратних конфігурацій, заснованого на середньому FPS (Frames Per Second) та максимальному часу завантаження (Max Load Time). Дані згруповані за типами пристроїв і жанрами ігор.

# Звіт про продуктивність апаратної конфігурації за 2023

Device Type	Genre	Average FPS	Max Load Time
Desktop	Action RPG	55,100000	17,50
	First-Person Shooter	58,100000	16,70
	Sports	58,250000	19,20
Gaming Console	First-Person Shooter	55,700000	18,30
Laptop	Action-Adventure	57,200000	15,20
	Sandbox	48,550000	14,30

Заголовок діаграми



## Структура даних:

- Device Type:** Тип пристрою, на якому тестувалася продуктивність (Desktop, Gaming Console, Laptop).
- Genre:** Жанр гри, яка використовувалася для тестування (Action RPG, First-Person Shooter, Sports, Action-Adventure, Sandbox).

3. **Average FPS:** Середня кількість кадрів за секунду, що характеризує плавність графіки.
4. **Max Load Time:** Максимальний час завантаження гри (у секундах), що визначає швидкість запуску чи переходу між рівнями.

### Детальний аналіз продуктивності:

#### 1. Desktop:

- Найвищий **FPS** для жанру *First-Person Shooter* (58,1), що свідчить про хорошу оптимізацію цього жанру для настільних ПК.
- Для жанру *Sports* середній FPS також високий (58,25), але максимальний час завантаження (19,2 секунди) є найвищим серед жанрів для Desktop.
- Жанр *Action RPG* має трохи нижчий FPS (55,1) і найбільший час завантаження (17,5), що вказує на складність і ресурсомісткість цього жанру.

#### 2. Gaming Console:

- Для жанру *First-Person Shooter* середній FPS становить 55,7, що є близьким до Desktop, однак максимальний час завантаження трохи вищий (18,3 секунди), що може бути пов'язано з особливостями оптимізації під консолі.

#### 3. Laptop:

- Жанр *Action-Adventure* демонструє хорошу продуктивність із середнім FPS 57,2 і часом завантаження 15,2 секунди, що є найкращим показником серед усіх жанрів.

- Для жанру *Sandbox* продуктивність найнижча серед усіх конфігурацій (48,55 FPS), але час завантаження (14,3 секунди) є найкоротшим.

Інсайти з аналізу:

### 1. Вплив апаратної платформи:

- **Desktop** забезпечує найвищу продуктивність у жанрах із високою інтенсивністю графіки (*First-Person Shooter*).
- **Gaming Console** трохи відстає за часом завантаження, але показує стабільний FPS, що свідчить про оптимізацію під консолі.
- **Laptop** є компромісним варіантом, демонструючи нижчу продуктивність для ресурсомістких жанрів (*Sandbox*), але добре підходить для менш вимогливих жанрів (*Action-Adventure*).

### 2. Жанрові особливості:

- Жанри *First-Person Shooter* і *Sports* показують найвищий FPS, що свідчить про добру оптимізацію цих жанрів.
- *Sandbox* виявився найбільш ресурсомістким жанром, знижуючи FPS, особливо на ноутбуках.

### 3. Час завантаження:

- Час завантаження є критичним для Desktop у жанрах *Sports* і *Action RPG*.
- Найкоротший час завантаження спостерігається для *Sandbox* на Laptop (14,3 секунди), можливо через спрощення графіки чи інших компонентів.

Рекомендації:

### 1. Оптимізація для Laptop:

- Варто покращити продуктивність для жанру *Sandbox* на ноутбуках шляхом зниження графічних вимог або оптимізації коду.

### 2. Робота з часом завантаження:

- Знизити час завантаження для Desktop у жанрах *Sports* і *Action RPG* шляхом оптимізації механік завантаження.

### 3. Фокус на жанрах:

- Використовувати жанри *First-Person Shooter* та *Sports* для демонстрації високої продуктивності на Desktop.
- Для Laptop акцентувати увагу на жанрі *Action-Adventure*, який показує збалансовані результати.

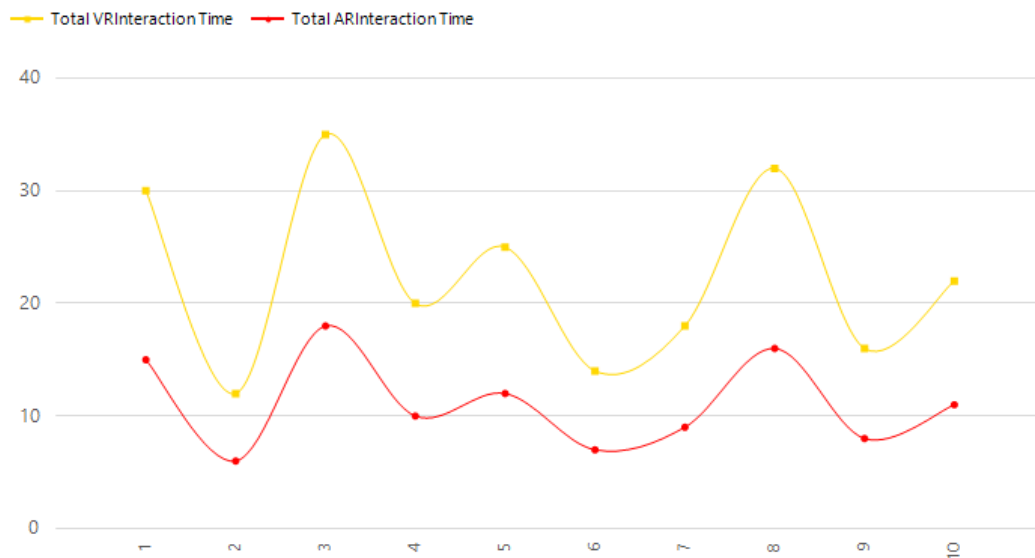
## 4.3 Звіт про тривалість взаємодії з AR/VR

Цей звіт ілюструє загальну тривалість взаємодії користувачів із технологіями віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності протягом місяців 2023 року. Дані дозволяють оцінити тенденції використання цих технологій у контексті ігрового досвіду.

Звіт демонструє, що VR має значну перевагу над AR у загальній тривалості взаємодії, однак обидві технології залишаються важливими для розширення ігрового досвіду. Отримані дані можуть бути використані для стратегічного планування розробки та випуску контенту, що враховує зміну інтересу гравців протягом року.

## Звіт про тривалість AR/VR взаємодії в іграх за місяцями за 2023

Month	Total VRInteraction Time	Total ARInteraction Time
1	30	15
2	12	6
3	35	18
4	20	10
5	25	12
6	14	7
7	18	9
8	32	16
9	16	8
10	22	11



Структура даних:

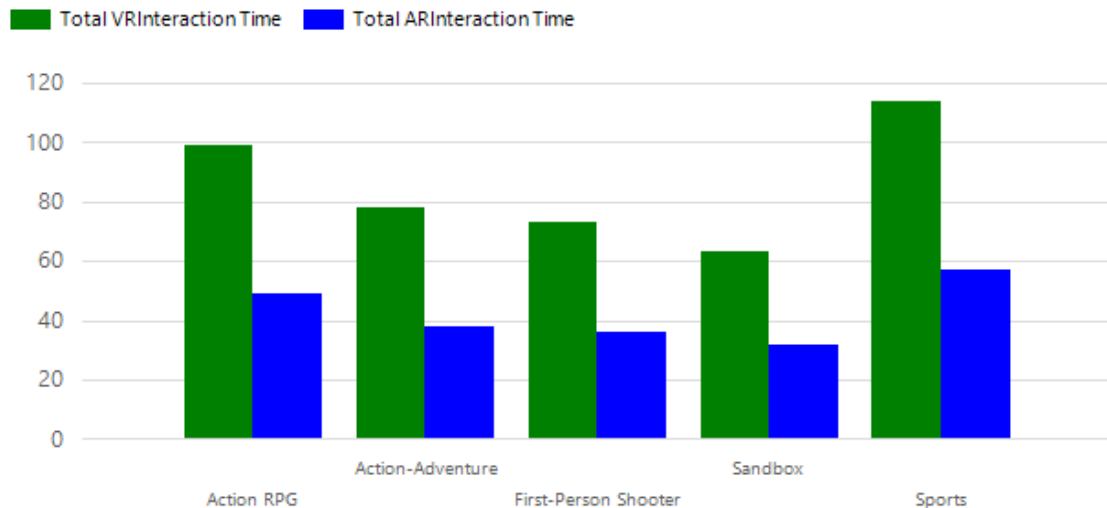
1. **Month:** Номер місяця, що представляє календарний період року.
2. **Total VR Interaction Time:** Загальна кількість часу (у годинах), проведеного гравцями у VR середовищі.
3. **Total AR Interaction Time:** Загальна кількість часу (у годинах), витраченого гравцями на взаємодію з AR середовищем.

#### 4.4 Звіт про використання AR/VR взаємодії в іграх за жанрами

Цей звіт ілюструє розподіл часу взаємодії користувачів із віртуальною (VR) та доповненою (AR) реальністю в іграх залежно від жанру. Він дає змогу зрозуміти, які жанри ігор мають найбільший попит на інтеграцію VR/AR технологій.

### Звіт про використання AR/VR взаємодії в іграх за жанрами

Genre	Total VRInteraction Time	Total ARInteraction Time
Action RPG	99	49
Action-Adventure	78	38
First-Person Shooter	73	36
Sandbox	63	32
Sports	114	57



Структура даних:

1. **Genre:** Жанр гри (Action RPG, Action-Adventure, First-Person Shooter, Sandbox, Sports).
2. **Total VR Interaction Time:** Загальна тривалість взаємодії у VR (у годинах).
3. **Total AR Interaction Time:** Загальна тривалість взаємодії у AR (у годинах).

Детальний аналіз за жанрами:

### 1. Sports:

- **VR Interaction Time:** 114 годин – найбільший показник серед усіх жанрів.
- **AR Interaction Time:** 57 годин – також лідирує серед жанрів.
- **Аналіз:** Жанр *Sports* відзначається високою залученістю користувачів, ймовірно, через занурювальний досвід VR (наприклад, імітація спортивних подій) та інтерактивні можливості AR.

### 2. Action RPG:

- **VR Interaction Time:** 99 годин – другий за популярністю жанр для VR.

- **AR Interaction Time:** 49 годин – значний показник, що свідчить про високу адаптивність жанру до обох технологій.
- **Аналіз:** Жанр *Action RPG* добре підходить для глибокого занурення та інтерактивного управління в AR.

### 3. Action-Adventure:

- **VR Interaction Time:** 78 годин – середній рівень використання VR.
- **AR Interaction Time:** 38 годин – відносно менша активність у порівнянні з іншими жанрами.
- **Аналіз:** Цей жанр демонструє меншу потребу в AR, хоча VR використовується для створення атмосферності.

### 4. First-Person Shooter:

- **VR Interaction Time:** 73 години – подібний рівень до *Action-Adventure*.
- **AR Interaction Time:** 36 годин – також середній рівень.
- **Аналіз:** Жанр *FPS* менше використовує AR, оскільки основна увага приділяється VR для реалістичного бойового досвіду.

### 5. Sandbox:

- **VR Interaction Time:** 63 години – найнижчий показник серед усіх жанрів.
- **AR Interaction Time:** 32 години – також найменший.
- **Аналіз:** Жанр *Sandbox* менш інтегрований з VR/AR через вільну структуру геймплею, яка не потребує високої технологічної адаптації.

Тенденції та інсайти:

#### 1. Популярність жанру *Sports*:

- Лідер серед жанрів за часом взаємодії у VR і AR, що вказує на високий рівень інтерактивності та відповідність цих технологій потребам жанру.

## 2. Action RPG та VR:

- Цей жанр є другим за популярністю у VR, що вказує на потребу у глибокому зануренні в сюжетні ігри.

## 3. Низька інтеграція в *Sandbox*:

- Показники взаємодії найменші, що може свідчити про складність застосування VR/AR у неструктурованому геймплеї.

Рекомендації:

### 1. Розширення VR/AR у *Sports*:

- Продовжувати інвестувати в інтеграцію цих технологій у жанр *Sports* через високу залученість користувачів.

### 2. Підтримка Action RPG:

- Впроваджувати нові VR/AR функції для жанру *Action RPG*, зважаючи на його стабільну популярність.

### 3. Адаптація для *Sandbox*:

- Знайти способи інтеграції VR/AR, які відповідали б гнучкій природі геймплею *Sandbox*

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє аналізувати ефективність використання віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) в ігрових проєктах з урахуванням апаратних обмежень. Програма збирає дані про продуктивність ігор на різних платформах, тривалість взаємодії користувачів з VR/AR середовищами, а також сезонні тренди активності гравців. Цей інструмент надає розробникам можливість глибше розуміти вплив апаратних обмежень на ігровий досвід, що дозволяє оптимізувати ігри для кращої сумісності з різними пристроями.

Аналіз згенерованих програмою звітів показав, що платформами з найкращими показниками продуктивності є настільні комп'ютери (Desktop), які забезпечують найвищий середній FPS та стабільність графіки, особливо для ресурсомістких жанрів, таких як First-Person Shooter та Action RPG. Ноутбуки, навпаки, демонструють зниження продуктивності в іграх із високими вимогами до графіки, наприклад, у жанрі Sandbox, що вказує на необхідність подальшої оптимізації. Ігрові консолі забезпечують стабільну роботу VR/AR функцій, але час завантаження на цих пристроях може бути вищим порівняно з іншими платформами, що потребує уваги з боку розробників.

Жанровий аналіз засвідчив, що жанри Sports та Action RPG мають найбільшу популярність серед VR/AR інтеграцій. Для ігор жанру Sports характерна найбільша тривалість взаємодії з VR/AR, що свідчить про їх високу інтерактивність і відповідність очікуванням користувачів. Жанр Action RPG показав другий за популярністю результат для VR, що підкреслює його потенціал для використання у VR/AR розробці. Водночас жанр Sandbox демонструє найнижчі показники використання VR/AR технологій, що може бути зумовлено

особливостями ігрового дизайну та меншою інтеграцією цих технологій у вільну структуру геймплею.

Сезонний аналіз показав, що активність користувачів у VR/AR іграх має виражені коливання протягом року. Найвищі показники активності спостерігалися у січні та березні, що може бути пов'язано зі святковими періодами та випуском оновлень або нових ігор. Найнижча активність зафіксована у лютому, що свідчить про сезонні спадання інтересу. Ці дані можуть бути використані для планування випуску ігрового контенту або проведення маркетингових кампаній у періоди максимальної зацікавленості гравців.

Окремої уваги заслуговує аналіз взаємодії користувачів із VR/AR технологіями залежно від жанру гри. Найвища тривалість VR/AR взаємодії зафіксована у спортивних іграх, що підтверджує затребуваність цих технологій для створення занурювального досвіду. Action-Adventure та First-Person Shooter мають середній рівень взаємодії, водночас для жанру Sandbox виявлено найнижчі показники, що вказує на необхідність адаптації VR/AR для цього типу геймплею.

Програма також дозволяє ідентифікувати ключові обмеження апаратного забезпечення, які впливають на ігровий досвід. Наприклад, для ноутбуків найкритичнішими є обмеження потужності графічного процесора, що значно впливає на продуктивність у VR/AR середовищах. Для консолей основною проблемою є час завантаження, особливо у складних графічно насичених іграх. Для настільних ПК, хоча вони й демонструють найвищу продуктивність, залишається питання оптимізації для менш потужних конфігурацій.

Розроблена програма є важливим інструментом для розробників і аналітиків, які працюють з VR/AR технологіями. Вона не лише забезпечує моніторинг продуктивності, а й надає дані, що допомагають приймати обґрунтовані рішення щодо адаптації ігор до різних платформ. Інтеграція таких

інструментів у розробницький процес дозволяє не лише підвищити якість ігор, але й краще розуміти потреби аудиторії.

Важливим результатом роботи стало розуміння необхідності адаптації VR/AR технологій до особливостей жанру гри та апаратної платформи. Це підтверджується як даними про тривалість взаємодії, так і показниками продуктивності. Наприклад, жанри з високою графічною складністю, такі як Action RPG, мають значно більший попит на VR, тоді як AR більше підходить для жанрів з інтерактивними елементами, такими як Sports.

Отримані результати демонструють потенціал для подальшого вдосконалення програми. Наприклад, можливе розширення функціональності за рахунок додавання прогнозування продуктивності на нових платформах або інтеграції з системами реального часу для моніторингу роботи ігор. Крім того, програма може бути адаптована для аналізу інших технологій, таких як Mixed Reality (MR), що поєднує елементи VR і AR.

Загалом виконана робота дозволила створити програмне забезпечення, яке допомагає ефективно вирішувати завдання аналізу та оптимізації VR/AR ігрових проєктів. Результати можуть бути використані як розробниками ігор, так і аналітиками для покращення ігрового досвіду, підвищення продуктивності та задоволення потреб користувачів. Це підкреслює важливість врахування апаратних обмежень та індивідуальних особливостей жанру при розробці сучасних ігор із підтримкою VR та AR.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берг, Дж. (2020). Віртуальна реальність у сучасних іграх: основи дизайну та розробки. Cambridge University Press.
2. Сміт, К. (2019). Технології VR/AR в ігровій індустрії: виклики та перспективи. *Journal of Game Development*, 12(4), 45–67.
3. Unity Technologies. (2023). Розробка ігор із використанням VR/AR платформ: посібник для розробників. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://unity.com>.
4. Unreal Engine. (2023). VR/AR оптимізація у Unreal Engine 5: інструменти та методи. [Документація]. Доступно за адресою: <https://unrealengine.com>.
5. Кравченко, О. М., Петренко, І. В. (2022). Особливості адаптації ігор до апаратних обмежень платформ. *Вісник інформаційних технологій*, 25(3), 89–97.
6. Google ARCore. (2023). Документація з розробки програм із підтримкою доповненої реальності. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://developers.google.com/ar>.
7. Oculus. (2023). Підручник із розробки ігор для VR: ефективність і продуктивність. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://developer.oculus.com>.
8. Microsoft HoloLens. (2022). Гібридна реальність у розробці ігор: кращі практики. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://www.microsoft.com/hololens>.
9. Янсон, М. (2021). Графічні технології в іграх із VR/AR: теорія та практика. Springer.

10. Шаповалов, В. В. (2021). Оптимізація продуктивності VR/AR-ігор під різні апаратні платформи. Інформаційні системи та технології, 11(2), 32–44.
11. Pew Research Center. (2022). Популярність VR/AR серед користувачів і прогноз розвитку ринку. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://www.pewresearch.org>.
12. Сінгх, А., Чен, Ю. (2020). Порівняння продуктивності VR та AR у геймінгу. Proceedings of the International Conference on Virtual Reality, 8(1), 112–125.
13. Apple ARKit. (2023). Технічні рекомендації для розробки AR-ігор. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://developer.apple.com/arkit>.
14. Павловський, Д. С., Орлов, Ю. А. (2020). Методи кластерного аналізу для оцінки поведінки користувачів в AR/VR середовищах. Інформаційні технології та моделювання, 18(4), 56–72.
15. Epic Games. (2023). Методи трасування променів для VR-ігор: керівництво. [Онлайн ресурс]. Доступно за адресою: <https://www.epicgames.com>.