

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Метод візуалізації військової техніки з
використанням доповненої реальності»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення
освітньо-професійної програми «Інженерія програмного забезпечення»

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

(підпис) Ярослав ЛИННИК

Виконав: здобувач вищої освіти групи ПДМ-61
Ярослав ЛИННИК

Керівник: Тимур ДОВЖЕНКО
к.т.н.

Рецензент: _____
науковий ступінь,
вчене звання

Київ 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення

Освітньо-професійна програма «Інженерія програмного забезпечення»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інженерії програмного забезпечення

_____ Ірина ЗАМРІЙ

«_____» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Линнику Ярославу Андрійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Метод візуалізації військової техніки з використанням доповненої реальності

керівник кваліфікаційної роботи Тимур ДОВЖЕНКО, к.т.н.,

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «15» жовтня 2024 р. № 320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «17» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: аналіз існуючих методів візуалізації, вибір технологій доповненої реальності для інтеграції моделей військової техніки, позиціонування та інтерактивна взаємодія, реалізація мобільного рішення для навчальних і демонстраційних цілей.

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

1. Дослідження існуючих методів візуалізації.

2. Аналіз технологій доповненої реальності для інтеграції 3D-моделей у реальний світ.

3. Реалізація мобільного рішення.
4. Проведення тестування та оцінки ефективності розробленого методу на основі отриманих результатів.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
1. Схема методу візуалізації.
 2. Математична модель методу візуалізації військової техніки.
 3. Програмні засоби реалізації.
 4. Практичний результат.
 5. Порівняльний аналіз методів візуалізації.
6. Дата видачі завдання «16» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	16.10-23.10.2024	
2	Дослідження існуючих методів візуалізації	24.10-31.10.2024	
3	Аналіз технологій доповненої реальності	01.11-08.11.2024	
4	Розробка методу візуалізації	09.11-16.11.2024	
5	Реалізація мобільного застосунку	17.11-22.11.2024	
6	Проведення тестування та оцінки ефективності розробленого методу	23.11-26.11.2024	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	27.11-30.11.2024	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	31.11-02.12.2024	
9	Попередній захист роботи	03.12.2024	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Ярослав ЛИННИК

Керівник
кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Тимур ДОВЖЕНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 85 стор., 2 табл., 33 рис., 16 джерел.

Мета роботи – забезпечення інтерактивної та багатофункціональної візуалізації військової техніки для підвищення ефективності її сприйняття за допомогою технологій доповненої реальності.

Об'єкт дослідження – процес візуалізації та взаємодії користувача з віртуальними моделями військової техніки в середовищі доповненої реальності.

Предмет дослідження – технології та засоби покращення інтерактивної візуалізації військової техніки.

Короткий зміст роботи: у роботі досліджено сучасні підходи до використання технологій доповненої реальності для візуалізації об'єктів. Основна увага приділена розробці методу, що забезпечує інтерактивну демонстрацію моделей військової техніки з використанням мобільних пристроїв.

Проведено аналіз існуючих технологій розпізнавання зображень і візуалізації в реальному часі. Вивчено архітектури систем AR, які поєднують комп'ютерний зір, 3D-моделювання та алгоритми машинного навчання для забезпечення стабільності та точності роботи. Особливий акцент зроблено на використанні мобільних платформ, які дозволяють максимально розширити застосування технології.

Розроблено мобільний застосунок з використанням сучасних інструментів і платформ, зокрема Unity та бібліотек для роботи з доповненою реальністю. Для забезпечення масштабованості та простоти інтеграції програмне забезпечення реалізовано з використанням об'єктно-орієнтованого підходу.

Результати дослідження демонструють перспективність розробленого методу та його практичну цінність для задач візуалізації військової техніки в освітніх, навчальних і демонстраційних цілях. Система може знайти застосування в інтерактивних музеях, тренажерах для військових, а також у маркетингових платформах для представлення нових розробок у галузі оборонних технологій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ІНТЕРАКТИВНІСТЬ, ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ВІЙСЬКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 85 pages, 33 pictures, 2 table, 16 sources.

The purpose of the work - providing interactive and multifunctional visualization of military equipment to improve the efficiency of its perception using augmented reality technologies.

Object of research – is the process of visualization and user interaction with virtual models of military equipment in an augmented reality environment.

Subject of research – technologies and tools to improve interactive visualization of military equipment.

Summary of the work: the paper investigates modern approaches to the use of augmented reality technologies for object visualization. The main attention is paid to the development of a method that provides an interactive demonstration of military equipment models using mobile devices.

An analysis of existing technologies for image recognition and real-time visualization is carried out. The architectures of AR systems that combine computer vision, 3D modeling, and machine learning algorithms to ensure stability and accuracy are studied. Particular emphasis is placed on the use of mobile platforms that allow for the maximum expansion of the technology.

A mobile application was developed using modern tools and platforms, including Unity and libraries for working with augmented reality. To ensure scalability and ease of integration, the software is implemented using an object-oriented approach.

The results of the study demonstrate the prospects of the developed method and its practical value for visualization of military equipment for educational, training, and demonstration purposes. The system can be used in interactive museums, simulators for the military, as well as in marketing platforms for presenting new developments in the field of defense technology.

KEYWORDS: VISUALIZATION, INTERACTIVITY, AUGMENTED REALITY, MILITARY TECHNOLOGIES.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ.....	13
1.1 Візуалізація на ПК.....	13
1.2 Візуалізація з використанням віртуальної реальності.....	18
1.3 Візуалізація з використанням доповненої реальності.....	23
1.4 Висновки до розділу.....	33
2 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ.....	36
2.1 Ігровий рушій Unity.....	36
2.2 Середовище розробки для мови програмування C#.....	42
2.3 Ресурс Sketchfab.....	44
2.4 Інструмент редагування 3D-графіки Blender.....	46
2.5 Ресурс AssetStore.....	51
2.6 Висновки до розділу.....	53
3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	55
3.1 Опис розробки методу.....	55
3.2 Опис проекту в Unity.....	57
3.2.1 Структура файлів.....	57
3.2.2 Структура сцени і компоненти.....	60
3.3 Опис роботи мобільного додатку.....	68
3.4 Напрями удосконалення та розширення.....	73
3.5 Висновки до розділу.....	75
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79
ДОДАТОК А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПК – Персональний комп'ютер.

AR – Доповнена реальність (Augmented Reality).

VR – Віртуальна реальність (Virtual Reality).

UE5 - Ігровий рушій (Unreal Engine 5).

LTS - Довгострокова підтримка (Long Term Support).

UI - користувацький інтерфейс (User Interface).

LIDAR - технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем (Light Detection and Ranging).

ВСТУП

У сучасному світі технологій візуалізація військової техніки за допомогою технологій доповненої реальності стає все більш актуальною. Завдяки AR можна покращити тренування військових, підвищити обізнаність про новітні зразки техніки та технологій, а також створити більш інтерактивний і захоплюючий спосіб навчання та підготовки військовослужбовців.

Технології доповненої реальності дозволяють інтегрувати віртуальні об'єкти у реальний світ, що робить процес навчання та ознайомлення з новітніми технологіями більш ефективним та наочним. Використання AR у військовій сфері може суттєво покращити підготовку військовослужбовців, забезпечити їх доступом до найновіших даних про техніку та обладнання, а також сприяти кращому розумінню складних технічних аспектів.

Розробка AR-додатку на платформі Unity передбачає використання таких інструментів як ARCore для розпізнавання цільових зображень та відображення 3D моделей. Важливим етапом є створення високоякісних 3D моделей військової техніки, що дозволяють користувачам детально ознайомитись з її конструкцією та функціональними можливостями.

Розробка та впровадження такого AR-додатку може мати значний вплив на військову освіту і тренування, забезпечуючи інтерактивний та ефективний спосіб навчання. Це дозволить військовослужбовцям краще зрозуміти технічні характеристики та можливості військової техніки, що в свою чергу підвищить їх підготовку та ефективність у бойових умовах.

Важливим аспектом розробки є також тестування додатку на різних пристроях, що дозволить забезпечити його сумісність та стабільну роботу. Оптимізація 3D моделей для мобільних пристроїв є ключовою задачею для забезпечення плавності та реалістичності відображення.

Мета роботи – забезпечення інтерактивної та багатофункціональної візуалізації військової техніки для підвищення ефективності її сприйняття за допомогою технологій доповненої реальності.

Об'єкт дослідження – процес візуалізації та взаємодії користувача з віртуальними моделями військової техніки в середовищі доповненої реальності.

Предмет дослідження – технології та засоби покращення інтерактивної візуалізації військової техніки.

Основні завдання, які ставляться перед розробкою даного методу, включають:

1. Аналіз існуючих підходів до візуалізації техніки. Проведено аналіз літератури, що висвітлює сучасні методи використання VR та 3D-графіки для демонстрації техніки. Виявлено обмеження в мобільності, інтерактивності та доступності для реального часу.
2. Дослідження технологій доповненої реальності. Проведено порівняльний аналіз інструментів і платформ для розробки доповненої реальності, таких як AR Foundation, Unity, та альтернативи. Оцінено їх можливості для інтеграції 3D-моделей у реальне середовище.
3. Розробка методу візуалізації через AR. Розроблено метод інтеграції моделей військової техніки у доповнену реальність. Метод забезпечує позиціонування, масштабування та взаємодію з об'єктами в реальному часі, використовуючи Unity і AR Foundation.
4. Моделювання і програмування компонентів додатку. Реалізовано прототип програми, що дозволяє користувачам взаємодіяти з моделями військової техніки. Виконано налаштування для динамічного розміщення, обертання та зміни масштабу моделей через мобільний пристрій.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що використання технологій доповненої реальності у військовій сфері має великий потенціал і може суттєво покращити процес навчання та підготовки військовослужбовців. Розробка методів візуалізації військової техніки за допомогою AR може стати важливим кроком у цьому напрямку.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

1.1 Візуалізація на ПК

Візуалізація на ПК забезпечує найвищу якість зображення завдяки потужним графічним картам і сучасним технологіям рендерингу. Такі програми, як Blender, Autodesk Maya чи KeyShot, дозволяють створювати детальні сцени, реалістичне освітлення та текстури, що є ключовими для презентації складної техніки, наприклад військової.

Для роботи з візуалізацією на ПК доступно безліч програм, від безкоштовних, таких як Blender, до платних професійних рішень. Однак для ефективної роботи потрібно володіти певними навичками, що обмежує використання цієї технології для новачків.

Потужний ПК є основною вимогою для створення і перегляду якісної 3D-візуалізації. Вартість обладнання може варіюватися від \$500 до \$2000 залежно від складності проекту, а також від необхідності використовувати потужну графічну карту та оперативну пам'ять.

ПК візуалізація обмежена фіксованим робочим місцем, що унеможлиблює її використання в польових умовах або під час мобільних демонстрацій. Це суттєвий недолік у порівнянні з AR, де можливо візуалізувати об'єкти в будь-якому місці.

Взаємодія з візуалізованою сценою на ПК зазвичай здійснюється через мишу та клавіатуру. Це обмежує залучення користувача, адже для кращої інтерактивності потрібні додаткові інструменти, такі як VR-шоломи чи спеціальні контролери.

Середня підготовка візуалізації займає 5-10 хвилин, включаючи завантаження сцени, налаштування камер і освітлення. Незважаючи на простоту запуску, такі інструменти можуть бути складними у використанні для недосвідчених користувачів.

Візуалізація на ПК зазвичай створюється для перегляду статичних сцен або заздалегідь запрограмованих анімацій. Для створення динамічних середовищ із інтерактивністю необхідні більш гнучкі рішення, такі як ігрові рушії.

Хоча візуалізація на ПК має свої переваги, для роботи з динамічними та інтерактивними 3D-сценами найкраще підходять ігрові рушії. Unreal Engine 5 вирізняється сучасними технологіями, такими як Nanite для деталізації, Lumen для реалістичного освітлення, та підтримкою великих відкритих просторів, що робить його ідеальним для створення програм із візуалізацією військової техніки.

Unreal Engine [1] - ігровий рушій, який розробляється та підтримується компанією Epic Games. Перша гра, створена на цьому рушії - Unreal, з'явилася в 1998 році. Відтоді різні версії цього ігрового рушія використали у більш ніж сотні ігор, серед яких: Deus Ex, Lineage II, Thief: Deadly Shadows, Postal 2, серія ігор Brothers in Arms, серія ігор Splinter Cell, Tom Clancy's Rainbow Six. Пристосований насамперед для шутерів від першої особи, рушій використовувався і для створення ігор інших жанрів.

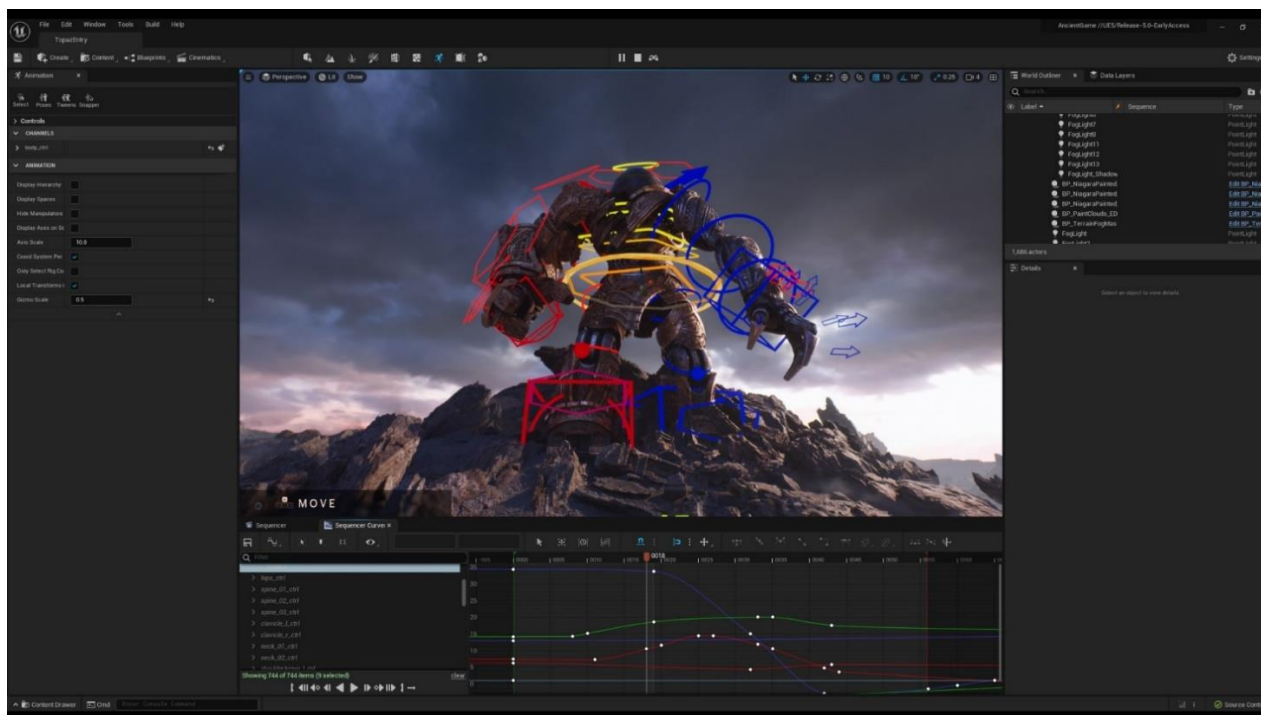


Рис. 1.1 Інтерфейс ігрового рушія UE5

Написаний мовою програмування C++, рушій дає змогу створювати ігри для більшості операційних систем і платформ таких як Microsoft Windows, Linux, Mac OS і Mac OS X, і консолей: Xbox, Xbox 360, PlayStation 2, PlayStation Portable, PlayStation 3, Wii, Dreamcast і Nintendo GameCube. На рисунку 1.1 зображений інтерфейс ігрового рушія UE5.

Проект UE5 City Sample був представлений Epic Games як демонстрація потужностей Unreal Engine 5, щоб показати, як розробники можуть створювати високоякісні міські середовища з великою деталізацією. Цей тестовий проект надає користувачам готову сцену, що містить високодеталізовані будівлі, освітлення, текстури та природні елементи, даючи їм можливість ознайомитися з можливостями движка для створення великих відкритих просторів. Проект став основою для подальших розробок у сфері ігрових і неігрових 3D-сцен.

Проект City Sample [2] - це майданчик, де дизайнери та розробники можуть дослідити, як різні нові та вдосконалені системи об'єднуються для створення просторого та привабливого середовища. Цей зразок побудовано з використанням тих самих ресурсів і методів дизайну, що й у The Matrix Awakens: Технічна демонстрація Unreal Engine 5 Experience, що вийшла на PlayStation 5 та Xbox серії S|X.

Нові та вдосконалені можливості Unreal Engine 5 дозволяють створювати великі, високодеталізовані світи, які оживають завдяки масовому штучному інтелекту та повністю динамічному освітленню. Місто спроектоване і побудоване за допомогою процедурної генерації з використанням процесора правил.

У цьому прикладі проекту використовуються наступні функції:

- **World Partition** працює разом з One File Per Actor для покращення потокової передачі рівнів та ефективності робочого процесу редактора.
- **Nanite** дозволяє використовувати високоточну віртуалізовану геометрію мікрополігонів.

- **Lumen** генерує динамічне глобальне освітлення та віддзеркалення за допомогою апаратного трасування променів.
- Система **Virtual Shadow Maps** забезпечує послідовне затінення міста з високою роздільною здатністю.
- **Масовий ШІ** керує поведінкою та візуалізацією руху і натовпу на основі бібліотеки MetaHuman.
- **Фізика хаосу** керує транспортними засобами та системами руйнування.
- Система **MetaSounds** наповнює місто міськими звуками.
- **Niagara** використовується для систем частинок.

На рисунку 1.2 зображено скриншот з проекту, який захоплює надчіткою графікою та ефектами.



Рис. 1.2 Скриншот з проекту UE5 City Sample

Одним із яскравих прикладів використання UE5 стала українська гра S.T.A.L.K.E.R. 2: Heart of Chernobyl [3], розроблена студією GSC Game World. Завдяки можливостям UE5, розробники змогли створити надзвичайно реалістичну зону відчуження, передаючи деталізацію постапокаліптичного середовища. Можливості UE5 дозволили відтворити кожну деталь ландшафту, будівель, а також створити динамічну систему освітлення, яка відображає атмосферу тривоги та загадковості. Крім того, рушій допоміг реалізувати реалістичні фізичні взаємодії та анімацію, що значно підсилює занурення гравців у світ Чорнобиля. На рисунку 1.3 зображений момент з самої гри.



Рис. 1.3 Момент з гри S.T.A.L.K.E.R. 2: Heart of Chernobyl

Візуалізація на ПК забезпечує високу якість графіки завдяки сучасним програмам і потужному обладнанню, проте обмежується фіксованим робочим місцем та потребою у спеціальних навичках. Для створення інтерактивних і динамічних середовищ, таких як військова техніка, ігрові рушії, зокрема Unreal Engine 5, надають гнучкі рішення.

1.2 Візуалізація з використанням віртуальної реальності

Віртуальна реальність - це створений технічними засобами світ, який передається людині через її відчуття: зір, слух, дотик і інші. Віртуальна реальність імітує як вплив, так і реакції на вплив. Для створення переконливого комплексу відчуттів реальності комп'ютерний синтез властивостей і реакцій віртуальної реальності проводиться у реальному часі [4].

Не слід плутати віртуальну реальність із доповненою. Їх принципова відмінність у тому, що віртуальна конструює новий штучний світ, а доповнена реальність лише вносить окремі штучні елементи в сприйняття світу реального.

Системами віртуальної реальності називаються пристрої, які більш повно, в порівнянні зі звичайними комп'ютерними системами, імітують взаємодію з віртуальним середовищем шляхом впливу на усі п'ять наявних у людини органи чуття.

Таких систем у повному обсязі поки що не існує, але при створенні віртуальної реальності розробники намагаються домогтися, щоб вона була:

- правдоподібною - підтримувала у користувача відчуття реальності того, що відбувається;
- інтерактивною - забезпечувала взаємодію із середовищем;
- доступною для вивчення - надавала можливість досліджувати великий, деталізований світ;
- що створює ефект присутності - залучала у процес як мозок, так і тіло користувача, впливаючи на максимально можливе число органів чуттів.

Очевидно, досягнення цих цілей можливо лише за використання високопродуктивного апаратно-програмного забезпечення.

На даному етапі розвитку технологій VR серед них можна виділити наступні типи.

- **Технології VR з ефектом повного занурення**, що забезпечують правдоподібну симуляцію віртуального світу з високим ступенем деталізації. Для їх реалізації необхідний високопродуктивний

комп'ютер, здатний розпізнавати дії користувача і реагувати на них в режимі реального часу, і спеціальне обладнання, що забезпечує ефект занурення.

- **Технології VR без занурення.** До них відносяться симуляції із зображенням, звуком і контролерами, що транслюються на екран, бажано широкоформатний. Такі системи зараховують до віртуальної реальності, оскільки за ступенем впливу на глядача вони набагато перевершують інші засоби мультимедіа, хоча і не реалізують повною мірою вимоги, що пред'являються до VR.
- **Технології VR зі спільною інфраструктурою.** До них можна віднести Second Life - тривимірний віртуальний світ з елементами соціальної мережі, який налічує понад мільйон активних користувачів, гру Minecraft і інші. Такі світи не забезпечують повного занурення (втім, у Minecraft вже існує версія для віртуальної реальності, що підтримує шоломи Oculus Rift і Gear VR). Але у віртуальних світах добре організована взаємодія з іншими користувачами, чого часто не вистачає у продуктів «справжньої» віртуальної реальності.

Віртуальні світи використовуються не тільки в ігровій індустрії: завдяки таким платформ, як 3D Immersive Collaboration можна організовувати робочі та навчальні 3D-простору - це називається «спільна робота з ефектом присутності». Забезпечення повного занурення і, одночасно, взаємодії користувачів в віртуальності є одним з важливих напрямків розвитку VR.

Найпоширенішим засобом занурення у віртуальну реальність є спеціальні шоломи/окуляри (рисунки 1.4). На розташований перед очима користувача дисплей виводиться відео в форматі 3D. Прикріплені до корпусу гіроскоп і акселерометр відстежують повороти голови і передають дані в обчислювальну систему, яка змінює зображення на дисплеї в залежності від показань датчиків. У результаті користувач має можливість «озирнутися» всередині віртуальної реальності і відчувати себе в ній, як у реальному світі.



Рис. 1.4 Шолом віртуальної реальності

Для більш реалістичного занурення у світ віртуальної реальності крім датчиків, які відстежують положення голови, в пристроях VR можуть застосовуватися трекінгові системи, які відстежують руху зіниць очей і дозволяють визначити, куди людина дивиться в кожен момент часу, а також відстежують рухи тіла людини з метою повторення їх у віртуальному світі. Таке відстеження може здійснюватися за допомогою спеціальних датчиків або відеокамери.

Для взаємодії з віртуальною реальністю традиційних 2D-контролерів (миша, джойстик тощо) Вже недостатньо, тому їх замінюють 3D-контролерами (маніпуляторами, що дозволяють працювати в тривимірному просторі, які зображені на рисунку 1.5 у руках чоловіка).



Рис. 1.5 Використання 3D-контролерів у віртуальній реальності

Пристрої зі зворотним зв'язком призначені для того, щоб користувач міг ще повніше відчувати все те, що відбувається у віртуальному світі. В якості таких пристроїв можуть використовуватися віброючі джойстики, що обертаються крісла тощо.

Візуалізація за допомогою віртуальної реальності (VR) має свої унікальні переваги та недоліки, які варто врахувати при порівнянні з іншими методами. Основною перевагою є повне занурення користувача у тривимірний простір, що створює відчуття присутності. Це дозволяє детально оглянути модель військової техніки у реалістичному середовищі, наближаючи досвід до реального сприйняття. Для навчальних цілей VR відкриває нові горизонти, наприклад, створюючи симуляції, де користувачі можуть практикувати взаємодію з технікою чи середовищем.

Однак, доступність VR обмежується високою вартістю обладнання. Сучасні VR-гарнітури коштують від \$400 до \$1000, а також потребують

потужного ПК або консолі для забезпечення необхідної продуктивності. Налаштування займає більше часу (10–15 хвилин) у порівнянні з іншими методами, що може бути незручним для частого використання.

З точки зору інтерактивності, VR забезпечує глибокий рівень взаємодії з об'єктами, проте інтерфейс може бути обмеженим у функціоналі. Управління здебільшого відбувається через контролери, і це не завжди інтуїтивно. До того ж, у деяких користувачів можуть виникати неприємні відчуття, як-от запаморочення чи дискомфорт під час тривалого використання. На рисунку 1.6 зображено взаємодію з віртуальними об'єктами.



Рис. 1.6 Взаємодія з віртуальними об'єктами

Гнучкість VR орієнтована переважно на статичні сцени, де основна увага зосереджена на вивченні деталей чи маніпуляціях з об'єктами. Мобільність таких систем обмежена, адже використання VR прив'язане до певного фізичного простору, зазвичай із фіксованим положенням гарнітури.

Попри це, освітній потенціал VR є дуже високим. Він ідеально підходить для тренувань, таких як вивчення принципів роботи військової техніки чи

модельовання бойових умов. VR дозволяє створювати середовища, які неможливо або небезпечно відтворити у реальності.

Технології VR також забезпечують високий рівень графічної якості, дозволяючи деталізувати тривимірні об'єкти. Водночас для досягнення цієї якості потрібен добре оптимізований софт, який здатен забезпечити стабільну частоту кадрів, оскільки будь-які затримки негативно впливають на користувацький досвід.

Для створення VR-додатків найбільш популярним вибором є ігровий рушій Unity, який має вбудовані інструменти для розробки VR-проектів. Unity пропонує багатий функціонал, що ідеально підходить для створення програм із візуалізацією військової техніки у VR. Завдяки своїй гнучкості, можливості створення 3D-ландшафтів і підтримці сучасних VR-гарнітур, Unity забезпечує ефективну розробку високоякісних VR-додатків.

Віртуальна реальність (VR) відкриває нові горизонти для взаємодії з цифровим середовищем, створюючи повністю занурювальні 3D-світи. Вона знаходить застосування в іграх, навчанні, медицині та архітектурі, дозволяючи відтворювати ситуації, які неможливо реалізувати у реальному житті. Попри свої переваги, VR має обмеження у вигляді високої вартості обладнання, потреби в потужних пристроях і можливих фізіологічних дискомфортах. Тим не менш, розвиток технологій продовжує знижувати бар'єри для впровадження, розширюючи можливості використання VR у різних сферах.

1.3 Візуалізація з використанням доповненої реальності

Доповнена реальність (AR) - це технологія, яка дозволяє інтегрувати віртуальні об'єкти в реальний світ в режимі реального часу. Це досягається шляхом використання камер, датчиків руху та спеціального програмного забезпечення, що дозволяє доповнити реальне оточення цифровими елементами, такими як зображення, відео, звуки або тривимірні моделі [5].

AR можна визначити як систему, яка має такі три основні характеристики:

1. **Поєднання реального і віртуального світів:** AR накладає віртуальні об'єкти або інформацію на зображення реального світу, створюючи комбіновану реальність.
2. **Інтерактивність в реальному часі:** користувачі можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами у реальному світі в режимі реального часу, що робить AR інтерактивною технологією.
3. **Тривимірність:** віртуальні об'єкти в AR сприймаються як тривимірні і відповідним чином інтегруються в реальний простір.

Загальна схема роботи доповненої реальності в усіх випадках така: камера пристрою AR (смартфона, планшета тощо) знімає зображення реального об'єкта; програмне забезпечення пристрою проводить ідентифікацію отриманого зображення, поєднує реальне зображення з його доповненням і виводить кінцеве зображення на пристрій візуалізації. На рисунку 1.7 зображено телефон з AR додатком, за допомогою якого в кімнаті можна побачити синій стілець.

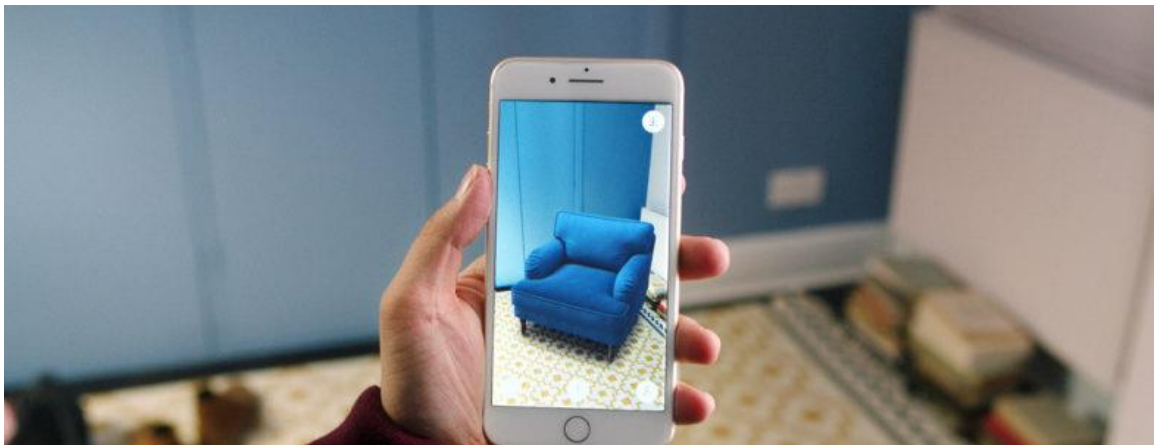


Рис. 1.7 Додавання стільчика у кімнату за допомогою AR додатку

Доповнена реальність має величезний потенціал і безліч сфер її застосування, починаючи від дозвілля і закінчуючи професійною діяльністю. Так, ми можемо не лише грати в гру, дії якої, наприклад, відбуваються не просто на екрані планшета або смартфона, а безпосередньо на нашому письмовому столі

або на дивані, але й використовувати цю технологію в сфері освіти, медицини, будівництва, архітектури тощо [5].

Перша згадка про доповнену реальність сходиться до 1950-х років, коли кінематографіст Мортон Хейліг думав про розвиток кіно і залученості глядача за рахунок використання всіх почуттів людини.

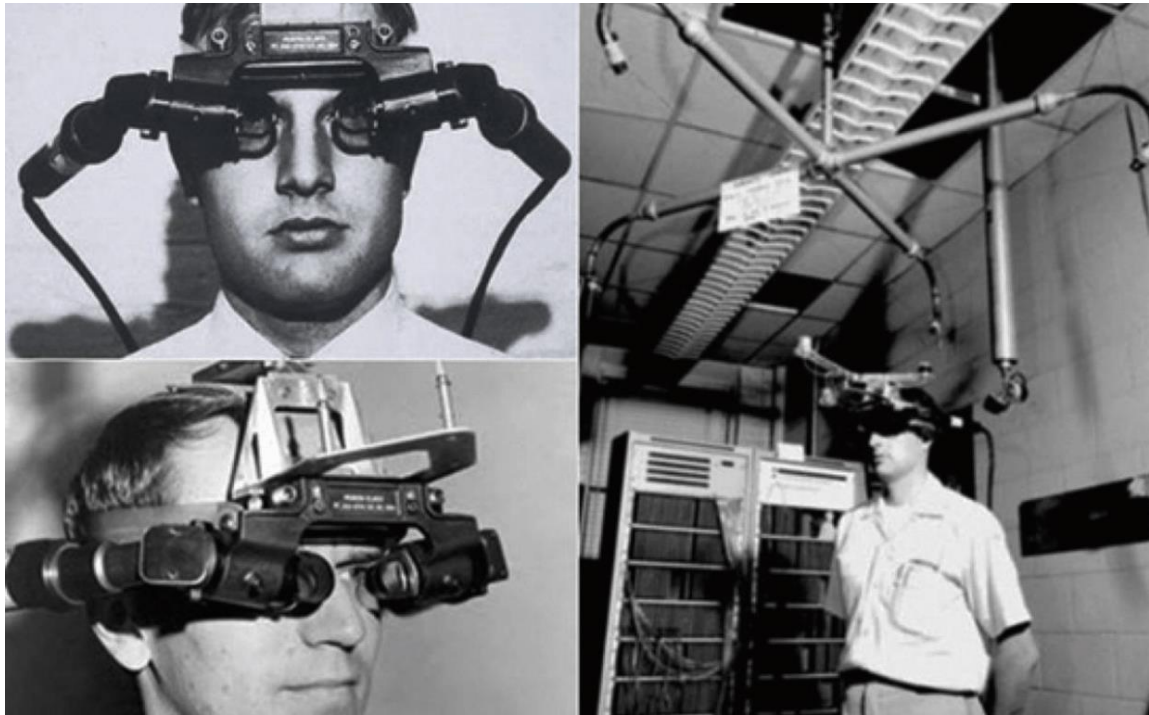


Рис. 1.8 Оптичний прозорий дисплей з головним кріпленням

У 1968 році Сазерленд був першим, хто створив систему доповненої реальності з використанням оптичного прозорого дисплея з головним кріпленням, яке можна побачити на рисунку 1.8.

Наступним експериментатором у сфері доповненої реальності став Стів Манн, який винайшов в 1980 році перший AR-пристрій, який можна було носити на голові. Він не був зручним, але дозволяв накладати на реальну картинку текст із зображенням, що зберігалося в портативному комп'ютері зхованому в портфелі випробувача.

Перші запущені у виробництво пристрої AR призначалися зовсім не для розваги. Технологію застосовували вчені корпорації Boeing: вона полегшувала роботу складальникам літаків. Вони носили спеціальні шоломи, в яких були

напівпрозорі дисплейні панелі. На них виводилася необхідна інформація: креслення, інструкції і таблиці. Пристрої були також пов'язані з портативними комп'ютерами.

Технологію з моменту винаходу використовували у військовому секторі, де вона отримала найбільш стрімкий розвиток. Super Cockpit представляв собою продуману систему доповненої реальності для пілотів. Спеціальний шолом виводив в поле зору льотчика текст, що містив всю необхідну для швидкого прийняття рішень інформацію. Надалі були розроблені також AR-інтерфейси для управління польотами, один з яких зображено на рисунку 1.9.



Рис. 1.9 AR-інтерфейс для управління польотами

В останні роки AR стала популярною завдяки розробці мобільних AR-застосунків. Ці програми дозволяють користувачам взаємодіяти з цифровою інформацією в реальному світі за допомогою смартфонів або планшетів. Ми можемо відміряти зростання популярності AR після того, як компанія Apple додала сканер LiDAR у свої iPad та iPhone. AR часто стає основою механізму

онлайн-ігор. Наприклад, кілька років тому підірвала інтернет гра Pokemon Go, вона стала такою популярною через можливість зловити Пікачу у власній вітальні.

Так технологія доповненої реальності стала набагато ближчою до безлічі розробників, дозволяючи створювати прості та складні ефекти для масок Інстаграм, ТікТок та цілих застосунків. Звичайно, професійні розробники використовують більш сучасні технології, як і раніше, але спробувати створити щось своє стало набагато легше.

Розпізнавання зображень є однією з ключових складових у технологіях доповненої реальності. Вона дозволяє програмному забезпеченню ідентифікувати об'єкти у реальному світі і накладати на них віртуальні елементи.

Серед основних методів розпізнавання зображень виділяють наступні:

- **Метод ключових точок (Feature-based approach)**
 - Використовуються особливі точки зображення, такі як кути, контури або текстури.
 - Програми, такі як SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) або SURF (Speeded-Up Robust Features), допомагають визначити ключові точки і зіставити їх з базою даних.
 - Переваги: висока точність, добре працює з різними масштабами та поворотами.
 - Недоліки: високі вимоги до обчислювальних ресурсів, проблеми з розпізнаванням при слабкому освітленні або низькій контрастності.
- **Метод глибинних мереж (Deep learning approach)**
 - Використання нейронних мереж, зокрема CNN (Convolutional Neural Networks), для навчання на великому наборі зображень.
 - Переваги: висока точність, можливість навчання на різноманітних даних.
 - Недоліки: потреба у великій кількості даних для навчання, високі обчислювальні витрати.

- **Метод шаблонів (Template matching)**

- Порівняння фіксованих шаблонів з зображенням у реальному часі.
- Переваги: простота реалізації, швидкість обробки.
- Недоліки: низька стійкість до змін масштабу, поворотів і освітлення.

Доповнена реальність - це інтерактивний досвід, в якому реальне середовище доповнюється згенерованими комп'ютером візуальними елементами, звуками та іншими стимулами. Вона може надати користувачеві посиленй, більш захоплюючий досвід, ніж той, який він міг би отримати в іншому випадку, що додає користувачеві задоволення або розуміння. З комерційної точки зору, доповнена реальність може підвищити впізнаваність бренду і збільшити продажі [6].

Оскільки доповнена реальність використовує реальне середовище в поєднанні з візуальними елементами, створеними комп'ютером, її можна вважати більш реалістичною, ніж віртуальну реальність, яка на 100% створена комп'ютером. Однак розвиток технологій означає, що навіть повністю віртуальне середовище може здаватися цілком реалістичним.

Компанія Boeing протягом останніх 20 років шукала систему, здатну скоротити час на виробництво кабельних джгутів і усунення помилок при їх виготовленні. Бортові системи літаків містять багато компонентів, пов'язаних між собою дротами і кабелями. Їх загальна довжина у літаку Боїнг-747, наприклад, складає 250 кілометрів.⁸ Укладка і з'єднання дротів виробляється за спеціальним шаблоном, після чого скріплюється у джгути, а на кінці кабелів встановлюють роз'єми [4]. Така робота займає багато часу і загрожує помилками. На початку 2014 р. компанія впровадила рішення з доповненої реальності на платформі окулярів Google Glass. За рахунок впровадження технології AR вдалося скоротити час виробництва на 25% і знизити кількість помилок на 50%.

Компанія Lockheed Martin використовує технології доповненої реальності у процесі збірки літака F-35. За основну платформу використовуються AR-

окуляри Epson Moverio BT-200, обладнані датчиками руху і глибини. Коли технік монтує на шасі деталь тормоза, в окулярах він бачить усі дані про те, де і в якому порядку варто проводити збірку і під'єднувати кабелі. За даними компанії NGRAIN, впровадивши цю систему, програмне забезпечення дозволяє інженерам працювати швидше на 30% і з точністю до 96%. (Варто підкреслити, що компанія Lockheed Martin з успіхом використовує також і технологію VR)

Концерн Fiat Chrysler Automobiles (FCA) застосував у своїй роботі проєкційну AR-систему OPS Solutions. Тепер на кожному етапі процесу складання робочі отримують наочну інформацію про свій наступний крок.

Крім все більш активного застосування в промисловості доповнена реальність використовується у комп'ютерних іграх, маркетингу (зокрема, у вуличному маркетингу, коли великий екран з AR розташовується в людному місці), в моді, соціальних мережах, медицині та хірургії, туризмі, в пресі, музейній справі - список прикладів застосування AR постійно поповнюється.

Пристрої, які здатні створювати доповнену реальність, можна розділити на декілька категорій.

Мобільні пристрої. До цієї категорії належать планшети, смартфони, окуляри доповненої реальності та лінзи доповненої реальності. Планшети та смартфони потребують спеціалізованого програмного забезпечення, наприклад, браузерів доповненої реальності, таких як Wikitude, Layar чи Blippar. Вони допомагають користувачам знаходити найближчі визначні місця, магазини чи кав'ярні, а також виконують інші корисні функції.

Окуляри доповненої реальності є самостійними пристроями, створеними для роботи з AR. Вони можуть проєктувати голограми та інформацію у реальний простір. Найвідоміші моделі - Google Glass (рисунк 1.10), Vuzix Blade, Epson Moverio, Sony SmartEyeglass. Хоча Microsoft HoloLens та Magic Leap One пропонують змішану реальність, працюючи з віртуальними об'єктами, прив'язаними до реального світу.



Рис. 1.10 Окуляри доповненої реальності Google Glass

Лінзи доповненої реальності - це перспективна технологія, яка ще перебуває у стадії розробки. Розробники прагнуть створити прозорий екран із вбудованими камерами, антенами та оптоелектронними компонентами. Компанії Samsung та Google вже працюють у цьому напрямку, але комерційний випуск очікується через 5-10 років.

Стаціонарні пристрої. Телевізори, комп'ютери та ігрові системи, як Kinect, також використовуються для доповненої реальності. Наприклад, на екрани можуть виводитися інтерактивні зображення під час спортивних трансляцій або супутникові карти з назвами вулиць.

Спеціальні засоби. Сюди належать шоломи військових пілотів, які відображають важливу інформацію прямо перед очима, економлячи час на огляд приладів. Наприклад, шолом пілота F-35 дозволяє бачити крізь корпус літака. Такі шоломи коштують понад 400 тис. доларів. Подібні технології інтегрують у мотоциклетні шоломи та автомобільні лобові стекла.

Приватні компанії адаптуються до нових технологій. Наприклад, одна з найважливіших меблевих компаній у галузі запустила додаток доповненої реальності, за допомогою якого користувачі можуть спробувати різні продукти за допомогою камер своїх смартфонів. Цей додаток дозволяє клієнтам покращити процес прийняття рішень при купівлі нових меблів.

Технології доповненої реальності впроваджуються і в інших галузях. Один з найбільших ритейлерів в індустрії краси створив додаток «Virtual Artist», який дозволяє користувачам спробувати різні засоби для макіяжу, перш ніж купувати їх. Таким чином, компанія створила реальний досвід перебування в магазині, для якого потрібен лише мобільний телефон.

Окрім доповненої реальності, індустрія мобільної комерції стимулювала розвиток чат-ботів - програмного забезпечення, яке може імітувати розмову між клієнтом і представником служби підтримки. Таким чином, процес підтримки клієнтів є більш ефективним, оскільки ви можете просто визначити повторювані проблеми та встановити загальні та конкретні відповіді кожного разу, коли користувач ставить запитання [7].

Рисунок 1.10 ілюструє динаміку кількості користувачів віртуальної реальності та доповненої реальності у Сполучених Штатах Америки з 2018 по 2020 рік, а також прогнозує динаміку на наступні роки.

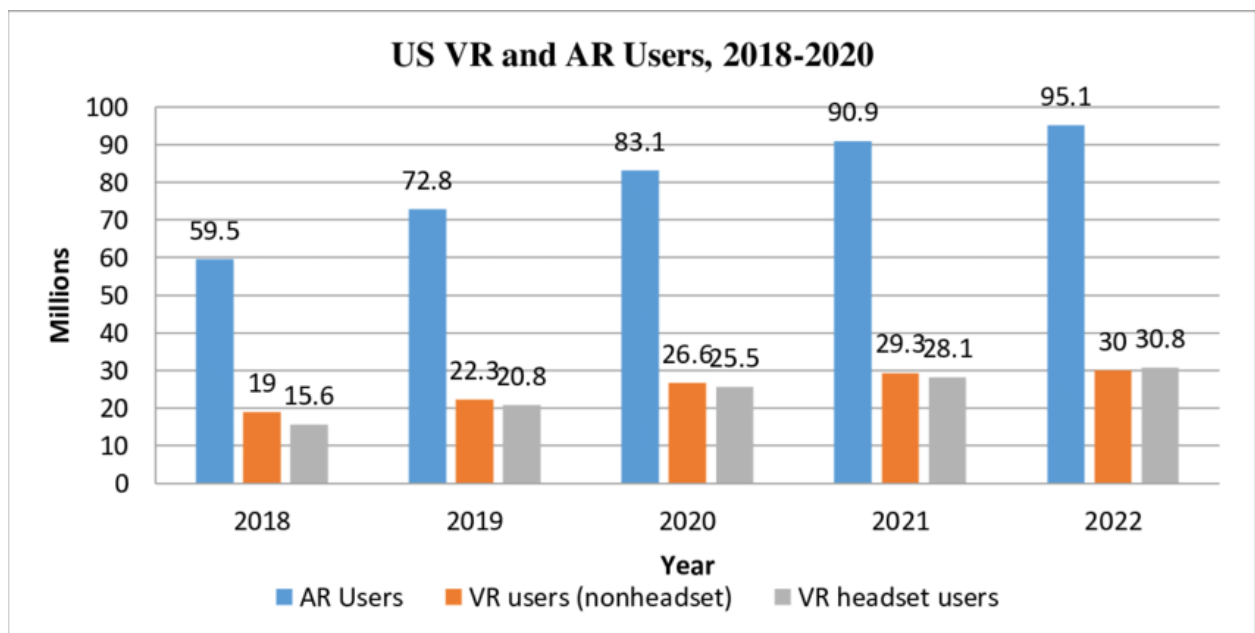


Рис. 1.11 Статистика щодо користувачів AR та VR у Сполучених Штатах Америки

Хоча багато хто вважає віртуальну і доповнену реальність наступною великою подією, все ще існує певна невизначеність щодо того, для чого обидві

технології можуть і будуть насправді використовуватися. За даними Goldman Sachs, які прогнозують, що до 2025 року галузь досягне 80 мільярдів доларів на рік (35 мільярдів доларів на програмне забезпечення та 45 мільярдів доларів на обладнання), потенціал технологій AR/VR є надзвичайно різноманітним.

Як і багато інших, дослідники Goldman Sachs вважають відеоігри найперспективнішою сферою використання технології, а прямі трансляції подій та відеорозваги - іншими основними сферами застосування технології VR/AR, орієнтованими на споживача.

Однак потенціал нових технологій виходить далеко за межі споживчого простору. За оцінками Goldman Sachs, майже половина доходів індустрії буде генеруватися в корпоративному та державному секторі, а найбільш перспективними сферами використання є охорона здоров'я та інженерія. На рисунку 1.12 зображено прогнозований розмір ринку програмного забезпечення VR/AR для різних сценаріїв використання у 2025 році [8].

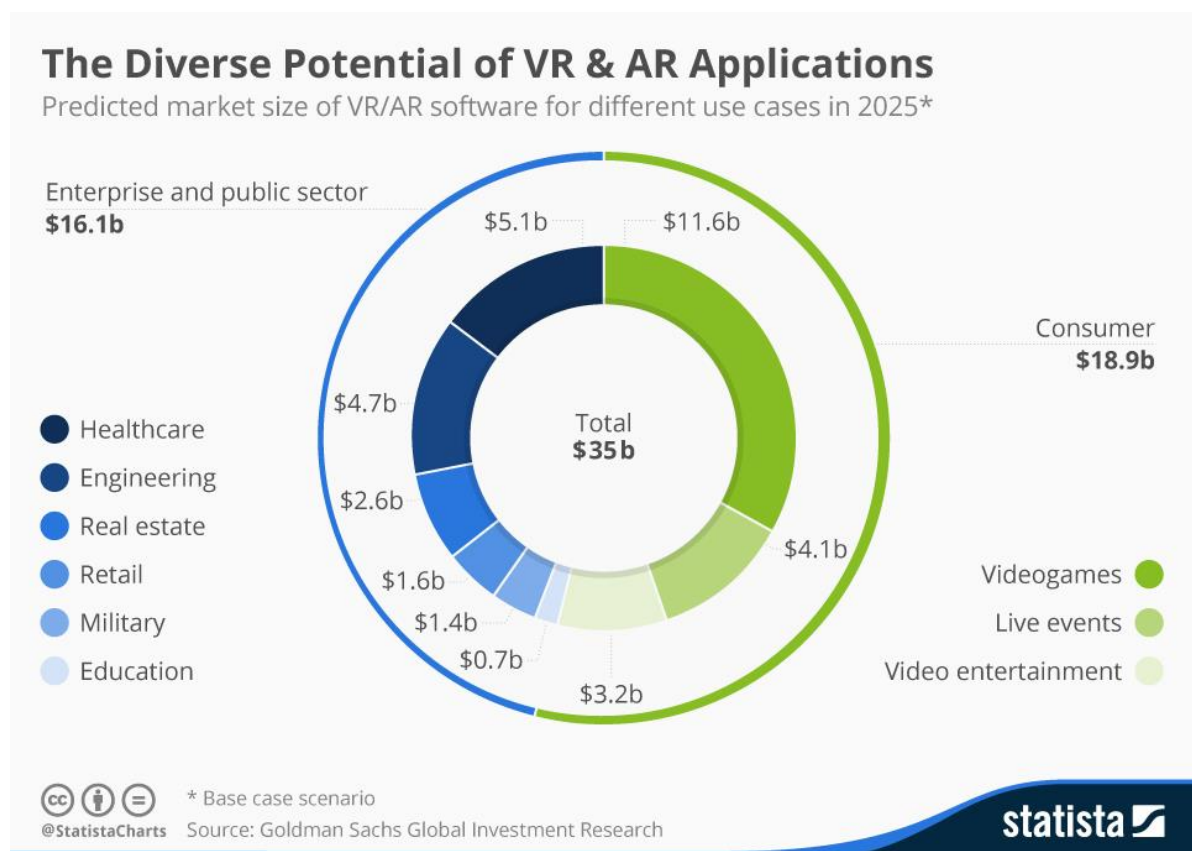


Рис. 1.12 Прогнозований розмір ринку програмного забезпечення VR/AR для різних сценаріїв використання у 2025 році

1.4 Висновки до розділу

Підсумовуючи, доповнена реальність є потужним інструментом для інтеграції цифрового світу у реальний. Вона знаходить застосування в освіті, медицині, промисловості та розвагах, дозволяючи підвищити ефективність і доступність інформації. Водночас AR залежить від технологій, таких як мобільні пристрої, окуляри чи шоломи, що поки що обмежує її масове впровадження. Проте із розвитком обладнання та програмного забезпечення потенціал AR продовжує зростати, обіцяючи трансформувати багато сфер діяльності.

У першому розділі проведено всебічний аналіз технологій доповненої реальності та їх можливостей для візуалізації військової техніки. Було визначено, що AR має значний потенціал для демонстрації складних технічних об'єктів, забезпечуючи інтерактивність і доступність. Технології AR дозволяють створювати інтеграцію віртуальних моделей у реальний світ, що відкриває нові можливості для навчання та демонстрації.

Значну увагу приділено порівнянню AR з іншими методами візуалізації, зокрема VR та 3D-візуалізацією на ПК. Було підкреслено переваги AR у мобільності та інтерактивності, тоді як традиційні методи демонстрації обмежені фіксованими умовами використання та складніші у налаштуванні. Для порівняльного аналізу створена таблиця 1.1:

Таблиця 1.1

Порівняльний аналіз методів візуалізації

Критерій	3D-візуалізація на ПК	VR	Unity з AR Foundation
Доступність	Потребує потужного ПК (\$500 - \$2000)	Потребує VR-гарнітуру (\$400 - \$1000)	Доступно на мобільних пристроях (\$200 - \$800)
Захопленість користувача	Взаємодія з мишею та клавіатурою	Обмежена інтерфейсом	Високий рівень залученості через взаємодію з реальним світом

Продовження таблиці 1.1

Порівняльний аналіз методів візуалізації

Гнучкість	Статичні сцени		Динамічна зміна позиції та орієнтації об'єкта в реальному часі
Мобільність	Обмежено фіксованим місцем використання		Може бути використано в будь-якому місці з мобільним пристроєм
Освітній потенціал	Стандартне навчання	Добре для тренувань	Інтерактивне навчання з реальними об'єктами
Час налаштування	на 5-10 хвилин	10-15 хвилин	1-2 хвилини

Розглянуто основні характеристики доповненої реальності, включаючи її здатність до інтеграції з мобільними пристроями, зокрема смартфонами та планшетами. Завдяки цій особливості AR стає доступною широкому колу користувачів, забезпечуючи можливість роботи без дорогого обладнання, що є важливою перевагою перед VR та традиційною 3D-візуалізацією.

Проведено аналіз різних платформ і інструментів для розробки AR-додатків, зокрема Unity з AR Foundation, Vuforia, ARKit і ARCore. Виявлено, що Unity є найбільш універсальним інструментом завдяки його гнучкості, підтримці кросплатформенності та великій кількості додаткових ресурсів у вигляді готових рішень на Asset Store.

Особливу увагу приділено впровадженню інтерактивних елементів у додатках доповненої реальності. Було відзначено, що саме інтерактивність є основним фактором, який сприяє кращому сприйняттю техніки користувачем і підвищує ефективність навчальних і демонстраційних процесів.

Розглянуто можливості використання AR у військовій сфері. Показано, що завдяки інтеграції віртуальних моделей у реальне середовище можна ефективно вивчати конструкцію та функціонал військової техніки, не витрачаючи ресурси на фізичні макети чи виїзди на полігони.

У підсумку, проведений аналіз у першому розділі підтверджує доцільність використання AR для реалізації візуалізації військової техніки. Це обґрунтовує вибір напрямку дослідження та визначає перспективи для розробки методу, який стане основою подальших практичних розробок у цьому проєкті.

2 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

2.1 Ігровий рушій Unity

Для розробки методу візуалізації військової техніки за допомогою технологій доповненої реальності було використано ряд програмних засобів, що дозволяють ефективно реалізувати поставлені завдання. Основною платформою для розробки стала Unity, яка є потужним інструментом для створення інтерактивних 3D-додатків та ігор. Використання AR Foundation (ARCore) дозволило інтегрувати функціонал доповненої реальності, забезпечивши точне розпізнавання та відображення моделей військової техніки в реальному середовищі через камеру мобільного пристрою.

Unity є однією з найпопулярніших платформ для розробки додатків доповненої реальності завдяки своїй гнучкості, потужним інструментам та великій спільноті розробників. Основні переваги використання Unity для створення AR додатків включають:

1. **Інтеграція з різними AR SDK:** Unity підтримує інтеграцію з такими платформами для розробки AR, як Vuforia, ARCore та ARKit. Це дозволяє розробникам створювати універсальні додатки, які працюють на різних пристроях і операційних системах.
2. **Мультиплатформність:** Unity дозволяє розробляти додатки для різних платформ, включаючи iOS, Android, Windows та інші, що робить її ідеальним вибором для створення кросплатформних рішень.
3. **Потужний редактор:** Unity надає потужний редактор для створення і редагування 3D моделей, сцени, шейдерів та анімацій. Завдяки цьому розробники можуть легко створювати високоякісні візуальні ефекти та інтерактивні елементи.

4. **Підтримка C#:** Unity використовує мову програмування C#, яка є однією з найбільш популярних мов для розробки ігор та додатків, що забезпечує простоту і ефективність розробки.
5. **Широкий набір бібліотек і плагінів:** Unity Asset Store пропонує величезну кількість готових рішень, бібліотек і плагінів, які допомагають значно скоротити час розробки та знизити витрати.

Проект в Unity поділяється на сцени (рівні) - окремі файли, що містять свої ігрові світи зі своїм набором об'єктів, сценаріїв, і налаштувань [9]. Сцени можуть містити в собі як об'єкти-моделі (ландшафт, персонажі, предмети довкілля тощо), так і порожні ігрові об'єкти — ті, що не мають моделі, проте задають поведінку інших об'єктів (тригери подій, точки збереження прогресу тощо). Їх дозволяється розташовувати, обертати, масштабувати, застосовувати до них скрипти. В них є назва (в Unity допускається наявність двох і більше об'єктів з однаковими назвами), може бути тег (мітка) і шар, на якому він повинен відображатися.

Так, у будь-якого предмета на сцені обов'язково наявний компонент Transform - він зберігає в собі координати місця розташування, повороту і розмірів по всіх трьох осях.

У об'єктів з видимою геометрією також за умовчанням присутній компонент Mesh Renderer, що робить модель видимою. Різні моделі можуть об'єднуватися в набори (асети) для швидкого доступу до них. Наприклад, моделі споруд на спільну тему. На рисунку 2.1 зображений інтерфейс ігрового рушія Unity з відкритою сценою розробленого мобільного додатку для візуалізації військової техніки.



Рис. 2.1 Інтерфейс ігрового рушія Unity

Unity підтримує фізику твердих тіл і тканини, фізику типу Ragdoll (ганчіркова лялька). У редакторі є система успадкування об'єктів; дочірні об'єкти будуть повторювати всі зміни позиції, повороту і масштабу батьківського об'єкта. Скрипти в редакторі, написані мовою C#, прикріплюються до об'єктів у вигляді окремих компонентів.

Рендеринг зображення відбувається через віртуальну камеру огляду. В робочій області редактора ігрова сцена може розміщуватися як завгодно, а при рендерингу - так, як її видно з камери. В сцені може бути декілька камер, які рухаються за персонажем чи за вказаною траєкторією. Вигляд з камери подається в двовимірному чи тривимірному (в перспективі або ортографічно). Фон сцени, видимий через камеру, типово зображає небо, утворене скайбоксом, але може презентувати й інше довкілля.

Unity підтримує файли 3ds Max, Maya, Softimage, Blender, modo, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks та Allegorithmic Substance. В ігровий проєкт Unity можна імпортувати об'єкти цих програм та виконувати налаштування за допомогою графічного інтерфейсу. Таким чином,

відредагована модель у програмі Blender, була імпортована до проекту Unity (рисунок 2.2).

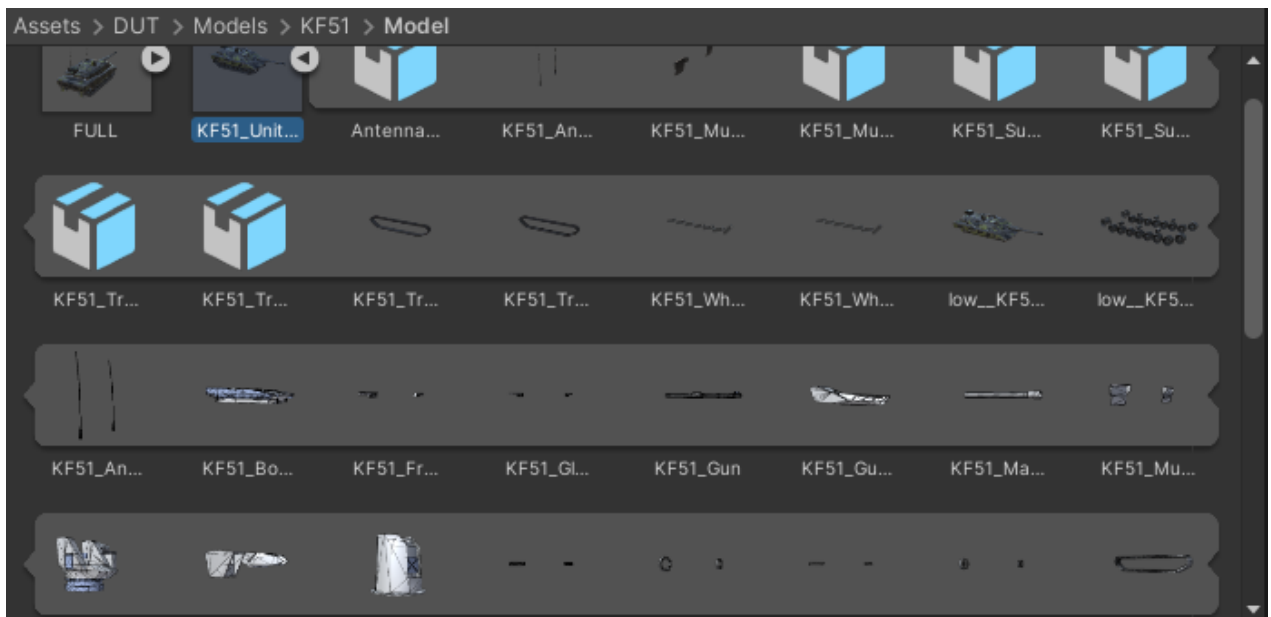


Рис. 2.2 Файл імпортованої моделі танку

Для написання шейдерів використовується ShaderLab, що підтримує шейдерні програми написані на GLSL або Cg. Шейдер може включати декілька варіантів реалізації, що дозволяє Unity визначати найкращий варіант для конкретної відеокарти. Unity також має вбудовану підтримку фізичного рушія Nvidia PhysX (колишнього Ageia), підтримку симуляції одягу в системі реального часу на довільній та прив'язаній полігональній сітці (починаючи з Unity 3.0), підтримку системи ray casts та шарів зіткнення.

Unity активно використовується для створення програм-тренажерів, зокрема для тренувань з керування FPV-дронами. Такі симулятори допомагають відтворювати реалістичні умови польотів, дозволяючи користувачам опановувати маневрування, стабілізацію та виконання завдань у віртуальному середовищі. Завдяки потужним інструментам фізики та візуалізації Unity, можна враховувати погодні умови, особливості рельєфу та складність сценаріїв. Приклад розробки одного з таких симуляторів зображено на рисунку 2.3 [10].

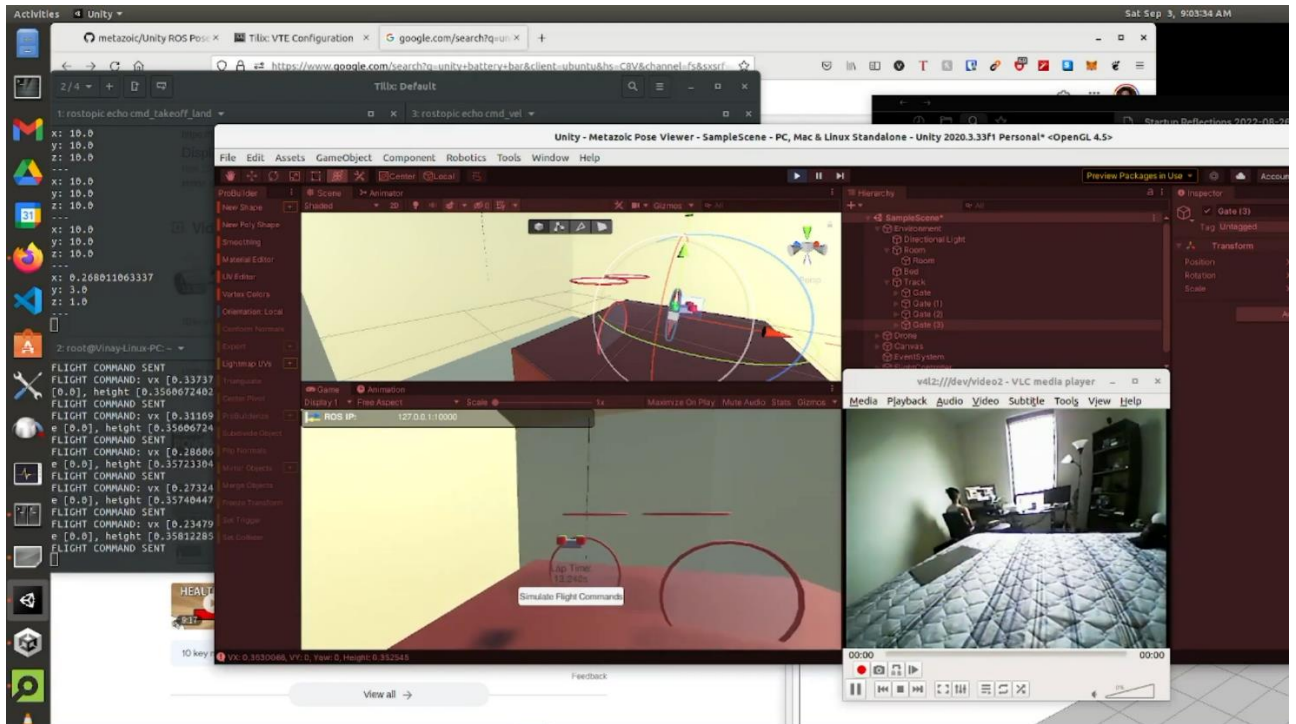


Рис. 2.3 Проект з керування FPV-дроном та використанням AR

Такі тренажери ефективні для навчання операторів дронів у сферах пошуку і порятунку, інспекцій об'єктів або картографування. Unity забезпечує можливість адаптації тренувань під конкретні завдання та цілі.

Unity була обрана завдяки її універсальності та можливості створення як 2D, так і 3D додатків з підтримкою широкого спектра платформ. Зокрема, Unity забезпечує оптимальну підтримку для розробки мобільних додатків, що дозволяє використовувати функції доповненої реальності для взаємодії з фізичним світом. Інтеграція з AR Foundation дозволила реалізувати точне відображення 3D-моделей в реальному просторі, забезпечуючи ефективну роботу навіть на мобільних пристроях середнього класу.

Vuforia є однією з найбільш відомих платформ для розробки AR додатків. Основні характеристики Vuforia включають:

- **Розпізнавання зображень та об'єктів:** Vuforia дозволяє розпізнавати і трекати зображення, об'єкти, текст та навіть цілі сцени в реальному часі.

- **Підтримка різних пристроїв:** Vuforia підтримує роботу на Android, iOS, UWP та цифрових окулярах, таких як HoloLens.
- **Легкість інтеграції:** Vuforia легко інтегрується з Unity, що дозволяє швидко створювати AR додатки без необхідності глибокого знання AR технологій.
- **Хмарні функції:** Vuforia пропонує хмарні функції для розпізнавання зображень, що дозволяє розробникам використовувати необмежену кількість зображень у своїх додатках.

ARCore - це платформа для розробки додатків доповненої реальності від Google, яка спеціалізується на Android пристроях.

Основні особливості ARCore:

- **Моніторинг руху:** ARCore використовує дані з камери та сенсорів для відстеження положення та орієнтації пристрою в просторі.
- **Оцінка розміру та освітлення:** ARCore може визначати розмір поверхонь та оцінювати рівень освітлення у навколишньому середовищі для більш реалістичного розміщення віртуальних об'єктів.
- **Сумісність з Unity:** ARCore легко інтегрується з Unity, що дозволяє розробникам використовувати всі переваги цієї потужної платформи.

ARKit - це платформа для розробки додатків доповненої реальності від Apple, яка призначена для iOS пристроїв.

Основні характеристики ARKit:

- **Висока точність відстеження:** ARKit використовує дані з камери та сенсорів для забезпечення високої точності відстеження рухів та позиції пристрою.
- **Розпізнавання обличчя:** ARKit підтримує розпізнавання та трекінг обличчя, що дозволяє створювати інтерактивні AR ефекти.
- **Інтеграція з Unity:** ARKit легко інтегрується з Unity, що дозволяє швидко створювати високоякісні AR додатки для iOS пристроїв.

Unity є потужним інструментом не тільки для створення ігор, але й для розробки програм у різних сферах, включаючи додатки для доповненої реальності (AR). Завдяки своїм гнучким можливостям, Unity дозволяє створювати високоякісні рішення для різних потреб, забезпечуючи ефективну розробку інтерактивних і візуальних програм. Розробники можуть вибрати відповідні інструменти для своїх проектів, забезпечуючи оптимальний результат у різних сферах.

2.2 Середовище розробки для мови програмування C#

Для редагування коду було обрано середовище Rider (рисунок 2.4), яке забезпечує зручний інтерфейс для розробників, зокрема для роботи з C# кодом. Rider підтримує різноманітні функції, зокрема автодоповнення коду, інструменти для налагодження та аналізу продуктивності, що значно прискорює процес розробки та забезпечує зручний робочий процес для програмістів. Інтеграція з Unity забезпечує безперебійну розробку, швидкий доступ до інструментів і можливість оптимізації коду, що суттєво скорочує час на реалізацію та виправлення помилок.

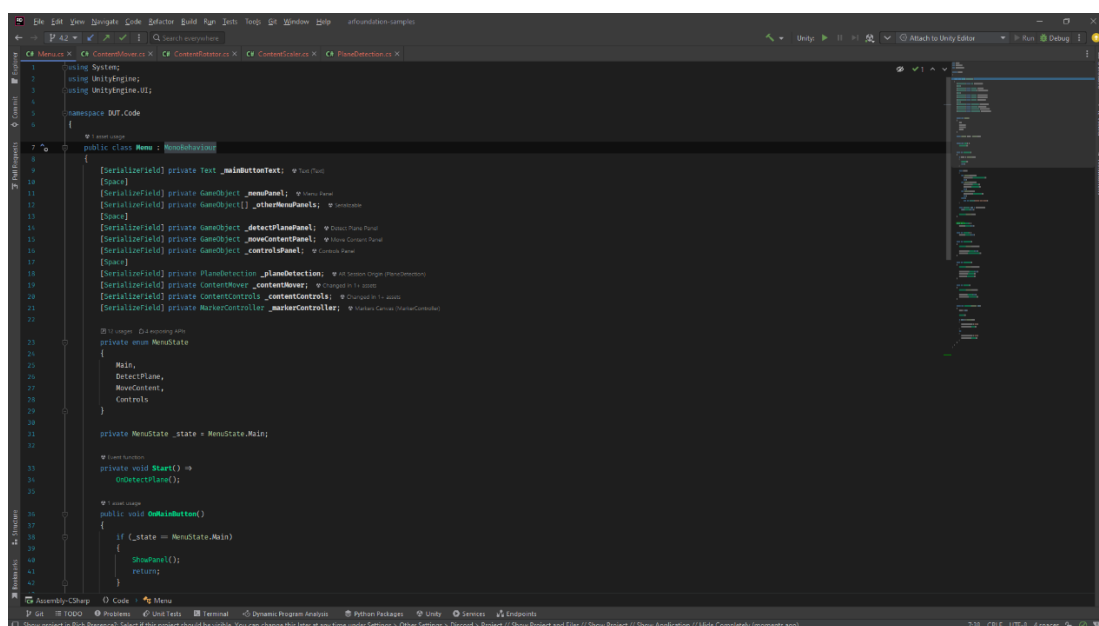


Рис. 2.4 Інтерфейс середовища розробки для мови програмування C#

Rider - комерційне інтегроване середовище розробки для різних мов програмування (C#, VB.NET, F#, JS та ін.) від компанії JetBrains. Система поставляється у вигляді комерційної версії, для якої активні розробники відкритих проєктів або студенти мають можливість отримати безкоштовну ліцензію. JetBrains Rider - швидкий і потужний редактор C# для Unity, який працює на Windows, Mac і Linux. Неперевершена кількість інтелектуальних механізмів інспекції коду та рефакторингу (понад 2500), що входять до складу Rider, дають змогу писати безпомилковий код на C# набагато швидше [11].

У Rider уже вбудовано підтримку Unity. Коли ви вперше відкриєте рішення Unity, Rider буде автоматично встановлено як стандартний редактор для файлів шейдерів і сценаріїв C#. Згодом при подвійному клацанні по файлу шейдера або сценарію C# вони будуть відкриватися в Rider.

Завдяки інтегрованому механізму двостороннього зв'язку ви можете входити або виходити з режиму Play, а також призупиняти його та продовжувати виконання покадровими кроками, при цьому не залишаючи Rider. На панелі інструментів є кнопки перегляду гри Play, Pause і Step, які працюють так само, як у редакторі Unity. Невелика іконка Unity у рядку стану показує стан редактора Unity: під'єднаний, оновлює стан або перебуває в режимі Play. Будь-які зміни, внесені в Rider у режимі Edit, будуть одразу ж передані в редактор Unity.

Rider дає змогу без проблем здійснювати налагодження ваших скриптів C#, коли вони виконуються в редакторі Unity. Усі необхідні параметри вже налаштовані, вам потрібно лише натиснути комбінацію клавіш, команду меню або кнопку Debug на панелі інструментів, щоб під'єднати налагоджувач до запущеного редактора Unity. У редакторі можна встановлювати точки зупинки, виконувати код покроково, переглядати значення локальних змінних, відстежувати певні значення, а також обчислювати вирази.

За допомогою Rider можна виконувати навіть налагодження коду, для якого немає налагоджувальної інформації. Rider автоматично декомпілює зовнішні бібліотеки, даючи змогу виконувати налагодження декомпілюваного

коду, входити у вкладені функції, встановлювати точки зупинки, переглядати та встановлювати локальні та інші змінні.

Rider дає змогу писати більш продуктивний C#-код для Unity. Це досягається шляхом підсвічування ресурсномістких API Unity усередині методів, що викликаються кожен кадр, таких як Update і корутини. Rider підсвічує виклики навіть тих методів, які використовують ресурсомісткі API Unity неявним чином.

Крім цього, Rider оснащений безліччю спеціально призначених для Unity інспекцій і відповідних швидких виправлень. Він здатний розпізнавати патерни низькопродуктивного коду і може рекомендувати для них автоматичні виправлення, наприклад використовувати перевантаження, кешування значень або альтернативний API.

2.3 Ресурс Sketchfab

Для реалізації 3D-моделей техніки було використано ресурси з популярного сайту Sketchfab (рисунок 2.5). Цей ресурс дозволяє легко знаходити і використовувати високоякісні 3D-моделі, що підходять для інтеграції у реальні проекти. Оскільки більшість моделей на Sketchfab мають відкриті ліцензії, вони можуть бути використані в комерційних та некомерційних проектах без порушення авторських прав.

Sketchfab - це веб-сайт 3D-активів, який використовується для публікації, обміну, пошуку, купівлі та продажу 3D, VR і AR-контенту [12]. Він надає переглядач, заснований на технологіях WebGL і WebXR, який дозволяє користувачам відображати 3D-моделі в Інтернеті, які можна переглядати в будь-якому мобільному браузері, настільному браузері або гарнітурі віртуальної реальності.

Компанія, що стоїть за ним, сьогодні базується в Парижі та Нью-Йорку. Навесні 2013 року Sketchfab взяла участь у програмі стартап-акселератора

TechStars New York City, залучила 2 мільйони доларів у грудні 2013 року та 7 мільйонів доларів у червні 2015 року.

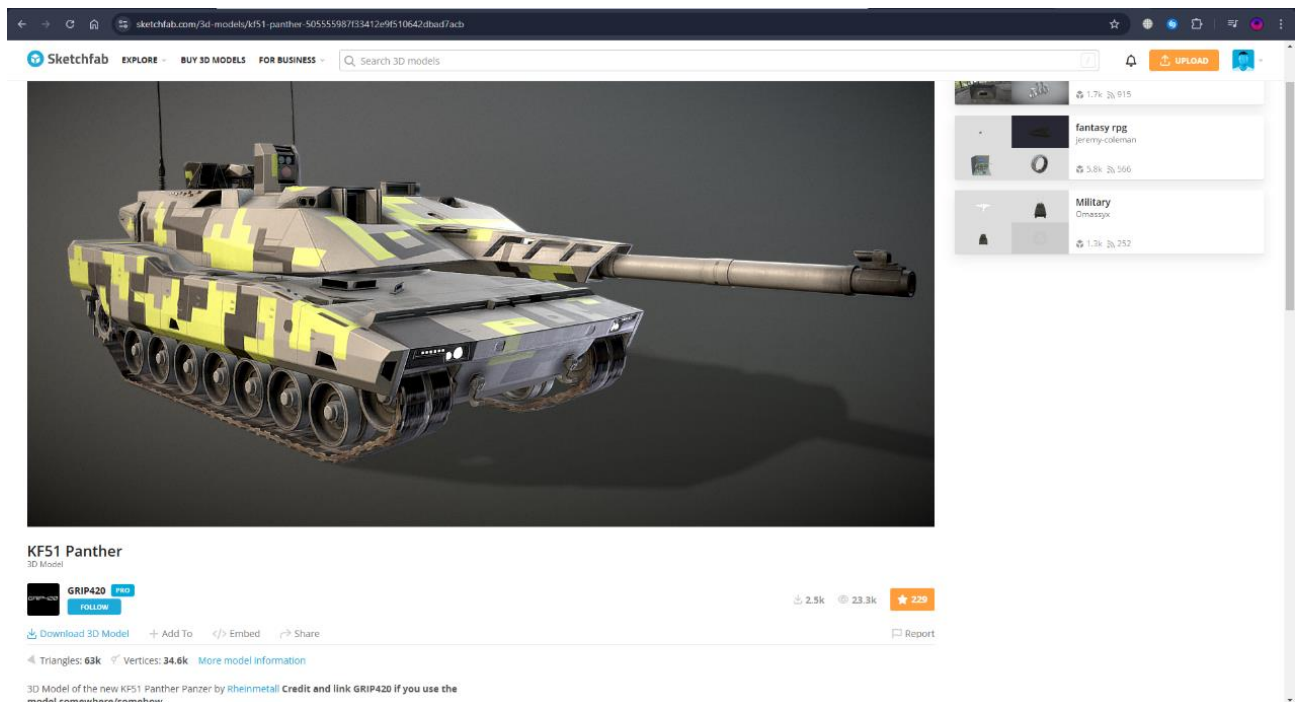


Рис. 2.5 Сторінка сайту Sketchfab

21 липня 2021 року Epic Games придбала Sketchfab. Пізніше було оголошено, що Sketchfab буде поступово припинено і приєднано до нового маркетплейсу Epic Games під назвою Fab.

Основним продуктом Sketchfab є переглядач моделей 3D, віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR). Він дозволяє користувачам вільно переміщатися навколо або всередині 3D-сцени за допомогою миші, сенсорних маніпуляцій, VR або AR. На додаток до статичних 3D-моделей, переглядач може відтворювати та керувати 3D-анімацією. Глядачі можуть увімкнути режим VR, щоб побачити модель у гарнітурі віртуальної реальності, або режим AR, щоб вставити модель у реальний світ за допомогою мобільного пристрою.

3D-візуалізатор використовується на веб-сайті Sketchfab і в мобільних додатках, але також може бути вбудований на зовнішні веб-сайти, зокрема на Facebook, Twitter або Wordpress.

Sketchfab надає онлайн- та мобільні портали спільноти, де відвідувачі можуть переглядати, оцінювати, завантажувати або купувати створені користувачами 3D-моделі.

Користувачі Sketchfab мають сторінки профілів, преміум-користувачі можуть налаштовувати та ділитися своїми моделями приватно. Користувачі Sketchfab можуть зробити свої файли 3D-моделей доступними для завантаження на умовах ліцензії Creative Commons або продати їх у магазині Sketchfab. Завдяки вмісту, доступному для продажу або завантаження, Sketchfab позиціонується як ринок 3D-моделей та ринок 3D-друку, оскільки деякі моделі сумісні з 3D-друком.

3D-моделі можна завантажувати до Sketchfab з веб-сайту або безпосередньо з різних 3D-програм за допомогою плагінів (наприклад, для 3ds Max або SketchUp) або безпосередньо (з Blender або Adobe Photoshop).

Sketchfab пропонує API, що дозволяє розробникам інтегрувати функціонал для пошуку та завантаження 3D-моделей Sketchfab, ліцензованих Creative Commons, у свої додатки.

Sketchfab використовує JavaScript API WebGL для відображення 3D на веб-сторінках у всіх основних сучасних веб-браузерах. Він не покладається на сторонні плагіни.

3D-візуалізатор використовує бібліотеку JavaScript OSG.JS з відкритим вихідним кодом, бібліотеку, створену і значною мірою підтримувану співробітниками Sketchfab. Візуалізація досягається за допомогою класичного рендерингу в реальному часі або фізичного рендерингу.

2.4 Інструмент редагування 3D-графіки Blender

Для редагування 3D-моделей техніки використовувався Blender (рисунок 2.6) - потужний і безкоштовний інструмент для створення та редагування 3D-графіки. Blender дозволяє працювати з моделями на високому рівні деталізації, виконувати текстуровання, анімацію та оптимізацію геометрії. Це дозволило

підготувати моделі військової техніки до інтеграції в Unity, де вони отримали необхідну для AR коректність у розмірах та деталях. Завдяки зручним інструментам Blender, редагування моделей було швидким і ефективним, що сприяло значному зниженню часу на розробку.



Рис. 2.6 Інтерфейс програми Blender

Blender - це пакет для створення 3D-зображень з відкритим вихідним кодом, який підтримує практично всі аспекти процесу 3D-розробки. Поряд з потужною функціональністю моделювання, в ньому також є надійні засоби для створення текстур, ригінгу, анімації, освітлення та безліч інших інструментів для створення 3D. Незалежно від того, чи хочете ви працювати лише зі статичними моделями, чи зануритися у світ анімації, Blender - чудовий інструмент. Крім того, він містить відеоредактор та ігровий рушій, тому у вас є широкі можливості [13].

Blender був розроблений у 1994 році Тонном Роосендаалом (Ton Roosendaal) для внутрішнього використання в його анімаційній студії. Від самого початку Blender був орієнтований на доступність і надання людям творчих можливостей

для втілення їхньої уяви в життя. Для тих, хто хоче створювати власні моделі для 3D-друку, це безцінний інструмент.

Blender було випущено на умовах GPL (GNU General Public License), що означає, що він ніколи не втратить цього статусу. Це означає, що програма залишатиметься вільною. Ніяких ліцензій, ніяких зборів, ніколи. Єдиним реальним обмеженням є те, що якщо створити модифіковану версію Blender'a, її можна розповсюджувати лише на тих самих умовах. Варто також зазначити, що все, що створюється у Blender, є власністю автора, і він може продавати та розповсюджувати свої творіння на свій розсуд.

Ще однією чудовою особливістю Blender'a є його кросплатформенна сумісність, тож він працюватиме на Windows, MacOS та Linux. Комп'ютери, яким більше 10 років, можуть мати проблеми із запуском програми, залежно від того, наскільки вони оновлені. Незалежно від цього, слід переконатися, що операційна система є актуальною.

При бажанні, Blender можна запустити з флешки, оскільки він є повністю автономним. На сторінці завантаження потрібно просто вибрати Windows Portable у випадіючому списку під головною кнопкою завантаження. Таку версію програми можна взяти з собою, але все одно знадобиться достатньо потужний комп'ютер, щоб впоратися з програмою. Рекомендується використовувати флешку USB 3.0.

Blender не має високих вимог до апаратного забезпечення. Звичайно, залежно від рівня деталізації та розміру результатів, швидший процесор і трохи більше оперативної пам'яті прискорять процес. Якщо планується рендерити анімацію для послідовності зображень, обов'язково потрібно перевірити, як увімкнути рендеринг на GPU за допомогою OpenCL. Чим новіший і швидший комп'ютер, тим швидше будуть генеруватися вихідні дані.

Blender підтримує різноманітні геометричні примітиви, зокрема полігональні сітки, криві Безьє, поверхні NURBS, метаболі, ікосфери, текст та систему моделювання n-кутників під назвою B-mesh. Існує також розширена система полігонального моделювання, доступ до якої можна отримати через

режим редагування. Вона підтримує такі функції, як витискання, скошування та поділ.

Модифікатори застосовують неруйнівні ефекти, які можуть бути застосовані при рендерингу або експорті, наприклад, поверхні поділу [14].

Blender підтримує цифрове скульптування з різною роздільною здатністю, яке включає динамічну топологію, «запікання», ремешинг, ресимметрію та децимацію. Останнє використовується для спрощення моделей для експорту (наприклад, ігрових ресурсів).

У Blender'і є система вузлових графів (рисунок 2.7) для процедурного та неруйнівного створення та маніпулювання геометрією. Вперше її було додано у Blender 2.92, який фокусується на розсіюванні та інстансуванні об'єктів. Вона має форму модифікатора, тому може накладатися на інші різні модифікатори. Система використовує атрибути об'єктів, які можна змінювати та перевизначати за допомогою рядкових даних. Атрибути можуть включати позиції, нормалі та UV-карти. Утиліта Geometry Nodes також має можливість створювати примітивні сіті. У Blender 3.0 до Geometry Nodes було додано підтримку створення та модифікації кривих об'єктів; у цьому ж випуску робочий процес Geometry Nodes було повністю перероблено за допомогою полів, щоб зробити систему інтуїтивно зрозумілішою та схожою на роботу з вузлами шейдерів.

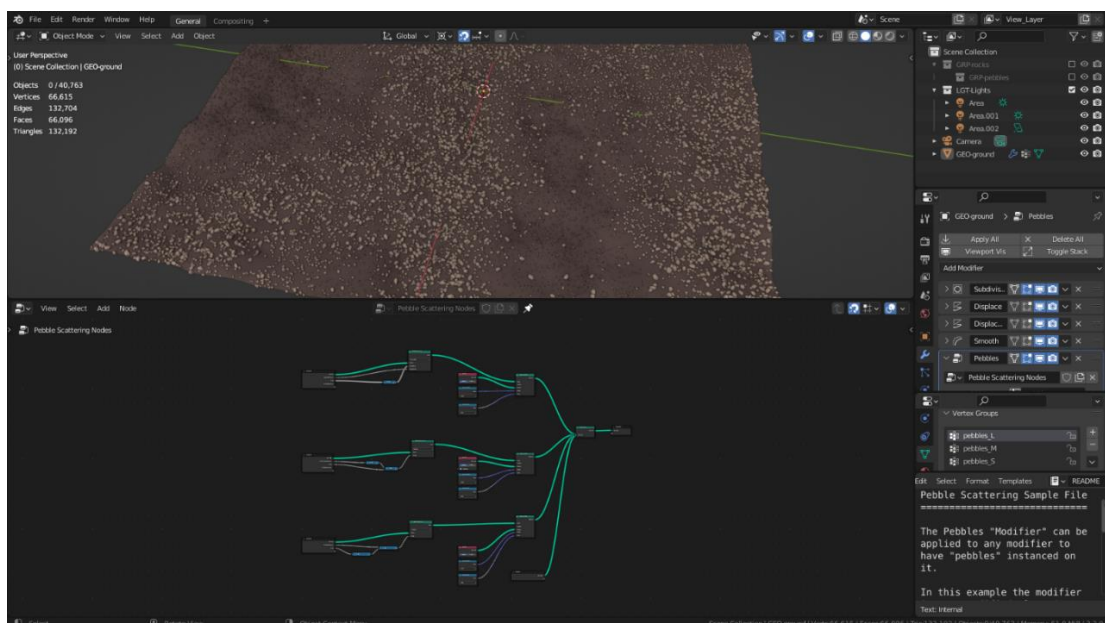


Рис. 2.7 Редактор геометричних вузлів у Blender

Матеріали визначають вигляд сітей, кривих NURBS та інших геометричних об'єктів. Вони складаються з трьох шейдерів, які визначають вигляд поверхні сіті, об'єм всередині та зміщення поверхні.

Поверхневий шейдер визначає взаємодію світла на поверхні сіті. Одна або більше двонаправлених функцій розподілу розсіювання (BSDF) можуть визначати, чи буде вхідне світло відбиватися, заломлюватися у сітці або поглинатися. Значення альфа є однією з мір прозорості.

Коли шейдер поверхні не відбиває і не поглинає світло, воно потрапляє в об'єм (світлопропускання). Якщо шейдер об'єму не задано, світло буде проходити прямо (або заломлюватися, див. показник заломлення або IOR) на інший бік сіті.

Якщо шейдер об'єму визначено, він описує взаємодію світла при проходженні через об'єм сіті. Світло може розсіюватися, поглинатися або навіть випромінюватися у будь-якій точці об'єму.

Форма поверхні може бути змінена за допомогою шейдерів зміщення. У такий спосіб можна використовувати текстури, щоб зробити поверхню сіті більш деталізованою.

Залежно від налаштувань, зміщення може бути віртуальним - лише змінювати нормалі поверхні, щоб створити враження зміщення (також відоме як відображення нерівностей) - реальним, або комбінацією реального зміщення з відображенням нерівностей.

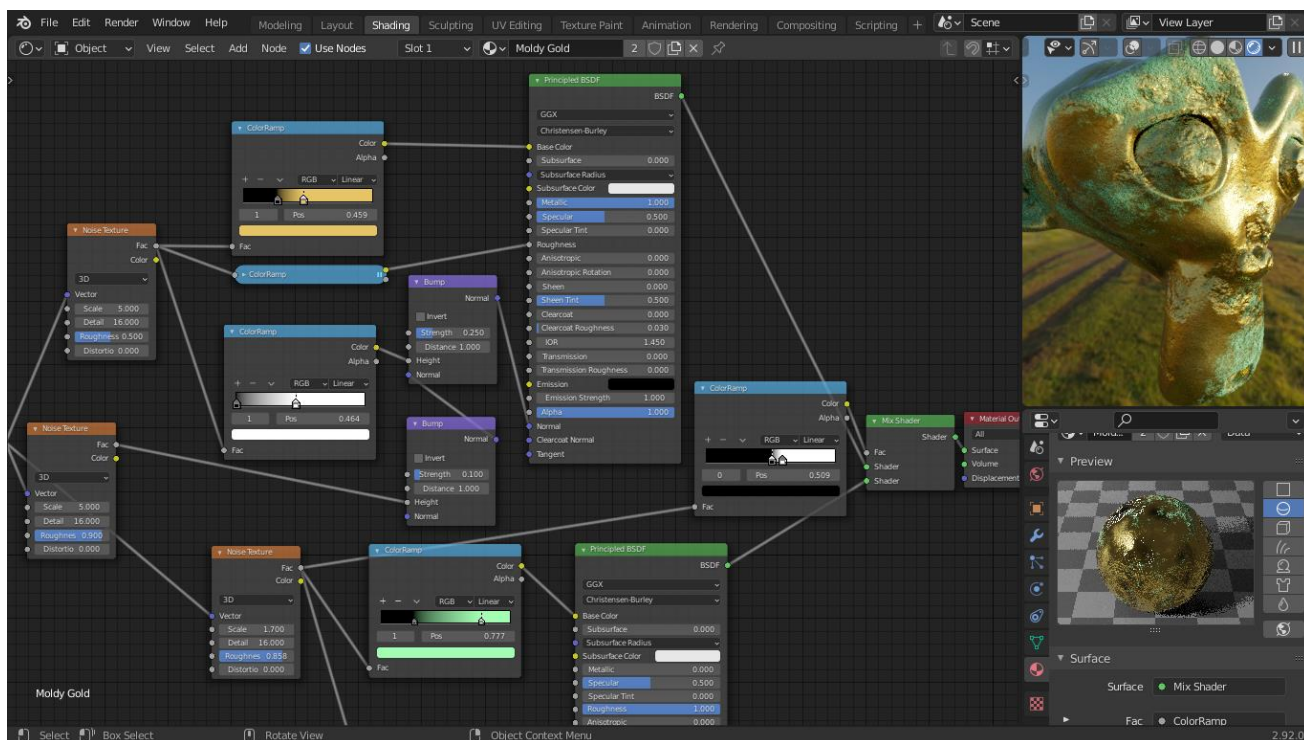


Рис. 2.8 Використання редактора вузлів для створення запліснявілого золотого матеріалу

Програма підтримує різноманітні формати 3D файлів для імпорту та експорту, серед яких Alembic, 3D Studio (3DS), FBX, DXF, SVG, STL (для 3D друку), UDIM, USD, VRML, WebM, X3D та OBJ.

2.5 Ресурси Unity Asset Store

Що стосується візуальних ефектів, то для досягнення бажаного вигляду було скористанося ресурсами з Unity Asset Store (рисунок 2.9). Цей магазин пропонує величезний вибір ассетів, які можна використовувати для поліпшення візуальної складової проекту. Вибрані ефекти дозволили створити правдоподібні анімації та додаткові елементи, які значно покращили враження від взаємодії з моделями техніки в доповненій реальності.

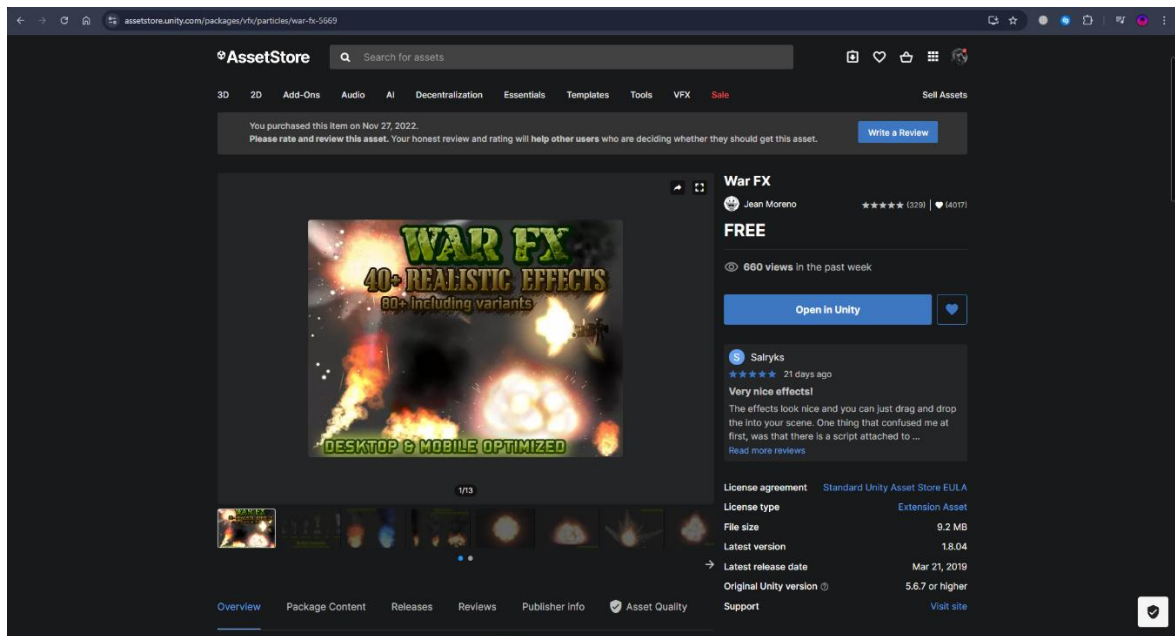


Рис. 2.9 Сторінка сайту Asset Store

Unity Asset Store - це онлайн-платформа для розробників, де можна придбати, завантажити або продати готові ресурси для проєктів на Unity. Це унікальний інструмент, який значно прискорює процес створення ігор та інших програм [15].

Чому варто користуватися Asset Store:

- **Економія часу:** готові ресурси дозволяють швидко реалізовувати складні ідеї без необхідності створювати все з нуля.
- **Широкий вибір:** тут представлені 3D-моделі, текстури, анімації, скрипти, звукові ефекти, UI-шаблони та багато іншого.
- **Професійна якість:** багато активів створюються професійними студіями чи досвідченими розробниками.

Що можна знайти на Unity Asset Store:

- **3D та 2D активи:** готові моделі персонажів, предметів, середовища та текстури.
- **Системи геймплею:** шаблони AI, механіки стрільби, фізики чи інших елементів.
- **Звуковий супровід:** музика, ефекти, та озвучка для ігор.

- **Інструменти для розробки:** редактори рівнів, системи навігації, або навіть повноцінні фреймворки.

Якщо ретельно слідкувати за авторами асетів, можна отримувати промокоди на отримання знижки на конкретний продукт, і отримати його абсолютно безкоштовно.

Ця платформа стане у пригоді як новачкам, які хочуть швидко створити свій перший проєкт, так і професіоналам, яким потрібні специфічні інструменти чи ресурси для великих проєктів. Unity Asset Store є важливим інструментом для оптимізації процесу розробки, надаючи доступ до високоякісних ресурсів, які підвищують продуктивність та якість кінцевого продукту.

2.6 Висновки до розділу

У розділі 2 було здійснено глибокий аналіз сучасних технологій і методів, які використовуються для розробки додатків доповненої реальності. Було визначено ключові переваги AR Foundation як платформи для створення інтерактивних додатків із візуалізацією 3D-об'єктів. Проведений аналіз показав, що ця технологія пропонує ефективний інструмент для інтеграції віртуальних моделей у реальне середовище.

У підрозділах розглянуто основні можливості Unity та AR Foundation, такі як підтримка різних платформ, простота інтеграції 3D-об'єктів та адаптивність під різні сценарії. Було підкреслено, що ці інструменти дозволяють створювати кросплатформені додатки з підтримкою високої продуктивності та точності позиціонування.

Оцінено переваги використання AR у порівнянні з іншими методами візуалізації, такими як традиційна 3D-візуалізація на ПК чи VR-технології. AR забезпечує більшу мобільність, доступність для широкої аудиторії завдяки використанню смартфонів, а також значно скорочує витрати на обладнання.

Проведений огляд інструментів і платформ для AR показав, що Unity із AR Foundation є оптимальним вибором для розробки навчальних і демонстраційних

додатків. Інші технології, такі як ARKit та ARCore, також мають свої переваги, однак не забезпечують такого рівня інтеграції з кросплатформеними можливостями.

Було розглянуто структуру програмного забезпечення, створеного у рамках дипломного проекту, зокрема його інтеграцію з 3D-моделями військової техніки. Аналіз показав, що використання Unity Asset Store значно спрощує доступ до необхідних ресурсів, таких як моделі, текстури та анімації, що сприяє ефективності розробки.

Одним із важливих досягнень є те, що метод візуалізації забезпечує високу гнучкість у налаштуванні 3D-об'єктів, включаючи позиціонування, масштабування та орієнтацію. Ці функції роблять метод універсальним для різних сценаріїв використання, зокрема для навчальних і тренувальних цілей.

Важливою перевагою є інтерактивність методу, яка дозволяє користувачам взаємодіяти з об'єктами в реальному часі, отримувати додаткову інформацію про їхні елементи та використовувати індивідуальні функції моделі, наприклад, симуляцію динамічних подій.

З РОЗРОБКА МЕТОДУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

3.1 Опис розробки методу

Ідея створення такого методу виникла з потреби зробити навчання військовим технологіям більш доступним і інтерактивним. Традиційні методи, що включають фізичні макети чи тренажери, часто є дорогими та потребують спеціальних умов. Доповнена реальність вирішує цю проблему, пропонуючи гнучке та мобільне рішення.

Крім доступності, метод дозволяє краще вивчати складні системи завдяки інтерактивності. Користувачі можуть взаємодіяти з 3D-моделями, детально досліджувати їхні компоненти, симулювати роботу окремих систем чи механізмів. Це робить навчання більш захопливим та ефективним, сприяючи глибшому розумінню технологій.

Такий підхід також підтримує сучасні тенденції цифровізації навчання та тренувань. За рахунок мобільних пристроїв з AR-підтримкою можна проводити тренування навіть у польових умовах. Це рішення є не лише інноваційним, але й економічно вигідним, адже виключає потребу в дорогому обладнанні та інфраструктурі.

Розробка методу візуалізації військової техніки на основі технологій доповненої реальності спрямована на створення ефективного рішення для візуалізації тривимірних моделей об'єктів у реальному середовищі. Основними завданнями є точне розташування моделей у просторі та інтерактивність у взаємодії з користувачем.

Під час розробки методу особливу увагу було приділено технологіям AR, які поєднують фізичний світ з цифровими об'єктами. Зокрема, використання AR Foundation в Unity дозволяє інтегрувати можливості платформ ARKit (для iOS) і

ARCore (для Android). Це забезпечує високу сумісність, ефективність обробки та точність.

Інтерактивність у взаємодії реалізована через події користувача, такі як натискання на модель або кнопки інтерфейсу. Наприклад, при активації моделі на екрані можуть з'являтися додаткові анотації з характеристиками техніки. Для створення цього функціоналу використовуються Unity UI та системи подій.

Одним із важливих аспектів є забезпечення реалістичності візуалізації. Це досягається через фізично коректне освітлення та матеріали (PBR), що підтримуються у Unity. Додатково, реалістичність посилюється за допомогою тіней та рефлексів.

Дослідження показали, що комбінування AR з реалістичними 3D-моделями значно покращує сприйняття інформації користувачами. Сучасні мобільні пристрої здатні обробляти високоякісні 3D-моделі без суттєвих втрат у продуктивності.

Розроблений метод демонстрації техніки через технології доповненої реальності має значну доступність, оскільки ним можна скористатися з будь-якої точки світу, маючи лише смартфон. Завдяки можливості завантаження програми в Google Play чи App Store, користувачі легко отримують доступ до неї в будь-який час, що робить рішення зручним як для навчальних, так і для інформаційних цілей.

Програми доповненої реальності можуть бути широко поширені через популярні платформи Google Play та App Store. Ці маркетплейси дозволяють охопити широку аудиторію, включаючи користувачів Android та iOS. Зручність завантаження та використання таких додатків є однією з причин їх популярності в освітніх, військових та розважальних проектах.

Додатки AR працюють найкраще на сучасних пристроях, особливо на останніх моделях iPhone, обладнаних LIDAR-сканерами. Ці сенсори забезпечують значно точніше визначення положення об'єктів у просторі, завдяки чому моделі, що накладаються в реальному часі, коректно відображаються і взаємодіють із навколишнім середовищем.

LIDAR - це технологія, що використовує лазер для сканування простору та створення точних тривимірних карт. Сенсор LIDAR випромінює лазерні імпульси та вимірює час їх відображення від поверхонь, дозволяючи точно визначати відстань до об'єктів та їхню форму. Завдяки цьому AR об'єкти прив'язуються до реальних координат із високою точністю.

Новітні iPhone, оснащені LIDAR-сканерами, забезпечують набагато швидше та стабільніше розпізнавання поверхонь і об'єктів. Це дозволяє створювати якісніші AR-сцени, у яких об'єкти правильно розташовані та не зміщуються навіть під час руху камери.

Порівняно зі старішими пристроями, LIDAR-сканери значно покращують досвід використання доповненої реальності. Вони забезпечують точніше виявлення деталей оточення навіть у поганих умовах освітлення, що важливо для професійного використання, наприклад, в інженерних чи військових симуляціях.

Додатково, поширення додатків через цифрові платформи дозволяє легко оновлювати їх функціонал і виправляти помилки. Це робить технологію гнучкою та адаптивною до потреб користувачів, які очікують високої точності та зручності у використанні.

Таким чином, завдяки сучасним технологіям, таким як LIDAR, та широким можливостям розповсюдження через маркетплейси, розроблений метод має високий потенціал для використання у різних сферах. Це забезпечує зручність, доступність і точність роботи додатків доповненої реальності.

3.2 Опис проекту в Unity

Проект розроблений в Unity версії 2021.3.24f, яка на даний момент є однією з найбільш стабільних версій серед підтримуваних Unity LTS. Ця версія забезпечує надійність і сумісність з різними функціями та плагінами, що ідеально підходить для створення проектів, які потребують тривалого циклу розробки.

3.2.1 Структура файлів

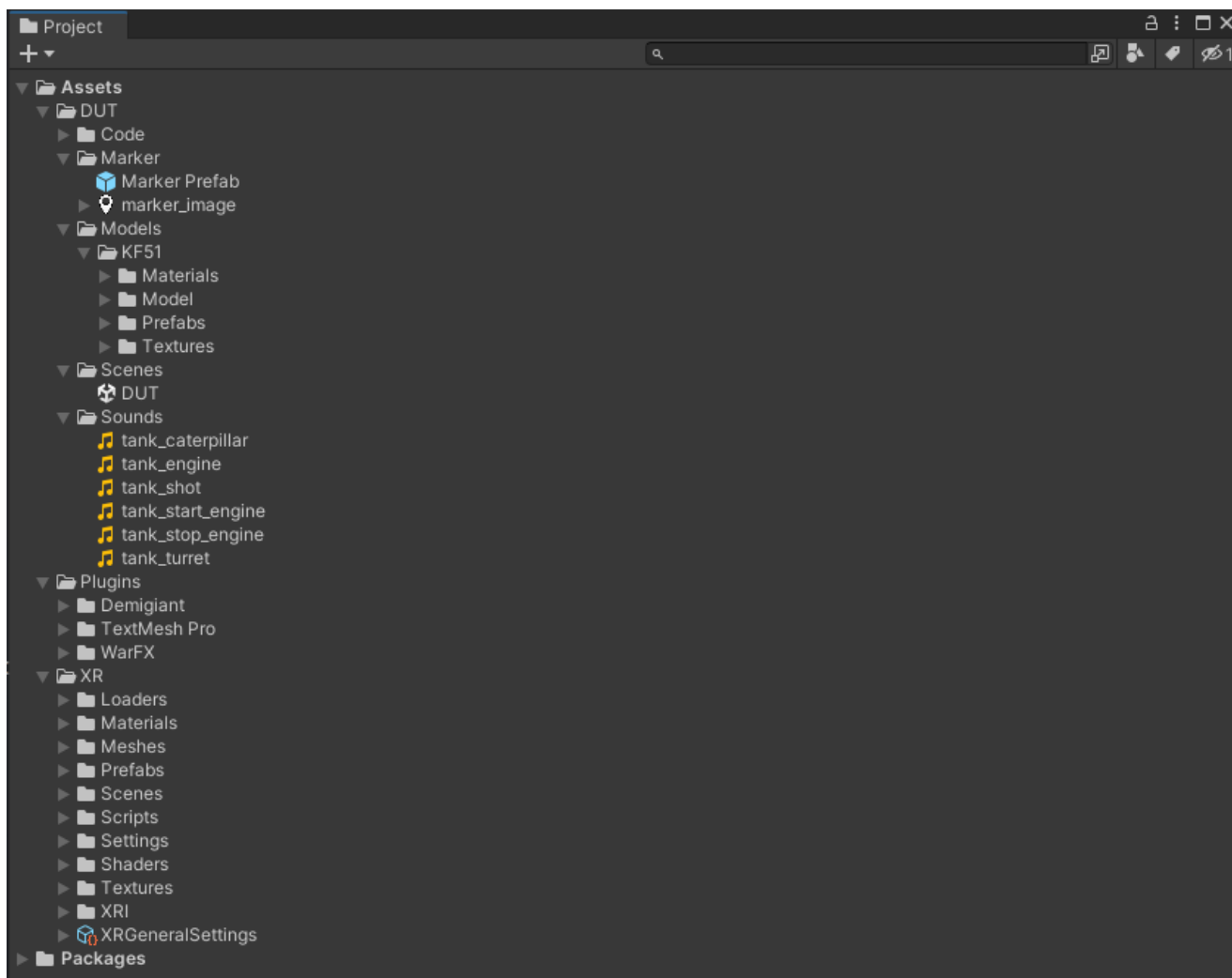


Рис. 3.1 Файлова структура проекту

В кожному проекті може бути своя файлова структура, де файли різних типів можуть бути разом або окремо для кожного об'єкту. Проект є прототипом додатку для перевірки методу візуалізації, тому структура більш схожа на гібридну, щоб не витрачати зайвий час на сортування файлів. На рисунку 3.1 зображено файлову структуру розробленого проекту.

Файли в каталозі **Assets** - це ресурси, додані розробником для проекту, наприклад, скрипти, моделі, сцени, текстури чи звуки. Натомість каталог **Packages** містить системні або сторонні залежності, такі як бібліотеки Unity чи додаткові інструменти, які часто встановлюються через Unity Package Manager.

Каталог **DUT** містить основні файли проєкту, які були створені і додані вручну. Всі файли також поділені на свої каталоги:

- **Code:** містить файли C# зі скриптами, написаними для реалізації логіки проєкту.
- **Marker:** тут зберігається префаб інтерактивного маркера, який відображає анотації, підсвічує частини техніки та вмикає її анімації, якщо вони є.
- **Models:** тут зберігаються 3D-моделі, наприклад, модель танка KF-51 Panther для демонстрації військової техніки. У каталозі моделі також є матеріали, меші, текстури та префаби.
- **Scenes:** містить сцени проєкту, наприклад, основну сцену, де відбувається вся взаємодія.
- **Sounds:** зберігає аудіофайли, як-от звуки, що програватимуться під час симуляції дій танка.

Префаб в Unity - це шаблон ігрового об'єкта, який дозволяє багаторазово використовувати його копії, одночасно зберігаючи можливість змінювати оригінал для синхронного оновлення всіх екземплярів.

Каталог **Plugins** містить сторонні ресурси, завантажені з Unity Asset Store:

- **DOTween** - інструмент для анімації параметрів об'єктів за допомогою зручного API.
- **TextMesh Pro** - потужний інструмент для роботи з текстом, який забезпечує високу якість рендерингу та розширені функції форматування.
- **WarFX** - набір візуальних ефектів, як-от вибухи, дим та інші спецефекти.

Асети — це будь-які ресурси, які використовуються в Unity, включно зі скриптами, текстурами, моделями, звуками чи іншими файлами, що доповнюють функціонал проєкту.

Каталог **XR** містить файли, пов'язані з інструментами доповненої реальності Unity. Сюди входять тестові сцени, налаштування, скрипти та допоміжні матеріали для реалізації AR-функціоналу.

3.2.2 Структура сцени та компоненти

Сцена в Unity - це основний простір, де відбувається взаємодія ігрових чи симуляційних об'єктів. Вона може бути порівняна з рівнем у грі або окремим середовищем, яке містить усі елементи: об'єкти освітлення, систему подій, канваси з UI елементами, 3D та 2D-об'єкти, а також порожні об'єкти зі спеціальними компонентами та скриптами для керування логікою. На рисунку 3.2 зображена структура сцени проекту.

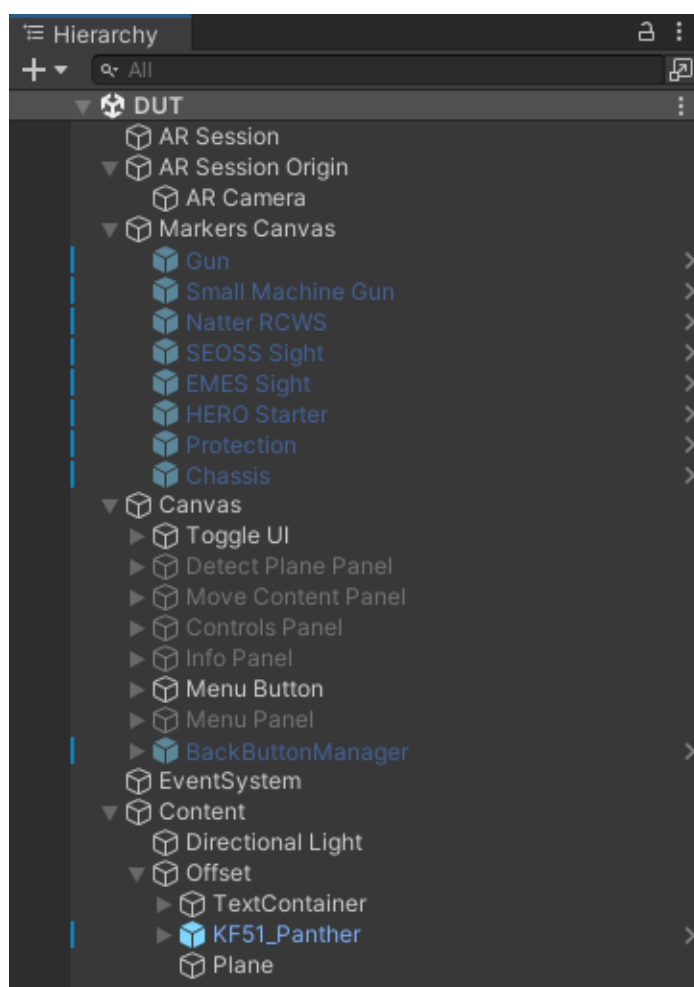


Рис. 3.2 Структура сцени

Canvas - це компонент Unity, який використовується для створення і розміщення користувацького інтерфейсу. Він визначає простір, де відображаються кнопки, текст, слайдери й інші елементи. Canvas підтримує різні режими рендерингу (екранний, світовий і камери), що дозволяє інтегрувати UI з тривимірними сценами.

Компонент у Unity - це базовий функціональний блок, який додається до об'єктів на сцені для визначення їхньої поведінки. Наприклад, компонент Transform керує позицією, масштабом і обертанням об'єкта, а скрипт на C# може задавати специфічну логіку для нього. Компоненти дозволяють робити об'єкти інтерактивними та функціональними.

Об'єкт **AR Session** - це порожній об'єкт, який використовується для керування сесією доповненої реальності [16]. На нього додаються такі компоненти (рисунок 3.3):

- **AR Session:** тоді як інші функції, як-от виявлення площин, можна вмикати та вимикати незалежно, сеанс керує життєвим циклом усіх функцій доповненої реальності. Коли цей компонент вимикається, система більше не відстежує об'єкти у своєму оточенні. Якщо ввімкнути його пізніше, система спробує відновити і підтримувати раніше виявлені об'єкти.
- **AR Input Manager:** цей компонент керує введенням для AR-додатків, дозволяючи системі обробляти жести, торкання та інші дії користувача.

Ці компоненти забезпечують базовий функціонал AR-проєкту.

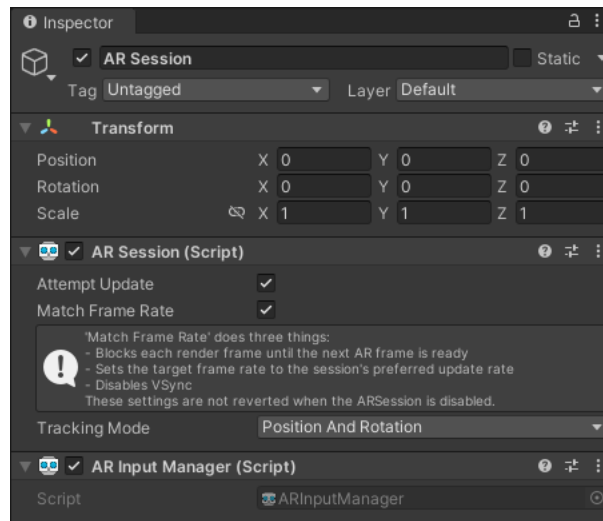


Рис. 3.3 Компоненти об'єкту AR Session

AR Session Origin - це порожній об'єкт, на якому розташовані такі компоненти:

- **AR Session Origin:** забезпечує відповідність між реальним світом і віртуальним простором.
- **AR Plane Manager:** відповідає за виявлення і відображення площин у реальному світі.
- **AR Raycast Manager:** дозволяє виконувати визначення точок на поверхні через промінь (raycast).
- **Plane Detection:** перемикач функції виявлення площин.
- **Session Reset:** власний компонент для перезапуску сцени, що дозволяє скинути всі налаштування до початкового стану.

Дочірній об'єкт **AR Camera** містить компоненти:

- **Camera:** стандартний компонент камери в Unity.
- **AR Pose Driver:** синхронізує положення і орієнтацію камери у реальному і віртуальному просторі.
- **AR Camera Manager:** керує налаштуваннями AR-камери.
- **AR Camera Background:** відповідає за відображення відеопотоку з камери на фоні сцени.

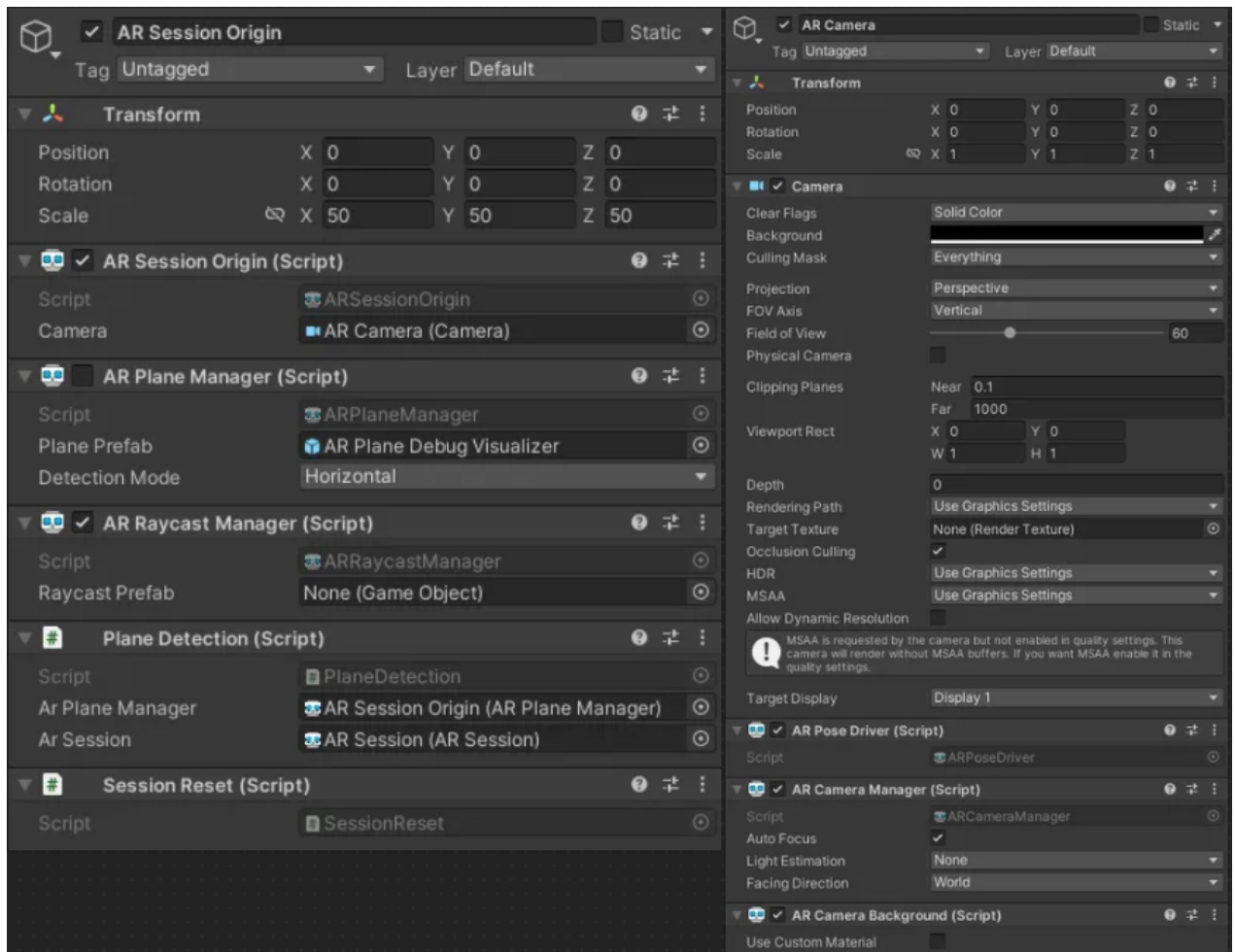


Рис. 3.4 Компоненти об'єктів AR Session Origin та AR Camera

Markers Canvas - це стандартний об'єкт Canvas у Unity, який включає необхідні компоненти, а також створений компонент Marker Controller (рисунок 3.5).

Marker Controller виконує управління UI-маркерами. Щоразу, під час оновлення кадру, цей компонент змінює позицію маркерів на екрані, щоб вони розташовувалися над прив'язаними об'єктами в 3D-середовищі. Якщо користувач натискає на маркер, цей компонент отримує подію, після чого відображає панель з інформацією про відповідну деталь, підсвічує її, а також запускає анімацію, якщо вона передбачена.

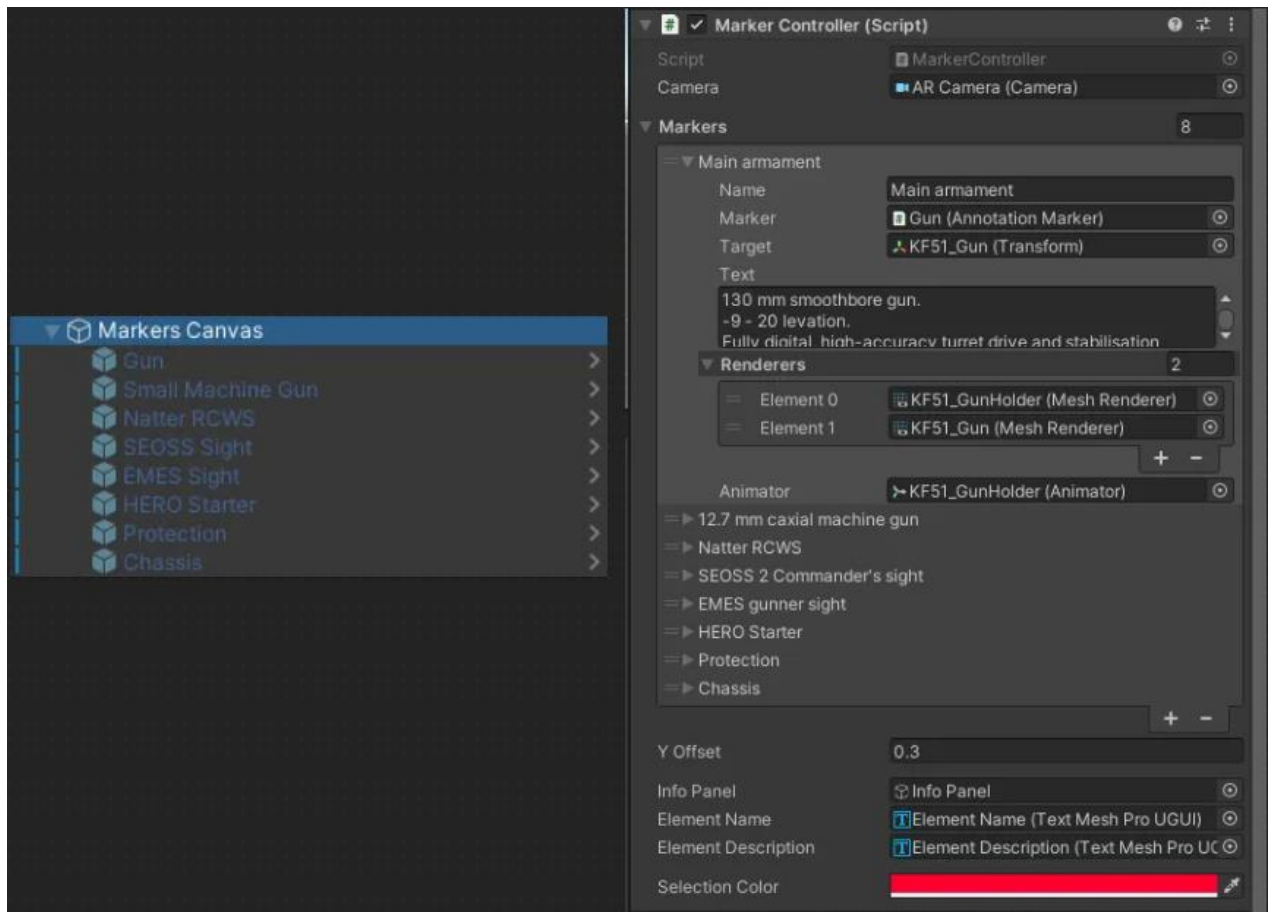


Рис. 3.5 Об'єкт Markers Canvas з компонентом Marker Controller

Для демонстрації були створені наступні маркери:

- **Gun** - маркер основної гармати танку.
- **Small Machine Gun** - маркер кулемету біля гармати танку.
- **Natter RCWS** - маркер кулемету на башні танку.
- **SEOSS Sight** - маркер командирського прицілу.
- **EMES Sight** - маркер снайперського прицілу.
- **HERO Starter** – маркер стартеру дронів камікадзе.
- **Protection** - маркер захисту танку.
- **Chassis** - маркер шасі танку.

Кожен із цих маркерів відповідає певній частині техніки. При взаємодії з ними через Marker Controller активується відповідна анотація, підсвічування об'єкта та запуск його анімації, що дозволяє зручно ознайомитися з деталями представленого об'єкта. На рисунку 3.6 зображено префаб об'єкта маркера.

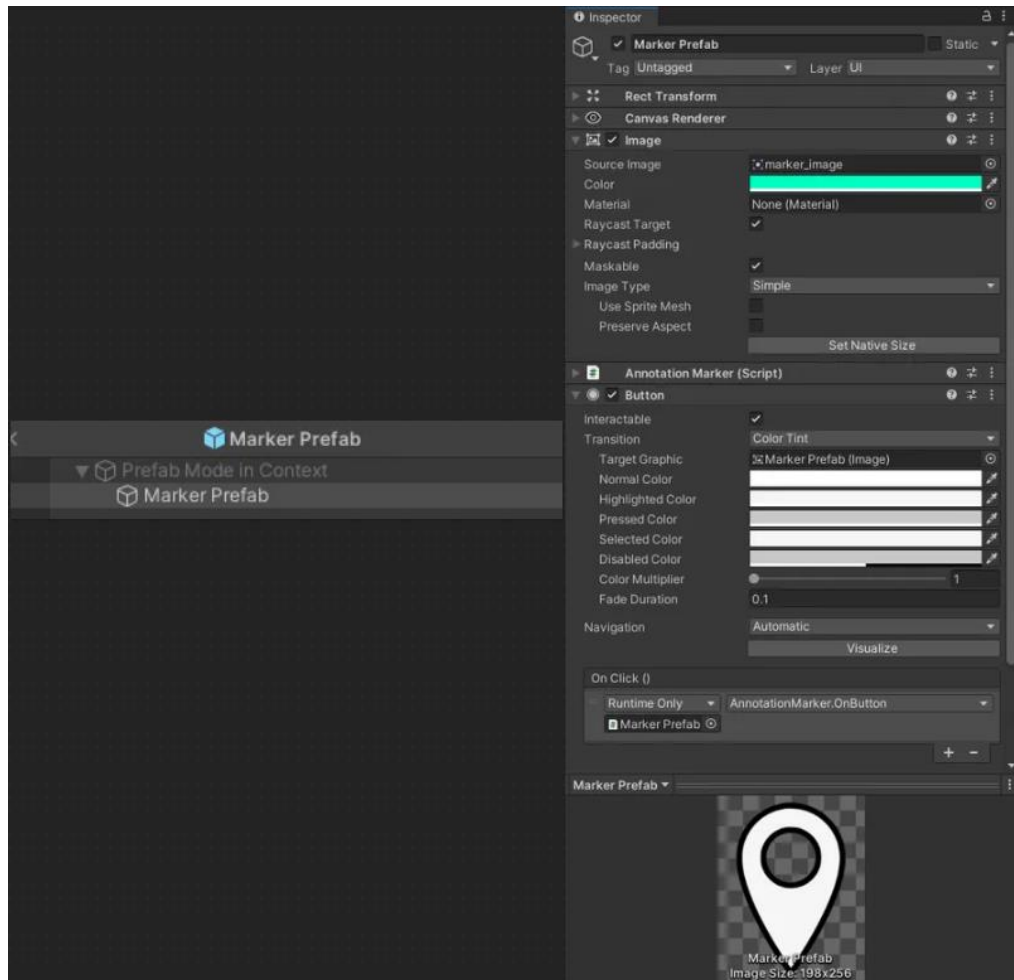


Рис. 3.6 Префаб об'єкту маркера

Canvas - основний об'єкт із UI-елементами, який включає наступні компоненти:

- **Toggle UI** - кнопка для приховування або відображення всіх елементів інтерфейсу.
- **Detect Plane Panel** - панель для етапу сканування місцевості.
- **Move Content Panel** - панель налаштувань розміру та обертання об'єкта, активна під час позиціонування.
- **Controls Panel** - кнопки керування симуляцією техніки (газ, наводка, постріл).
- **Info Panel** - панель для анотацій обраного елемента техніки (назва, характеристики).

- **Menu Button** - ГОЛОВНА кнопка меню для відображення/приховування основного меню.
- **Menu Panel** - панель із кнопками для активації сканування, позиціонування або запуску симуляції.

Для оптимізації елементи, що часто оновлюються (наприклад, маркери), винесені в окремі канваси, щоб уникнути зайвих перерисовок всього інтерфейсу, які могли б витратити додаткові системні ресурси.

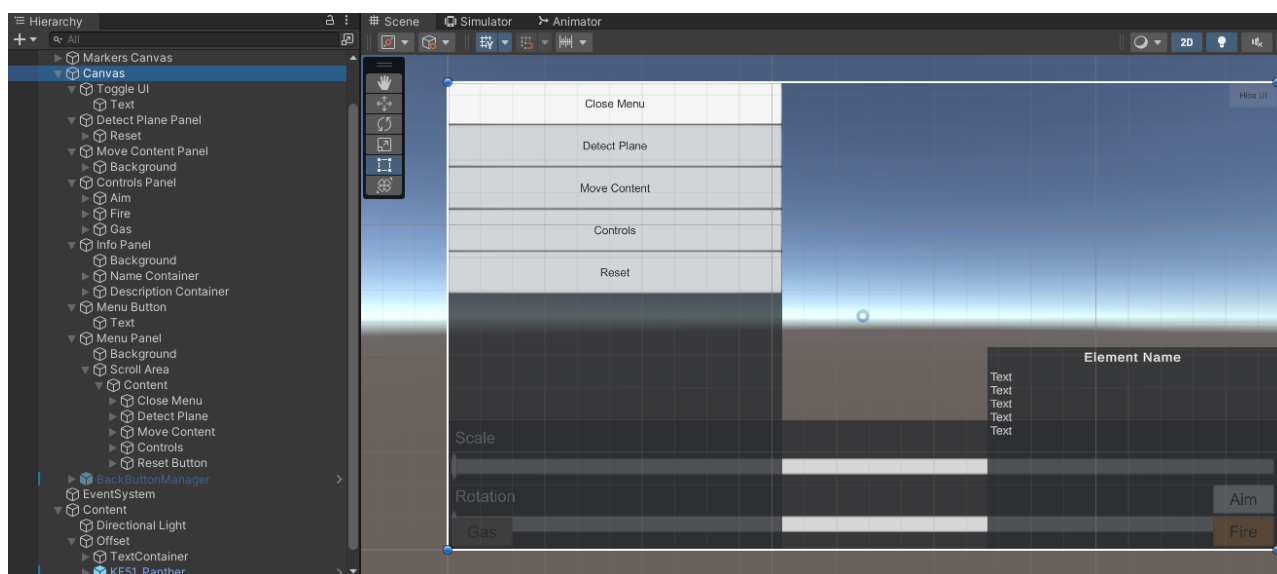


Рис. 3.7 Основний канвас меню

На панель меню прикріплений компонент **Menu**, який керує відображенням різних UI-панелей і перемиканням між ними. Код реалізований просто, без складних станів або переходів. Наприклад, на рисунку 3.8 продемонстровано, як методи `OnDetectPlane()`, `OnMoveContent()` і `OnControls()` виконують перемикання стану меню, відображають відповідну панель і активують необхідні компоненти для певного стану сцени. Це дозволяє легко управляти взаємодією з інтерфейсом залежно від поточного етапу роботи програми, але для майбутніх розширень краще переписати код наприклад за допомогою поведінкового патерну стан.

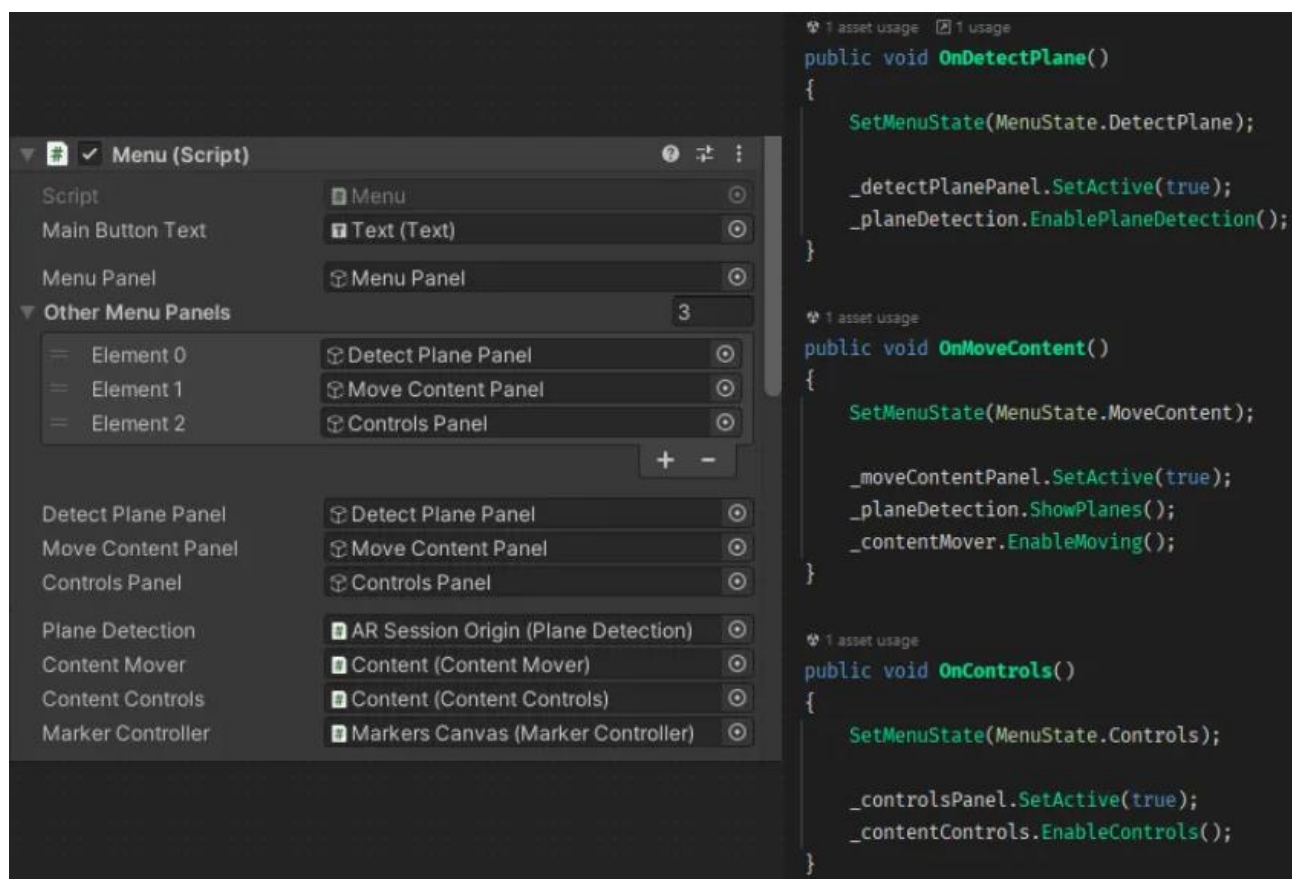


Рис. 3.8 Компонент керуванням меню та частина його коду

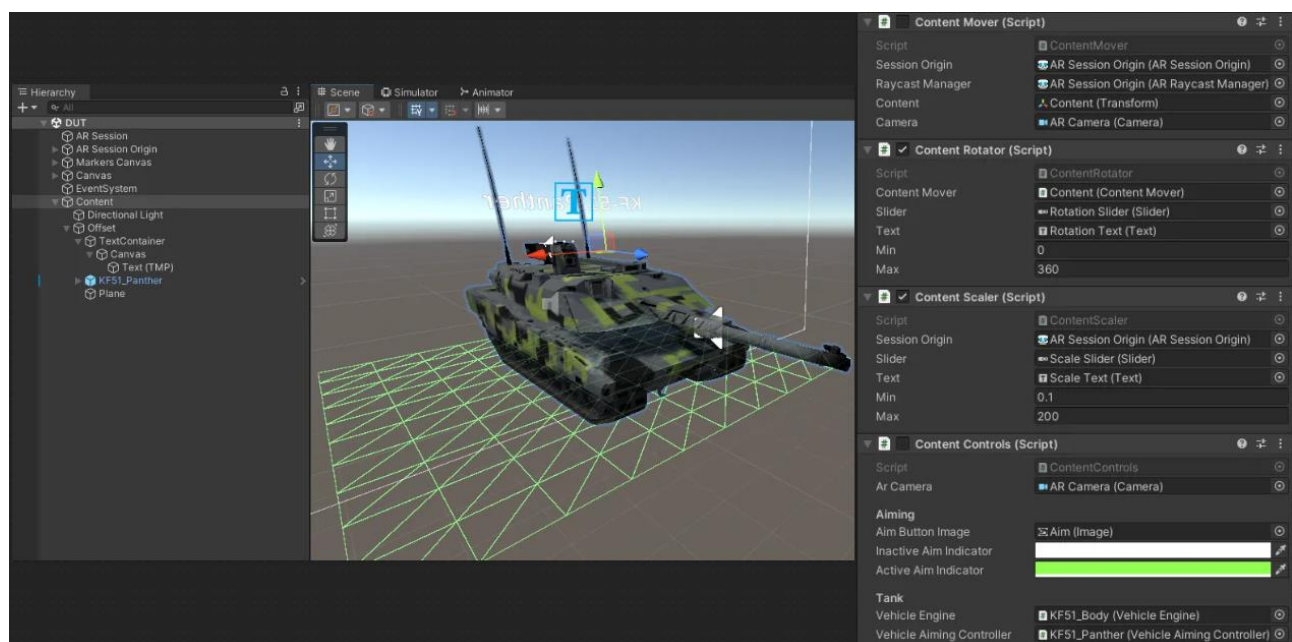


Рис. 3.9 Об'єкт Content та його компоненти

Об'єкт **Content** є ключовим елементом сцени на перших етапах використання додатку (рисунок 3.9), оскільки саме він відповідає за зміну позиції, розміру та обертання.

На ньому розміщено кілька компонентів:

- **Content Mover** - забезпечує зміну положення об'єкта в просторі.
- **Content Rotator** - відповідає за обертання об'єкта.
- **Content Scaler** - змінює розміри об'єкта.
- **Content Controls** - дозволяє взаємодіяти з технікою, наприклад, вмикати/вимикати двигун танка або режим наведення.

Дочірніми об'єктами Content є:

- **Текст**, що відображає ім'я техніки над нею.
- **Невидима платформа**, яка утримує техніку, щоб уникнути її падіння при ввімкненні фізичних симуляцій.
- **3D-модель** танка.

Завдяки цій структурі Content слугує основою для позиціонування та налаштування взаємодії з технікою на сцені.

3.3 Опис роботи мобільного додатку

Мобільний додаток використовує камеру пристрою для постійного сканування навколишнього середовища (рисунок 3.10). Отримане зображення аналізується, і на його основі створюється віртуальна площа (рисунок 3.11), на яку можна розмістити 3D-модель обраної техніки. У даному випадку, користувач має можливість змінювати позицію танка, а також налаштовувати його масштаб і поворот для оптимального огляду (рисунок 3.12).

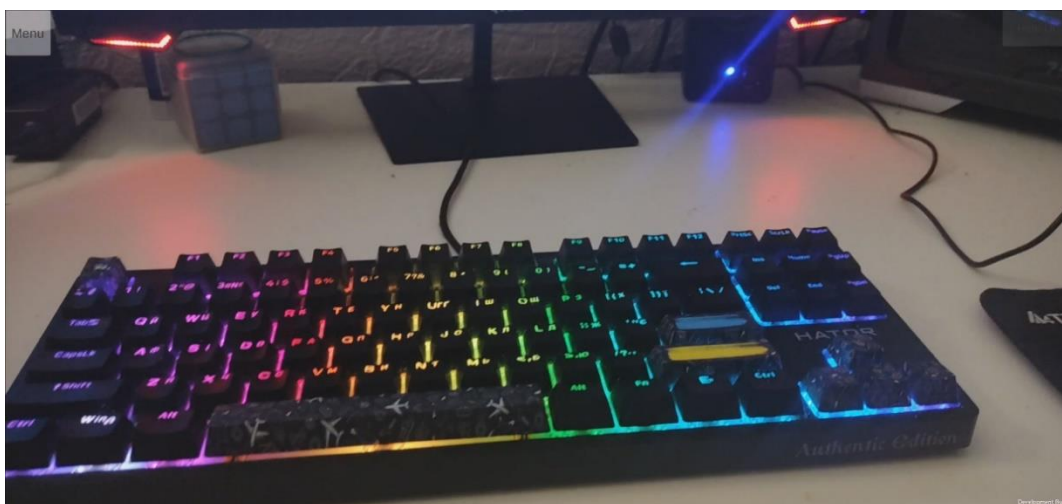


Рис. 3.10 Демонстрація збору зображення з камери мобільного пристрою

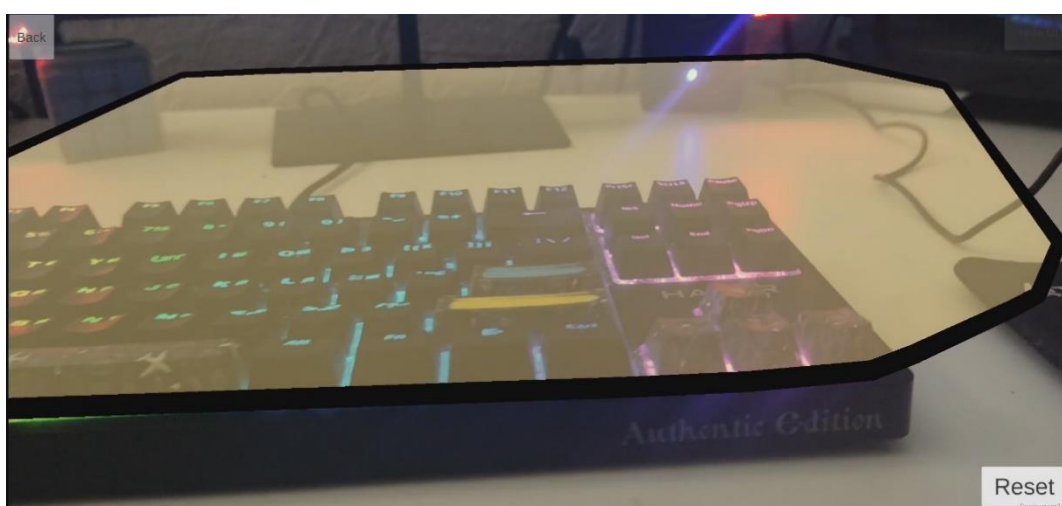


Рис. 3.11 Демонстрація створення віртуальної площини



Рис. 3.12 Демонстрація процесу позиціонування, і налаштування масштабу та повороту об'єкту

Після налаштування місцевості, користувач може вільно переміщати телефон, щоб оглядати техніку з різних ракурсів (рисунок 3.13). Камера телефону стежить за об'єктом і дозволяє створювати ефект реального перебування в середині сцени.



Рис. 3.13 Демонстрація процесу огляду об'єкту

На моделі танка розміщені інтерактивні маркери, при натисканні на які з'являються детальні анотації про окремі частини техніки. Додатково, ці частини підсвічуються, а за наявності анімацій - вони відтворюються на екрані, що дозволяє отримати повнішу інформацію про механізм та структуру об'єкта. На рисунках 3.14, 3.15 та 3.16 показано демонстрацію активації окремих елементів техніки, маркери над якими були натиснуті.

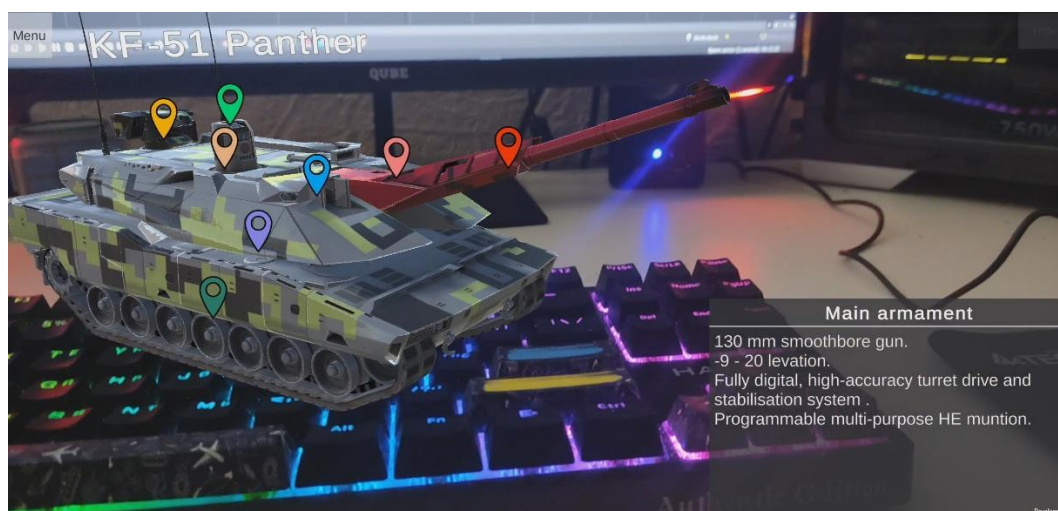


Рис. 3.14 Активована анімація гармати та анотація до неї

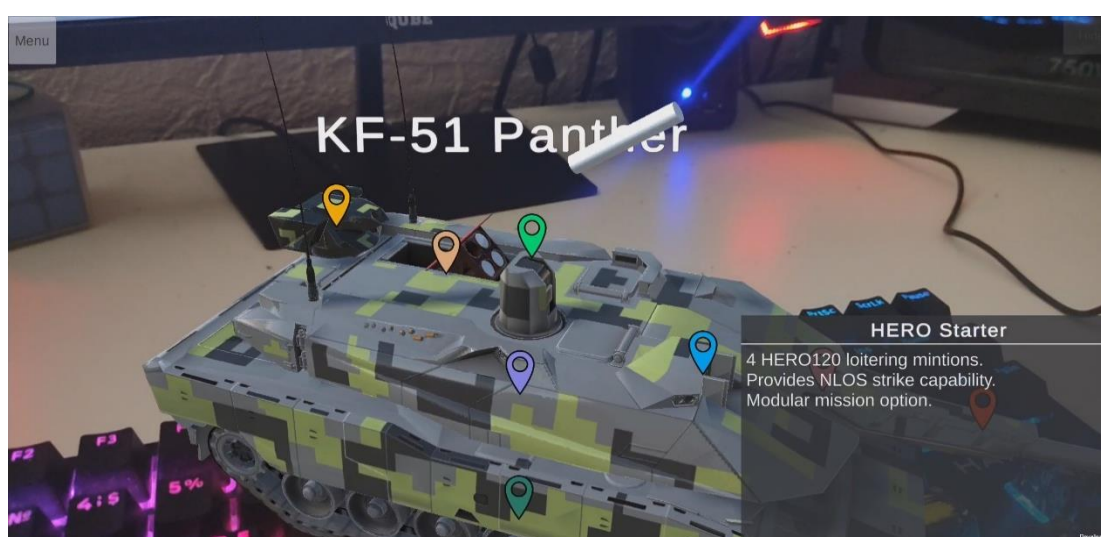


Рис. 3.15 Активована анімація стартеру дронів та анотація до нього



Рис. 3.16 Активована анімація бронювання танку та анотація до нього

Для ще більш інтерактивного досвіду, користувач може активувати режим управління технікою. Для танка, зокрема, доступні функції, як газування двигуном, стрільба (рисунк 3.17) та режим наведення (рисунк 3.18). У режимі наведення, при натисканні на точку на екрані, башта танка автоматично наводиться на обрану ціль. Окрім цього, включена фізика, що дозволяє відчувати відштовхуючий імпульс при пострілі, а також додаються візуальні та звукові ефекти, що покращують відчуття реалістичності.

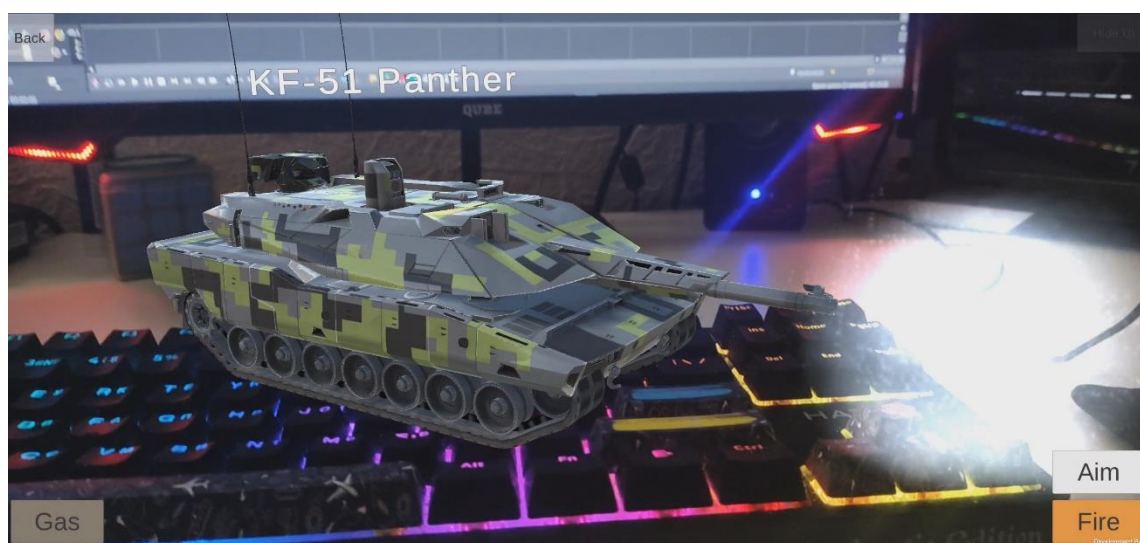


Рис. 3.17 Демонстрація симуляції пострілу гармати танка



Рис. 3.18 Демонстрація симуляції наведення гармати танка

Додаток був розроблений виключно для Android-пристроїв, однак, при наявності комп'ютера від компанії Apple, існує можливість створити збірку для пристроїв на платформі iOS. Це дозволяє розширити доступність програми для більш широкого кола користувачів, зберігаючи основний функціонал та сумісність з різними типами мобільних пристроїв.

3.4 Напрями удосконалення та розширення

Сучасні можливості технологій доповненої реальності дозволяють не лише інтегрувати віртуальні об'єкти у реальний світ, але й забезпечувати їхню взаємодію через мережеві інструменти. Одним із перспективних напрямків розвитку описаного методу є додавання багатокористувацького (мережевого) режиму. Такий режим дозволить створювати інтерактивні кімнати для одночасної роботи кількох користувачів із віртуальними моделями військової техніки.

Завдяки мережевому режиму можна організовувати групові навчання чи тренування, де кілька користувачів зможуть вивчати одну модель техніки одночасно. Наприклад, інструктор у реальному часі може демонструвати ключові елементи техніки, а слухачі - взаємодіяти з моделлю, ставлячи запитання та отримуючи анотації. Це відкриває нові можливості для навчання у військовій сфері, особливо у випадках, коли навчальні центри віддалені один від одного.

Ще одним варіантом розширення функціоналу може стати інтерактивна взаємодія з відсканованою місцевістю. Система може використовувати відскановану площину для організації віртуальних навчальних місій, де відображатимуться сценарії з реалістичною обстановкою. Наприклад, у просторі можна розташувати різні об'єкти (укриття, транспорт, інженерні споруди), а користувачі зможуть планувати дії та моделювати операції.

Мережева синхронізація дозволить зберігати та обмінюватися результатами моделювання між користувачами, що працюють із різних локацій. Наприклад, один користувач може розташувати техніку на відсканованій

місцевості, а інший - виконати додаткові маніпуляції, такі як вимірювання, позначення або розробка планів. Такий підхід сприяє командній роботі, забезпечуючи безперервність і точність у процесі спільного моделювання. Крім того, синхронізація дозволяє зберігати дані у хмарних сервісах, що полегшує доступ до них у будь-який час і з будь-якого пристрою.

Крім того, впровадження системи голосового або текстового зв'язку між користувачами дозволить підвищити ефективність спільної роботи. Таке рішення сприятиме інтеграції AR-систем у сферу військових навчань, логістики та стратегічного планування. Зокрема, це може бути корисним для навчання операторів військової техніки чи командирів підрозділів.

Ще одним перспективним напрямком є використання додаткових сенсорів. Наприклад, LIDAR-сканери, які вже встановлені на сучасних iPhone та iPad, можуть покращити точність взаємодії з відсканованими площинами. Це дозволить створювати ще більш реалістичні сценарії використання AR, наприклад, аналіз прохідності місцевості або взаємодії техніки з навколишнім середовищем.

Також можна впровадити технології машинного навчання для розпізнавання місцевості чи автоматичного створення оптимальних умов для навчання. Наприклад, система може автоматично визначати, де найкраще розмістити віртуальні об'єкти, враховуючи характеристики оточення.

Ще одним важливим напрямом розвитку є впровадження технології розпізнавання руки користувача та перенесення її у віртуальний простір. Використовуючи датчики камери або спеціалізовані пристрої, система зможе визначати положення, рухи та жести руки користувача, що дозволить взаємодіяти з віртуальними об'єктами більш природним способом. Наприклад, користувач зможе рукою переміщати техніку, змінювати її розмір чи кут огляду, створюючи відчуття безпосереднього фізичного контакту з віртуальним світом.

Розпізнавання рук також дозволить інтегрувати систему жестового управління. Наприклад, розмахування рукою може слугувати для зміни стану об'єкта, а стискання пальців у кулак — для активації певних функцій. Це не лише

підвищить інтерактивність, але й значно покращить зручність використання, оскільки виключить необхідність взаємодії з екранними елементами інтерфейсу. Зокрема, така функціональність може бути корисною під час польових умов, коли доступ до екрану пристрою обмежений або незручний.

Додавання руки до віртуального середовища також створює можливість для більш глибокого занурення користувача в процес навчання або моделювання. Наприклад, у навчальних програмах для операторів військової техніки рука користувача може використовуватися для маніпуляції елементами віртуальної кабіни техніки. Це забезпечить реалістичний досвід та допоможе ефективніше відтворювати сценарії реальних дій.

Перспективи використання цієї технології особливо помітні у поєднанні з доповненою реальністю, де користувач може взаємодіяти одночасно з реальними та віртуальними об'єктами. Наприклад, під час роботи з військовою технікою, інтегровані жести та рухи рук можуть бути використані для управління віртуальними елементами панелі управління, а також для підсвічування чи маркування ключових елементів на відсканованій місцевості.

У перспективі метод може розширитися до використання у військових операціях для інтерактивного аналізу техніки на реальному полі бою або під час планування місій. Це забезпечить не лише навчальні, а й практичні можливості для адаптації та впровадження AR у різні сфери діяльності.

3.5 Виноски до розділу

У цьому розділі було детально розглянуто метод візуалізації військової техніки за допомогою доповненої реальності. Проведено аналіз існуючих підходів, включаючи VR та 3D-візуалізацію, що дозволило виявити обмеження цих методів, такі як низька мобільність та інтерактивність. Основні етапи розробки можна показати у вигляді таблиці 3.1:

Таблиця 3.1

Основні етапи розробки програми
з використанням AR Foundation та Unity

Етап	Дія	Інструменти/Технології	Результат
Збір вимог	Аналіз потреб користувачів, визначення функціоналу	Документація, опитування	Створення ТЗ
Налаштування сцени	Підготовка основної сцени	Unity Editor, AR Foundation	Базова сцена AR
Інтеграція 3D-моделі	Імпорт 3D-об'єкта техніки, додавання матеріалів і текстур	Unity, Blender	Відображення моделі у віртуальному середовищі
Програмування функцій	Написання скриптів для управління масштабом, позицією, а також інтерактивністю об'єкта	C#, Visual Studio, Rider	Інтерактивність та динамічність
Тестування та налагодження	Перевірка роботи програми на реальних пристроях	Unity Profiler, мобільні пристрої	Відсутність помилок
Публікація програми	Підготовка та завантаження додатку до маркетплейсів	Unity Build System, Google Play Console/App Store	Готовий продукт

На основі проведеного аналізу розроблено новий метод, що базується на інтеграції 3D-моделей у реальне середовище за допомогою Unity та AR Foundation. Метод включає адаптивне позиціонування, масштабування та управління об'єктами, що суттєво підвищує їхню функціональність.

Описано використання сучасних платформ, таких як Unity, а також сторонніх компонентів, як-от DOTween і TextMeshPro. Це забезпечило легкість у реалізації взаємодії користувачів із моделями.

Розроблений метод надає високий рівень інтерактивності. Користувачі можуть налаштовувати параметри об'єктів, отримувати інформацію про їх деталі через інтерактивні маркери та навіть взаємодіяти з моделлю в реальному часі.

Суттєва перевага методу полягає у його доступності на звичайних мобільних пристроях. Це забезпечує гнучкість у використанні додатка в будь-якому місці без потреби у дорогому обладнанні.

Метод відкриває нові горизонти у сфері навчання, дозволяючи студентам, військовим фахівцям та іншим користувачам детально вивчати техніку у реальному масштабі без фізичних обмежень.

Завдяки структурованій організації сцени, оптимізації UI-елементів та використанню префабів забезпечено стабільну продуктивність навіть на пристроях із середніми технічними характеристиками.

Перспективи подальшої роботи. Запропонований метод може бути адаптований для візуалізації інших видів техніки та інтеграції нових функцій, таких як мультикористувацька взаємодія або інтеграція з хмарними платформами.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані існуючі методи візуалізації, зокрема використання VR та 3D-графіки для демонстрації техніки. Виявлено, що більшості методів не вистачає мобільності, інтерактивності та доступності для користувачів у реальному часі.
2. У результаті дослідження технологій доповненої реальності проведено порівняльний аналіз платформ, таких як AR Foundation, Unity, та інших альтернатив. Було визначено, що AR Foundation забезпечує найкращу інтеграцію з Unity для роботи з 3D-моделями, завдяки підтримці кросплатформенності, точності позиціонування та легкості налаштувань. Інші інструменти, хоча й мають свої переваги, поступаються за гнучкістю та рівнем підтримки спільнотою. Це підтверджує доцільність використання AR Foundation для інтеграції 3D-моделей у реальне середовище.
3. Розроблено метод візуалізації, що інтегрує 3D-моделі військової техніки у реальний світ через доповнену реальність, використовуючи Unity і AR Foundation. Метод включає позиціонування, масштабування, взаємодію та демонстрацію об'єктів.
4. Досягнуто значного покращення доступності та мобільності візуалізації завдяки використанню технологій доповненої реальності. Метод дозволяє працювати на звичайних мобільних пристроях без потреби у спеціальному обладнанні, надаючи користувачам можливість вивчати моделі в будь-якому місці. Забезпечено чудову інтерактивність, динамічне налаштування положення та орієнтації об'єкта в реальному часі, що створює зручні умови для демонстрацій і навчання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ігровий рушій Unreal Engine - Wikipedia. – Mode of access: https://uk.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine
2. Project City Sample – Офіційний сайт Unreal Engine. – Mode of access: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/city-sample-project-unreal-engine-demonstration>
3. Офіційний сайт гри STALKER2. – Mode of access: <https://www.stalker2.com/uk>
4. Віртуальна реальність - Інтернет ресурс IT Enterprise. – Mode of access: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/virtualnaja-realnost-vr>
5. Доповнена реальність (Augmented Reality, AR) - Lookinar. – Mode of access: <https://lookinar.com/uk/rozyasnennya/dopovnena-realnistaugmented-reality-ar/>
6. Augmented Reality (AR): Definition, Examples, and Uses - Investopedia. – Mode of access: <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>
7. The Impact of Mobile e-Commerce on GDP: A Comparative Analysis between Romania and Germany and how Covid-19 Influences the e-Commerce Activity Worldwide - ResearchGate. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/342868068_The_Impact_of_Mobile_e-Commerce_on_GDP_A_Comparative_Analysis_between_Romania_and_Germany_and_how_Covid-19_Influences_the_e-Commerce_Activity_Worldwide
8. The Diverse Potential of VR & AR Applications - Statista. – Mode of access: <https://www.statista.com/chart/4602/virtual-and-augmented-reality-software-revenue/>
9. Unity (ігровий рушій) - Wikipedia. – Mode of access: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Unity_\(%D1%96%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D1%83%D1%88%D1%96%D0%B9\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Unity_(%D1%96%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D1%83%D1%88%D1%96%D0%B9))
10. Mixed Reality Drone Racing Game with Unity and ROS [Work in Progress] - ROS Discourse. – Mode of access: <https://discourse.ros.org/t/mixed-reality-drone-racing-game-with-unity-and-ros-work-in-progress/26713>

11. Rider for Unity - JetBrains. – Mode of access: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/lp/dotnet-unity/>
12. Sketchfab - Вікіпедія. – Mode of access: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sketchfab>
13. What Is Blender (Software) – ALL3DP. – Mode of access: <https://all3dp.com/2/what-is-blender-software-simply-explained/>
14. Blender (software) – Wikipedia. – Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Blender_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Blender_(software))
15. Unity Asset Store. – Mode of access: <https://assetstore.unity.com/>
16. AR Session component – Unity Documentation. – Mode of access: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@5.1/manual/features/session.html>

ДОДАТОК А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ



МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МЕТОД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Виконав: студент групи ПДМ-61 Линник Ярослав Андрійович

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ІІЗ Довженко Тимур Павлович

Київ - 2025

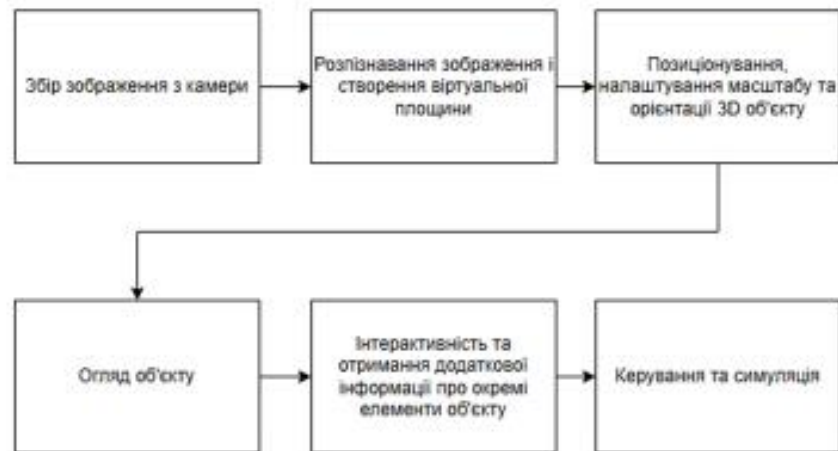
МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: забезпечення інтерактивної та багатофункціональної візуалізації військової техніки для підвищення ефективності її сприйняття за допомогою технологій доповненої реальності.

Об'єкт дослідження: процес візуалізації та взаємодії користувача з віртуальними моделями військової техніки в середовищі доповненої реальності.

Предмет дослідження: технології та засоби покращення інтерактивної візуалізації військової техніки.

СХЕМА МЕТОДУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ



3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕТОДУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

1. Формула позиціонування 3D об'єкта:

$$P_{object} = P_{hit} + (P_{content} - P_{origin}),$$

- P_{object} - фінальна позиція об'єкта в просторі,
- P_{hit} - позиція точки перетину променя з площиною,
- $P_{content}$ - поточна позиція контенту,
- P_{origin} - позиція точки прив'язки.

2. Формула масштабування 3D об'єкта:

$$S_{final} = S_{slider} * (S_{max} - S_{min}) + S_{min},$$

- S_{final} - підсумкове значення масштабу,
- S_{hit} - значення повзунка (від 0 до 1),
- S_{max} - максимальне значення масштабу,
- S_{min} - мінімальне значення масштабу.

3. Формула обертання 3D об'єкта:

$$\theta_{final} = \theta_{slider} * (\theta_{max} - \theta_{min}) + \theta_{min},$$

- S_{final} - підсумковий кут повороту (у градусах),
- S_{hit} - значення повзунка (від 0 до 1),
- S_{max} - максимальний кут повороту,
- S_{min} - мінімальний кут повороту.

4

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ



5

ПРАКТИЧНИЙ РЕЗУЛЬТАТ



6

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Критерій	VR	3D-візуалізація на ПК	Unity з AR Foundation
Доступність	Потребує VR-гарнітуру (\$400 - \$1000)	Потребує потужного ПК (\$500 - \$2000)	Доступно на мобільних пристроях (\$200 - \$800)
Захопленість користувача	Обмежене інтерфейсом	Взаємодія з мишею та клавіатурою	Високий рівень залученості через взаємодію з реальним світом
Гнучкість	Статичні сцени		Динамічна зміна позиції та орієнтації об'єкта в реальному часі
Мобільність	Обмежено фіксованим місцем використання		Може бути використано в будь-якому місці з мобільним пристроєм
Освітній потенціал	Добре для тренувань	Стандартне навчання	Інтерактивне навчання з реальними об'єктами
Час на налаштування	10-15 хвилин	5-10 хвилин	1-2 хвилини

7

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані існуючі методи візуалізації, зокрема використання VR та 3D-графіки для демонстрації техніки. Виявлено, що більшості методів не вистачає мобільності, інтерактивності та доступності для користувачів у реальному часі.
2. Розроблено метод візуалізації, що інтегрує 3D-моделі військової техніки у реальний світ через доповнену реальність, використовуючи Unity і AR Foundation. Метод включає позиціонування, масштабування, взаємодію та демонстрацію об'єктів.
3. Досягнуто значного покращення доступності та мобільності візуалізації завдяки використанню технологій доповненої реальності. Метод дозволяє працювати на звичайних мобільних пристроях без потреби у спеціальному обладнанні, надаючи користувачам можливість вивчати моделі в будь-якому місці. Забезпечено чудову інтерактивність, динамічне налаштування положення та орієнтації об'єкта в реальному часі, що створює зручні умови для демонстрацій і навчання.

8

ПУБЛІКАЦІЇ ТА АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

Тези доповідей:

1. Линник Я.А., Довженко Т.П. Огляд технологій доповненої реальності для візуалізації військової техніки та військових технологій в ігровому рушії Unity. // Всеукраїнська науково-технічна конференція "Виклики та рішення в програмній інженерії". Збірник тез. К.: ДУІКТ, 26 листопада 2024 року, С. 190-192.
2. Линник Я.А., Довженко Т.П. Визначення вимог до організації роботи додатку з користувачем у контексті доповненої реальності // Всеукраїнська науково-технічна конференція "Виклики та рішення в програмній інженерії". Збірник тез. К.: ДУІКТ, 26 листопада 2024 року, с. 171-173.