

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань _____ 12 – Інформаційні технології _____

Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія _____

на тему «Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності»


КвРКІП. 170171.21.01.13 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-21-1

Керівник д. ф., старший викладач
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.
Т.О. Говорушенко

18 05 2023 р.


Підпис Ковтонюк М.О.
Ініціали, прізвище


Підпис Павлова О.О.
Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О. Говорущенко

“01” 09 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Ковтонюку Миколі Олексійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності

Керівник проекту (роботи) Павлова О.О., д.ф., старший викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 09.01.2023 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз існуючих рішень у галузі доповненої реальності





Побудова моделей об'єктів для візуалізації у доповненій реальності

Метод та алгоритм візуалізації 3D-моделей об'єктів за допомогою доповненої реальності

Розроблення програмно-технічного засобу для візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	05.09.2022	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2022	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2022	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2022	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.01.2023	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2023	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2023	виконано
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2023	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 10.05.2023	виконано

Студент

Керівник роботи



Підпис



Підпис

М.О. Ковтонюк
Ініціали, прізвище

О.О. Павлова
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності.

Автор роботи: Ковтонюк Микола Олексійович

Керівник роботи: Павлова Ольга Олександрівна, д.ф., ст. викладач

Пояснювальна записка: 72 сторінок, 45 рис., 7 табл., 5 дод., 85 джерел.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ: Доповнена реальність, 3D моделювання, візуалізація, тривимірні об'єкти, мобільний додаток.

Об'єктом дослідження є застосування доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для візуалізації 3D об'єктів.

Предметом дослідження є застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів.

Метою дипломної роботи є забезпечення візуалізації 3D моделей об'єктів шляхом застосування доповненої реальності.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

1. Розробка методу візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності.
2. Розробка 3D-моделей для візуалізації за допомогою доповненої реальності.
3. Розробка програмно-технічного засобу для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмно-технічний засіб для візуалізації 3D об'єктів.

1. Вперше розроблено метод застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів.

2. Вперше розроблено алгоритм для візуалізації тривимірних об'єктів у доповненій реальності.

3. Вперше розроблено програмно-технічний засіб для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці програмно-технічного засобу для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку, який дозволяє користувачу завантажити власні моделі у базу даних додатку та відтворити їх в режимі реального часу та в натуральну величину.

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2022), було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інженерія» у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили (м. Миколаїв) та опубліковано тези. А також опубліковано англomовну статтю у журналі Комп'ютерні системи та інформаційні технології, яке входить до фахових наукових видань України категорії В.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 8	8
1.1 Сучасний стан галузі доповненої реальності	8
1.2 Технології та сфери застосування доповненої реальності	12
1.2 Застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів.....	20
1.4 Постановка задачі та вибір технологій для реалізації	23
1.5 Висновки.....	24
2 ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ.....	25
2.1 Побудова тестових 3D моделей арт об'єктів.....	25
2.1.1 3D модель арт-об'єкту “Сонячне дерево”	31
2.1.2 3D модель арт-об'єкту “Лавочка з парасолькою”	33
2.1.3 3D модель арт-об'єкту “Смарт-лавочка з таблом”	35
2.2. Функційні вимоги.....	37
2.3. Нефункційні вимоги	39
2.3.1. Вимоги до системи.....	41
2.3.2. Вимоги щодо взаємодії з навколишнім середовищем	42
2.4 Висновки	43
3 МЕТОД ТА АЛГОРИТМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	44
3.1 Принцип застосування технології доповненої реальності для відтворення 3D-моделей об'єктів у просторі.....	44
3.2 Математична модель візуалізації об'єкта у доповненій реальності	45

3.3. Метод та алгоритм візуалізації 3D-моделей у доповненій реальності.....	47
3.3 Висновки	61
4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛЕЙ ОБ’ЄКТІВ У ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ	62
4.1 Проєктування архітектури системи для візуалізації 3D-моделей об’єктів у доповненій реальності.	62
4.2 Програмна реалізація.....	64
4.3 Аналіз результатів експериментів, верифікація, тестування та оцінка якості інформаційної системи візуалізації 3D-моделей об’єктів у доповненій реальності.....	71
4.4 Висновки	79
ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	81
ДОДАТОК А Лістинг програмного забезпечення.....	91
ДОДАТОК Б Копії тез та публікації.....	96
ДОДАТОК В Презентація до пояснювальної записки.....	101

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AR – Augmented Reality – доповнена реальність

VR – Virtual Reality – віртуальна реальність

CGI – Computer Generated Interface – автоматично генерований інтерфейс користувача

DB – Database – база даних

API – Application Programming Interface – інтерфейс програмування додатків

OS – Операційна система

IIS – Internet Information Services – вебсервер від Microsoft

ВСТУП

Наразі сервіси на базі технології доповненої реальності все частіше можна застосовувати для повсякденних задач. Сьогодні доповнена реальність викликає інтерес як з боку науки, так і з боку бізнесу, оскільки такі рішення дозволяють вийти за рамки стандартного застосування продукту чи сервісу, що підвищує його конкурентоздатність на ринку. У даній роботі розглянуто прикладні аспекти розробки програмно-технічного засобу для відтворення тривимірних моделей об'єктів у доповненої реальності. Актуальність роботи полягає в розробці нового програмно-технічного засобу у вигляді кросплатформного мобільного додатку, який дозволяє користувачу завантажити власні моделі в базу даних системи та відтворити їх у доданій реальності в реальному розмірі та в режимі реального часу.

Метою дипломної роботи є забезпечення візуалізації 3D моделей об'єктів шляхом застосування доповненої реальності.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

1. Розробка методу візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності.
2. Розробка 3D-моделей для візуалізації за допомогою доповненої реальності.
3. Розробка програмно-технічного засобу для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності.

Об'єктом дослідження є застосування доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для візуалізації 3D об'єктів.

Предметом дослідження є застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмно-технічний засіб для візуалізації 3D об'єктів.

1. Вперше розроблено метод застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів.

2. Вперше розроблено алгоритм для візуалізації тривимірних об'єктів у доповненій реальності.

3. Вперше розроблено програмно-технічний засіб для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці програмно-технічного засобу для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку, який дозволяє користувачу завантажити власні моделі у базу даних додатку та відтворити їх в режимі реального часу та в натуральну величину.

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2022), було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інженерія» у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили (м. Миколаїв) та опубліковано тези. А також опубліковано англomовну статтю у журналі Комп'ютерні системи та інформаційні технології, яке входить до фахових наукових видань України категорії В.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Сучасний стан галузі доповненої реальності

Доповнена реальність (AR) – це надання цифрового вмісту, що доповнює об'єкти, які знаходяться у вас перед очима, коли ви дивитеся на них через спеціальні окуляри доповненої реальності або камеру телефона, планшета чи іншого пристрою. Технологія доповненої реальності накладає додатковий вміст на реальний світ, наявний перед людиною [28]. Приклад роботи технології доповненої реальності показано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Приклад використання технології доповненої реальності із застосуванням камери смартфона [29]

Технологія доповненої реальності має величезний комерційний потенціал у різноманітних галузях, від відкриття нових каналів маркетингу до вдосконалення процесів навчання працівників [28].

Наразі технологія доповненої реальності набуває все частішого використання та застосовується для більшої кількості сфер людського життя. Ми можемо зустріти мобільні застосунки, рекламні ролики та навчальні тренажери із застосуванням доповненої реальності. Аналіз публікацій за 2021-2022 роки, наявних на сайті Google Академія, показав, що більшість статей присвячені

застосуванню доповненої реальності для навчальних цілей (рисунок 1.2) [1]. Це є досить прогнозованим, оскільки це пов'язано з тим, що AR- і VR-технології дозволяють створити іммерсивне навчальне середовище, де студенти можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами та сценаріями, що покращує їх здатність сприймати та розуміти матеріал

Наступною за чисельністю є галузь медицини, а саме іммерсивна медицина, де за допомогою елементів доповненої реальності можна проводити діагностику та дослідження. Також AR- та VR-рішення в цій сфері можуть бути використаними для тренування медичного персоналу, моделювання складних медичних процедур, візуалізації медичних зображень та навіть дистанційної консультації з використанням віртуальної реальності.

Також доповнена реальність часто застосовується у сфері електронної комерції, реклами, індустрії моди та краси. Наприклад, для того щоб купити одяг, взуття чи аксесуари в онлайн-магазині, можна зробити онлайн-примірку за допомогою мобільного застосунку з елементами доданої реальності, де віртуальне зображення бажаного товару можна “одягнути” на себе та за допомогою камери смартфона зробити фото чи відео і подивитись, чи підходить ця річ і як приблизно покупець буде в ній виглядати. На сьогодні, коли під впливом пандемії коронавірусу люди все частіше стали виконувати покупки онлайн, застосування доданої реальності для онлайн-комерції є ефективним засобом просування бізнесу та залучення більшої кількості клієнтів, особливо серед молоді.

Використання доповненої реальності у сфері аналізу даних дозволяє використовувати для візуалізації складних набори даних у тривимірному просторі, що полегшує їх розуміння та виявлення прихованих залежностей та закономірностей, що дозволяє виконувати аналіз даних із набагато вищою точністю та продуктивністю. AR/VR інтерфейси займають лише невелику частку від загального використання доповненої реальності. Ці інтерфейси використовуються для створення інноваційних способів взаємодії з комп'ютерними системами, включаючи жестове керування, віртуальні клавіатури та інші

інтерактивні методи, що розширюють можливості людського взаємодії з технологіями.

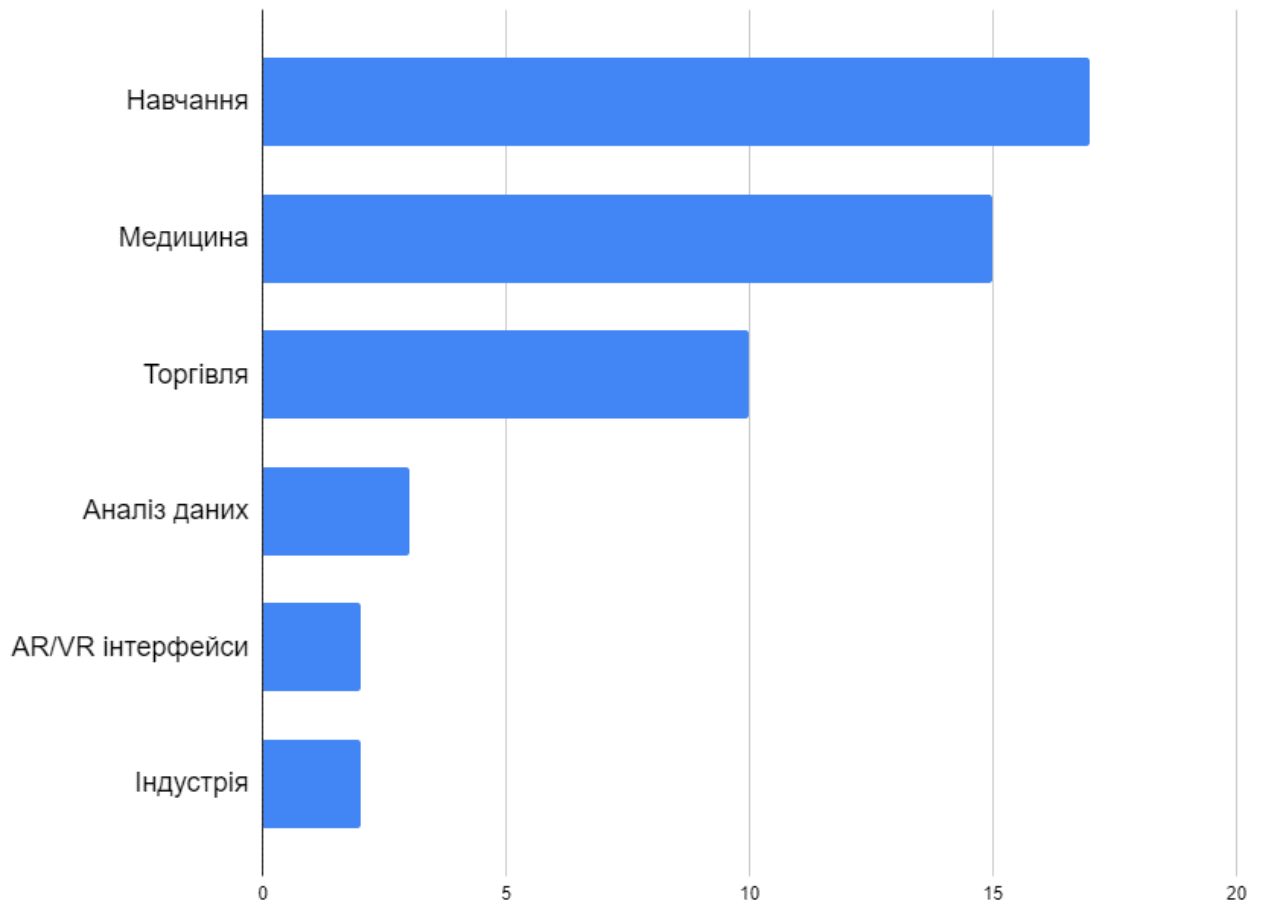


Рисунок 1.2 – Найпоширеніші галузі застосування доповненої реальності

Для дослідження сучасного стану галузі доповненої реальності проаналізуємо останні наукові статті та публікації.

Так, у [2, 8, 13] запропоновано застосування доданої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.

Стаття [14] пропонує застосування доповненої реальності для інтерфейсу користувача програмної системи пошуку громадських місць з можливостями інклюзивного доступу.

Автори [19] пропонують три відносно нетехнічні методи створення 3D-доповнених об'єктів для курсів хімії та демонструють їх використання як як швидко лекційну діяльність, так і як частину розширеної лабораторії.

У статті [20] пропонується інтеграція фотограмметричної реконструкції, 3D-моделювання та застосування доповненої реальності для досягнення повної візуалізації кам'яної скульптури, навіть якщо вона сильно пошкоджена чи фрагментарна.

Стаття [21] містить дві демонстрації того, як доповнена реальність (AR), яка є проекцією віртуальної інформації на об'єкт реального світу, може бути застосована в класі та в лабораторії.

Стаття [22] застосовує геоінформаційні технології (GIT) до сфери культурної спадщини (CH) з метою аналізу оцінки спадщини через цифрові представлення (DR). Він розглядає основні теми збору, моделювання та візуалізації 3D-даних, а також застосування культурної спадщини, а також представляє випробування 3D і доповненої реальності (AR), а також їх основні результати та обговорення.

У [23] подано загальний огляд використання доповненої реальності як ефективного інструменту для публікацій програмного забезпечення.

Однак жодного практичного випадку використання AR не висвітлено.

Автори [24] представляють DesignAR, розширену робочу станцію для створення 3D-моделей.

Автори [25] забезпечують візуалізацію радіологічного зображення за допомогою віртуальної та доповненої реальності для кращого планування та моніторингу операцій.

У роботі [26] розглядається та вдосконалюється існуюча література щодо імерсивний досвід співробітників у метавсесвіті.

У цьому дослідженні було зібрано попередні висновки, які показують, що віртуальні робочі середовища як простори реальності, згенеровані комп'ютером, інтегрують цифрові побратими, інструменти віддаленої співпраці, програмне забезпечення для підвищення продуктивності та переносні пристрої для самовідстеження.

Автори [27] наводять приклад застосування доповненої реальності в медичній освіті – це футболка з доповненою реальністю, яка дозволяє студентам досліджувати внутрішню частину людського тіла як анатомічну лабораторію.

Проведений огляд літературних джерел показав, що жодне із запропонованих наразі рішень не спрямоване на візуалізацію у доповненій реальності багатофункціональних тривимірних моделей об'єктів.

Тому наразі вирішення цього завдання є актуальним питанням.

1.2 Технології та сфери застосування доповненої реальності

Аналіз вже існуючих рішень, представлених на ринку, показав, що доповнена реальність найчастіше використовується для навчальних тренажерів, в іммерсивних технологіях, у сфері реклами, електронної комерції, для розробки новітніх VR/MR-інтерфейсів користувача [1, 2, 13].

Результати статистики та проаналізованих публікацій, а саме технології та сфери, де на сьогодні найчастіше застосовується доповнена реальність, у візуалізованому вигляді наведено на рисунку 1.3.

Базуючись на статистичних результатах класифікації тем наукових публікацій можна зробити висновок, що у сфері навчання використання доповненої реальності дуже поширене і становить 56,3% від загального обсягу використання по вибірці. Це пов'язано з тим, що AR- і VR-технології дозволяють створити іммерсивне навчальне середовище, де студенти можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами та сценаріями, що покращує їх здатність сприймати та розуміти матеріал.

Решта класифікованих публікацій показує, що використання доповненої реальності також є популярним у сферах медицини, аналізу даних, комерції, що є також є показником корисних властивостей, що має доповнена реальність для цих сфер.

У ході роботи було проведено дослідження використання технології доповненої реальності для різних технологій та сфер діяльності та прикладі реальних проектів, які вже успішно користуються попитом у світі або тільки

набирають обертів, адже згідно [15-17], за доповненою, віртуальною та розширеною реальністю майбутнє комерції та маркетингу.

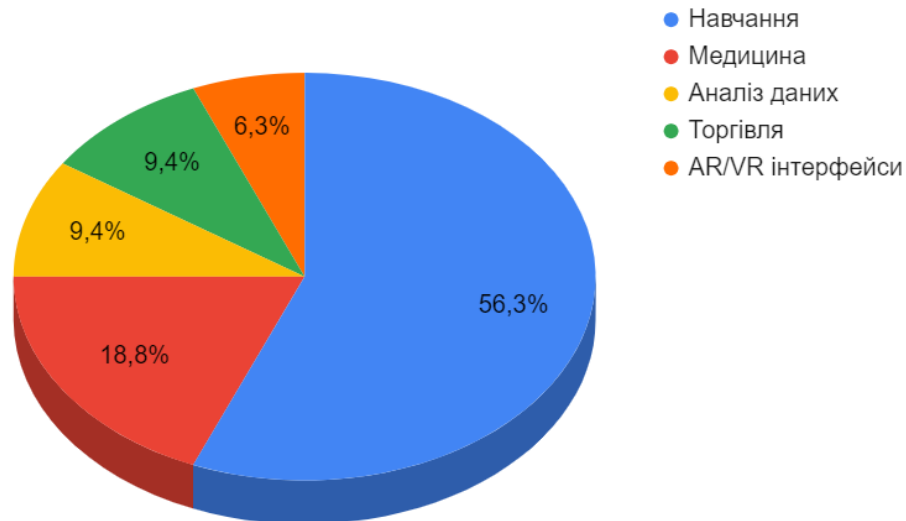


Рисунок 1.3 – Технології та сфери застосування доповненої реальності
[1, 2, 13]

За результатами аналізу [15-17] було складено таблицю 1.1, у якій представлені сучасні технології та тренди використання доповненої реальності для різних галузей та сфер людського життя.

Таблиця 1.1 – Аналіз сучасних технологій та трендів використання доповненої реальності

Технологія або тренд	Назва додатку чи пристрою	Опис
Віртуальні компаньйони на основі доповненої реальності	Hybri [35]	Такий додаток дозволить користувачам створювати компаньйона зі штучним інтелектом на основі AR, який нагадуватиме реальних людей.

Продовження таблиці 1.1 – Аналіз сучасних технологій та трендів використання доповненої реальності

Технологія або тренд	Назва додатку чи пристрою	Опис
Застосування AR-окулярів для різних видів діяльності	Компанії Google та Apple	Такі гіганти, як Apple, уже працюють над наданням унікального досвіду AR через окуляри, які планується випустити наприкінці 2025 року [36].
Способи заробітку на метавсесвіті	Microsoft Azure	Microsoft є одним із технологічних гігантів, які прагнуть домінувати в доповненій реальності. Їхня концепція поєднання хмарних обчислень із досконалістю AR/VR робить це цікавим тематичним дослідженням [37].
Доповнена реальність для мобільних застосунків	Доповнена реальність для мобільних застосунків	Одним із найкращих прикладів мобільної доповненої реальності є фільтр зображень, який користувачі можуть використовувати в програмах соціальних мереж, таких як Snapchat і Instagram. Snapchat готується представити NFT як фільтри у своєму мобільному додатку.

Кінець таблиці 1.1 – Аналіз сучасних технологій та трендів використання доповненої реальності

Технологія або тренд	Назва додатку чи пристрою	Опис
Можливість працювати віддалено за допомогою доданої реальності	-	Одним із чудових прикладів є криогенні операції на нафтопереробних заводах, де робочі температури є критичними. Хоча співробітники на місці стикаються з проблемами, які потребують експертної допомоги, AR може допомогти з необхідною допомогою у відповідь.
Захоплюючі ігрові програми на основі AR	Pokemon GO та Egg	Одним із популярних трендів AR є використання доповненої реальності для створення інтерактивних розваг для користувачів. Крім того, Inc і Harry Potter the wizards united забезпечили покращений ігровий досвід на смартфонах.

Базуючись на даних, представлених в таблиці 1.1, можна зробити висновок про велику кількість прикладів технологій та трендів використання доповненої реальності. Існують AR-пристрої для окулярів доповненої реальності, метавсесвіту, платформи для мобільних застосунків, технології віддаленої роботи та також ігрові програми на основі доповненої реальності.

Особливого значення має доповнена реальність при застосуванні її в медичній сфері, наприклад, лікарня Джоша Хопкінса проводить операції за допомогою унікального комп'ютерного накладення AR для лікарів. Це дозволяє хірургам дивитися крізь м'язи та тіло на те, як відбуваються операції всередині тіла. Також існують програми, які допомагають пацієнтам віртуально продемонструвати свої симптоми. За допомогою віртуальної реальності може бути проведене віртуальне сканування, яке може показати вени та артерії для покращення здоров'я серця. На основі доповненої реальності також працюють інтерактивні програми, які допомагають пацієнтам контролювати кардіостимулятори.

Серед популярних у всьому світі додатків, які вже використовують доповнену реальність, щоб покращити зручність процесу підбору товару для своїх клієнтів є мобільні додатки Wanna Kicks [34] та IKEA Place [33]. Розглянемо коротко функціонал кожного з них та переваги і недоліки.

Мобільний додаток Wanna Kicks: примірка кросівок у доповненій реальності. Мобільний додаток для операційних систем Android та iOS, який дозволяє онлайн-примірку кросівок запропонованих моделей у доповненій реальності.

Переваги: реалістичність моделей, можливість зробити фото чи відео відео, як виглядатиме обрана модель на нозі.

Недоліки:

- доступні лише запропоновані моделі, немає можливості вибору кольорів;

- для перегляду та відображення моделей потрібно завантажити додаток.

Мобільний додаток IKEA Place мобільний додаток для операційної системи iOS, який дозволяє віртуально розмістити 3D-моделі в реальному масштабі у вашому власному просторі у доповненій реальності.

Переваги: реалістичність моделей, можливість зробити фото/відео

Недоліки:

- доступні лише запропоновані моделі, немає можливості зміни кольорів;

- для перегляду та відображення моделей потрібно завантажити додаток.

Також було проведено дослідження наявних у найпопулярніших магазинах мобільних застосунків Google Play Market та Apple App Store додатків зі схожим функціоналом та складено порівняльну таблицю їх характеристик (Таблиця 1.2)

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз мобільних додатків із застосуванням доповненої реальності для візуалізації моделей.

Назва	Операційна система	Короткий опис	Переваги	Недоліки
Fectar	Android, IOS	Додаток-галерея AR-моделей, доповнюється користувачами	Великий вибір AR-моделей Велике ком'юніті користувачів Не потребує підтримки AR від пристрою	Низька якість AR-моделей, за рахунок відсутності модерації Перевантажений інтерфейс відносно функціоналу застосунку
Assemblr	Android, IOS	Додаток-галерея для AR-моделей, що дозволяє користувачам створювати AR-моделі з макетів та поширювати їх.	Лаконічний дизайн Широкий вибір AR-моделей Зручний пошук AR-моделей за рахунок поділу на категорії	Доступ до певних AR-моделей платний

Продовження таблиці 1.2 – Порівняльний аналіз мобільних додатків із застосуванням доповненої реальності для візуалізації моделей.

Назва	Операційна система	Короткий опис	Переваги	Недоліки
UniteAR	Android, IOS	Додаток, що призначений для створення, поширення та відображення AR-моделей	Велика кількість AR-моделей, поділених за категоріями Можливість використання готових 3D моделей	Доступ до додатку надається лише після надання доступу до камери Низька якість AR моделей Неможливо переглянути прев'ю моделі. Перевантажений відносно функціоналу інтерфейс Список AR-моделей рідко поповнюється
AR-компонента додатку Google	Android, IOS	Частина додатку, призначена для відображення AR-моделі, що пов'язана з пошуковим запитом	Детальні та анімовані AR-моделі Наявність прев'ю перед переходом в режим AR	Невелика кількість AR-моделей Список AR-моделей рідко поповнюється

Кінець таблиці 1.2 – Порівняльний аналіз мобільних додатків із застосуванням доповненої реальності для візуалізації моделей.

Назва	Операційна система	Короткий опис	Переваги	Недоліки
TeamViewer Assist AR	Android, IOS, Windows, macOS	Додаток, призначений для віддаленої допомоги шляхом передачі відеосигналу з пристрою та нанесення поверх відео допоміжних символів у вигляді AR-моделей.	Додаток має чітке практичне застосування	Платний додаток Невелика кількість вказівників у вигляді AR-моделей
ARt	Кросплатформний	Додаток, призначений для візуалізації AR-моделей для екстер'єрного дизайну.	Має чітке практичне застосування Прев'ю для AR-моделей Розширюваний список AR-моделей Мінімалістичний інтерфейс	Для використання потрібно, щоб девайс мав підтримку AR

1.2 Застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів

На сьогодні існує не так багато готових рішень для візуалізації 3D об'єктів у доданій реальності.

Проте це є актуальною задачею. Аналіз готових рішень та мобільних застосунків, виконаний у розділі 1.2 показав, що наразі найефективніше ця задача реалізована в AR-компоненті додатку Google, що, зазвичай, є передвстановленим на смартфонах із операційною системою Android.

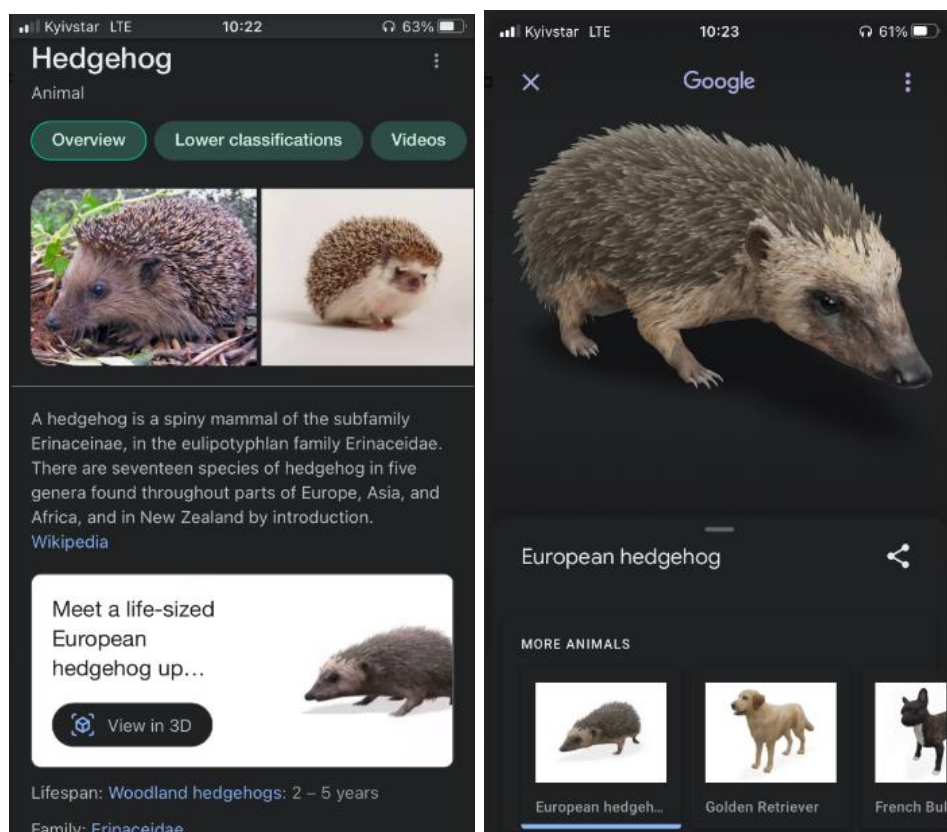
Мобільний додаток Google дозволяє переглянути деякі результати пошуку у 3D з відтворенням у доповненій реальності.

Це дає можливість побачити об'ємні анімовані 3D моделі тварин та птахів в режимі реального часу та у просторі. Оскільки даний додаток є наразі єдиним засобом, який дозволяє відтворювати 3D моделі у просторі та у доданій реальності, було прийнято рішення встановити його на пристрій (смартфон) та детально протестувати усі функції для дослідження переваг та недоліків даного програмного засобу.

Мобільний додаток Google можна завантажити та встановити на смартфон безкоштовно як під операційну систему Android, так і під iOS з офіційних магазинів мобільних застосунків Google Play Market [6] та Apple App Store [7].

Тому для порівняння роботи додатку під різними операційними системами, було вирішено встановити його на пристрої Xiaomi Mi 8 lite та iPhone, які працюють під керуванням ОС Android та iOS відповідно. Знімки екрану під час тестування на пристрої iPhone7 представлено на рисунку 1.4.

При попередньому перегляді додатку на пристрої iPhone 7 не було виявлено жодних проблем із підтримкою додатку смартфоном. При тестуванні на пристрої Xiaomi Mi 8 lite було виявлено, що цей пристрій не підтримує технологію доповненої реальності. Отже, даний додаток має лише певний список підтримуваних смартфонів. Для пристроїв під керуванням операційної системи Android даний список можна дізнатись на ресурсі [86]. Додаток підтримується операційною системою iOS починаючи із версії 11.



а)

б)

Рисунок 1.4 – Знімки екрану під час тестування додатку Google на пристрої iPhone7 (а) пошук моделі у додатку; б) анімоване зображення моделі, готове до відтворення в доповненій реальності)

Оскільки всі пристрої iPhone під керуванням iOS, починаючи із версії 11, підтримують технологію доповненої реальності, ми можемо провести тестування моделей в дійсному розмірі та в режимі реального часу.

З допомогою даного додатку було проведено експерименти із отримання зображень 3D моделей в просторі для різних моделей. Було здійснено експерименти із чотирма наявними в додатку тривимірними моделями об'єктів.

Для тестування було обрано тестування на траві для перевірки можливості визначити додатком площину для цієї поверхні. При перевірці було виявлено, що додаток в змозі визначити площину поверхні та позиціонувати тривимірний об'єкт в просторі.

Знімки з камери смартфона з результатами відтворення моделей у доданій реальності зображено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Знімки з камери смартфона iPhone7 з результатами відтворення 3D-моделей з додатку Google у доданій реальності

Під час тестування було також виявлено, що не всі пристрої під керуванням ОС Андроїд підтримують доповнену реальність. Якщо пристрій не підтримує AR, то в додатку відсутня опція перегляду моделі в 3D (рисунок 1.6).

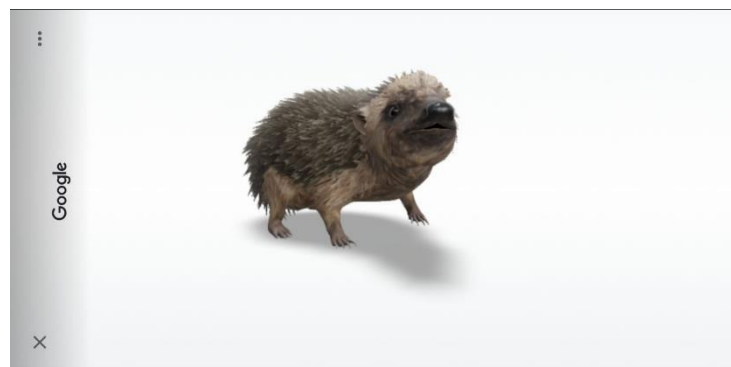


Рисунок 1.6 – Знімок екрану пристрою Xiaomi Mi 8 lite під час тестування додатку Google

Отже, протестувавши додаток Google на різних пристроях під операційними системами Android та iOS, було визначено такі недоліки:

- функція AR доступна лише у мобільному додатку, через веб-версію (сайт Google) недоступна;
- для перегляду доступні лише 32 моделі тварин;
- не можна завантажувати власні моделі;
- для перегляду та відображення моделей потрібно завантажити додаток на пристрій.

Таким чином, крім наукових публікацій, було протестовано і готові рішення, відтак, єдиним повністю готовим засобом для візуалізації тривимірних моделей об'єктів наразі є AR-компонента мобільного додатку Google [18]. Серед переваг цієї розробки є те, що додатки є під операційні системи Андроїд та iOS, моделі для візуалізації є анімованими. Серед недоліків – у базі даних міститься лише 32 моделі, це переважно тварини та птахи, власні моделі завантажувати не можна.

1.4 Постановка задачі та вибір технологій для реалізації

Оскільки програмно-технічний засіб буде розроблено у вигляді крос-платформного мобільного застосунку, для візуалізації тривимірного зображення буде використано камеру смартфона.

Отже, завдання, які потрібно вирішити у ході магістерської роботи:

1. розробка методу візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності;
2. розробка 3D-моделей для візуалізації за допомогою доповненої реальності;
3. розробка програмно-технічного засобу для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності.

Для розробки програмно-технічного засобу для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності будуть використані такі технології:

При розробці мобільного додатку для операційних систем Android та IOS в якості кросплатформеного фреймворку використано MAUI, на базі технології dotnet 7, для розробки інтерфейсу користувача було використано вебфреймворк Blazor із бібліотекою компонентів Radzen та CSS-фреймворком Bootstrap 5. При розробці серверної частини використано вебфреймворк на базі технології dotnet 7. В якості бази даних використано SQL Server, для збереження файлів – Azure Blob Storage. В якості хостингу використано Azure Cloud.

1.5 Висновки

Отже, у першому розділі було проведено аналіз існуючих рішень у галузі доповненої реальності. А саме: було проаналізовано літературні джерела, наукові публікації та готові рішення у вигляді мобільних додатків для візуалізації об'єктів у доповненій реальності.

Також було проведено дослідження технологій та сфер застосування доповненої реальності та аспекти застосування доповненої реальності для візуалізації 3D-моделей об'єктів.

Аналіз предметної галузі показав, що наразі є лише одне повністю готове до використання рішення для візуалізації тривимірних моделей об'єктів у доповненій реальності – AR-компонента додатку Google. Проте після тестування було виявлено, що даний сервіс має дещо обмежений функціонал.

Тому актуальним завданням є розробка методів та алгоритмів для розробки програмно-технічного засобу для візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності.

2 ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ

2.1 Побудова тестових 3D моделей арт об'єктів

Для того щоб протестувати роботу розробленого програмно-технічного засобу потрібно розробити тестові моделі, які користувач завантажуватиме в базу даних мобільного додатку для подальшого відтворення у доповненій реальності. Для розроблення моделей використаємо середовище Blender. Як навколишнє середовище для відтворення об'єктів використаємо ботанічний сад Хмельницького національного університету, тому у якості моделей розробимо вуличні арт-об'єкти з сонячними батареями та акумуляторами для можливості зарядки кишенькових пристроїв. Для завантаження в базу даних нашого додатку, експортуємо моделі в файловому форматі .glb. Перед завантаженням в базу даних додатку, необхідно валідувати відображення 3D моделей, використовуючи сайт [39] для перегляду файлів формату .glb.

Для того щоб протестувати роботу розробленого програмно-технічного засобу потрібно розробити тестові моделі, які користувач завантажуватиме в базу даних мобільного додатку для подальшого відтворення у доповненій реальності. Для розроблення моделей використаємо середовище Blender.

Як навколишнє середовище для відтворення об'єктів використаємо ботанічний сад Хмельницького національного університету, тому у якості моделей розробимо вуличні арт-об'єкти з сонячними батареями та акумуляторами для можливості зарядки кишенькових пристроїв. Для завантаження в базу даних нашого додатку, експортуємо моделі у форматі .glb.

Матеріали є невід'ємною частиною процесу роботи з Blender. Вони дозволяють створювати реалістичні зображення та анімацію, що має важливе значення для багатьох проєктів.

Матеріали у Blender дозволяють визначати властивості поверхонь об'єктів, такі як кольори, текстури, блиск або прозорість.

Вони дозволяють створювати як прості, так і складні матеріали, які можуть відображати різні ефекти, такі як металічний блиск, рельєфність, скляний відблиск та інші.

Завдяки матеріалам у Blender можна створювати інтерактивні 3D-моделі, які можна обертати та досліджувати з усіх боків. Це особливо корисно для архітектурних проєктів та проєктів з віртуальною реальністю, де детальність та реалістичність відіграють важливу роль. Крім того, матеріали дозволяють використовувати Blender для створення відеоігор, анімаційних фільмів та інших мультимедійних проєктів, що потребують відображення різних ефектів та реалістичності.

Окрім реалістичності, матеріали у Blender є важливою частиною процесу моделювання та текстурювання. Вони дозволяють встановлювати властивості для окремих частин моделі, що дозволяє створювати складні моделі з багатьма різними поверхнями та текстурами.

Це допомагає забезпечити більш точну та реалістичну відтворення різних об'єктів у 3D-середовищі.

Тому, важливою складовою розроблення тестових моделей є не лише створення прототипу але і використання відповідних матеріалів для створення реалістичної моделі.

Перед початком розробки тестових моделей для додатку розробимо декілька 3D моделей для перевірки можливості розробки таких моделей. Тому для підтвердження такої можливості потрібно зробити наступні кроки:

1. Розробити три 3D об'єкти в одній сцені Blender.
2. Обрати колір для кожного тривимірного об'єкту в сцені.
3. Змінити матеріал для одного із об'єктів.
4. Експортувати сцену в файл із розширенням .glb.
5. Завантажити файл на сайт для перевірки.
6. Валідувати відображення 3D об'єктів.

Розроблена сцена із трьома об'єктами представлена на рисунку 2.1

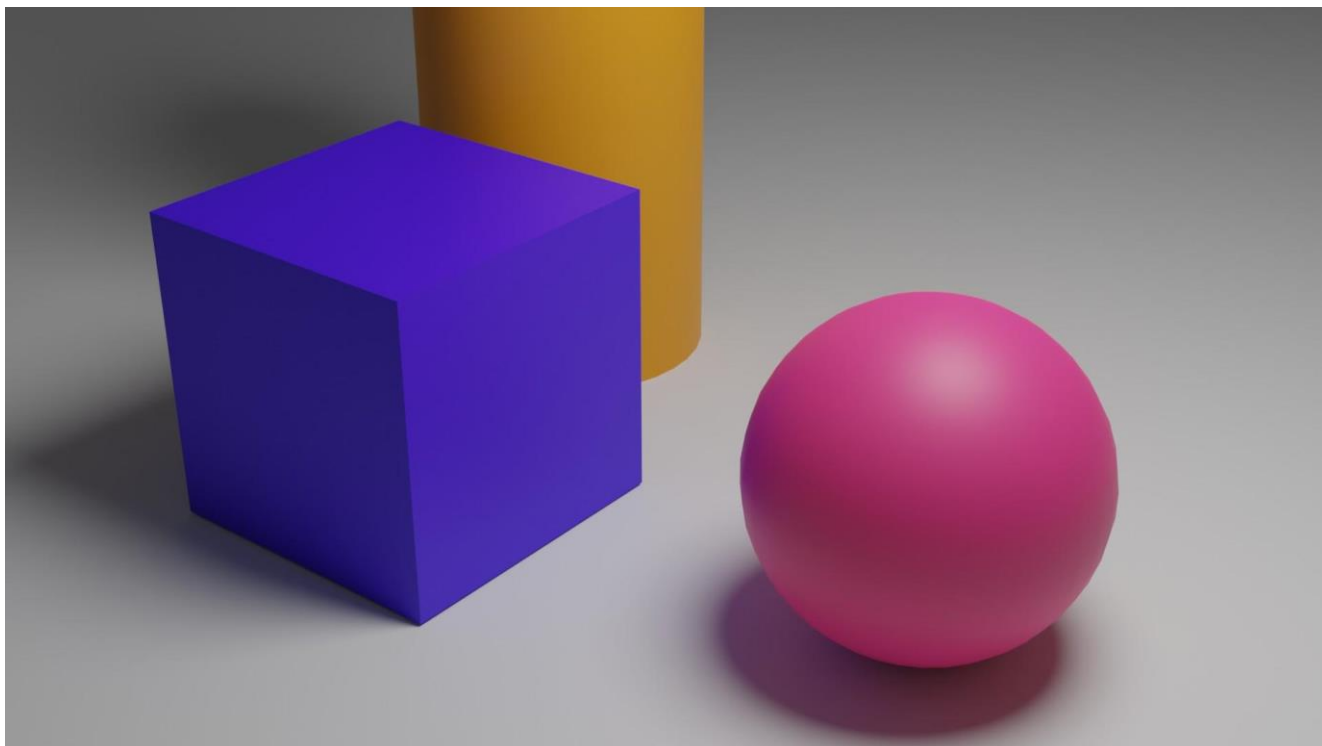


Рисунок 2.1 – Розроблені 3D об'єкти

Для зміни матеріалу скористаємось додаванням нового джерела поверхні. Для цього зайдемо в пункт меню “Shading”, та, попередньо обравши об'єкт для якого буде проведена зміна. В даному випадку змінимо матеріал синього кубу на скло. Для цього потрібно додати новий елемент “Glass BSDF”, не змінюючи всі попередні значення полів вводу, та додати зв'язок між вихідним параметром “BSDF” елементу “Glass BSDF” та вхідним параметром “Surface” елементу “Material Output”, як це показано на рисунку 2.2. DSDF (Displacement and Surface Detail from a Surface) - це алгоритм, який забезпечує додавання деталей поверхні в Blender за допомогою підключення до входу Surface. Коли DSDF підключається до входу Surface, він генерує додаткові дані та деталі, що відтворюють структуру поверхні об'єкта. При підключенні DSDF до входу Surface в Blender, він використовує різницю між геометрією поверхні об'єкта та його нормаліями для створення різних деталей та виступів на поверхні. Це дозволяє додати додатковий рівень реалізму та деталізації до текстури об'єкта.

В даному випадку таке підключення надає можливість надати скляного ефекту для обраного об'єкту.

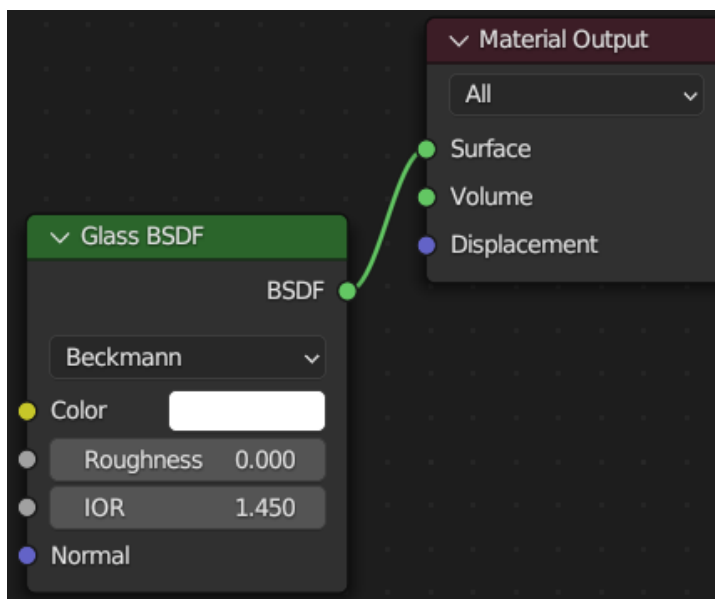


Рисунок 2.2 – Зміна матеріалу об'єкту

На рисунку 2.3 зображено, як виглядає сцена після зміни матеріалу одного із об'єктів. Як бачимо, куб став скляним та відображає переломлене зображення помаранчевого циліндру, що знаходиться за ним. Це цілком відповідає очікуваному склянному ефекту від матеріалу.

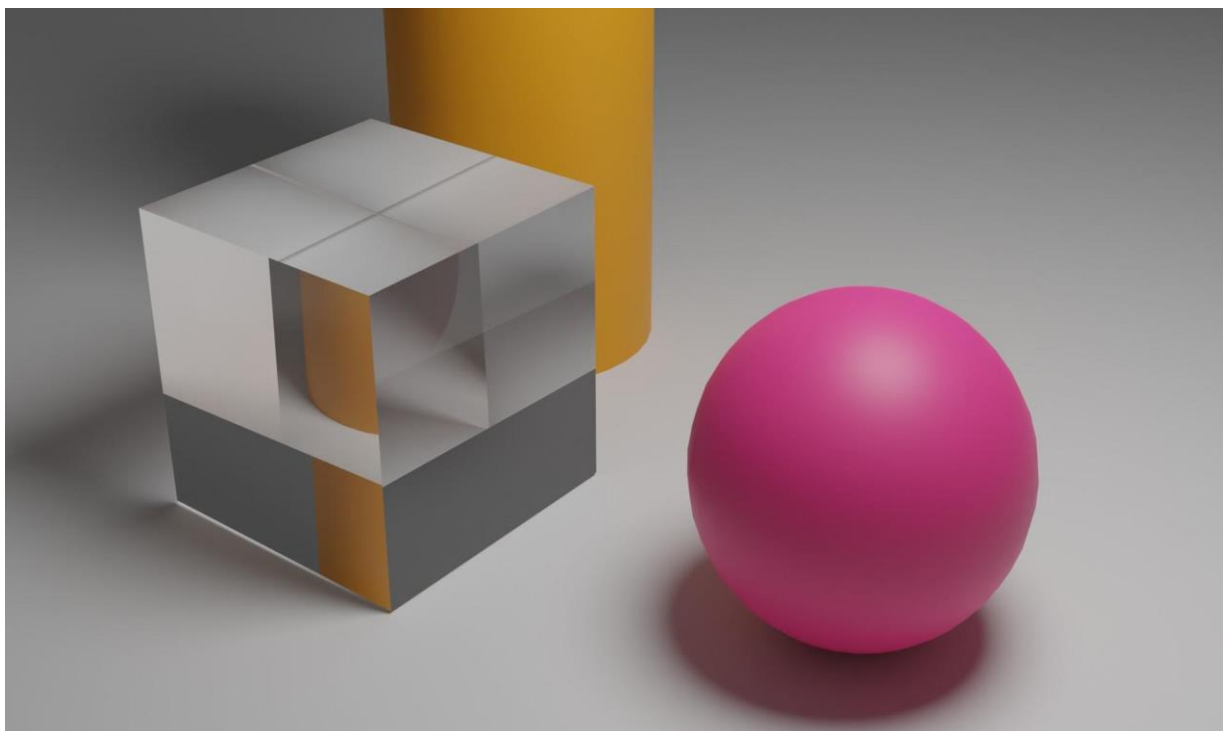


Рисунок 2.3 – Розроблені 3D об'єкти із зміненим матеріалом для одного із об'єктів

Експортувавши зображення в формат .glb та завантаживши даний файл на сайт для верифікації було отримано результат, що представлений на рисунку 2.4, як бачимо, матеріал кубу не експортувався коректно. Оскільки ця проблема є критичною, тому що без матеріалу не вдасться зробити тривимірну модель реалістичною.

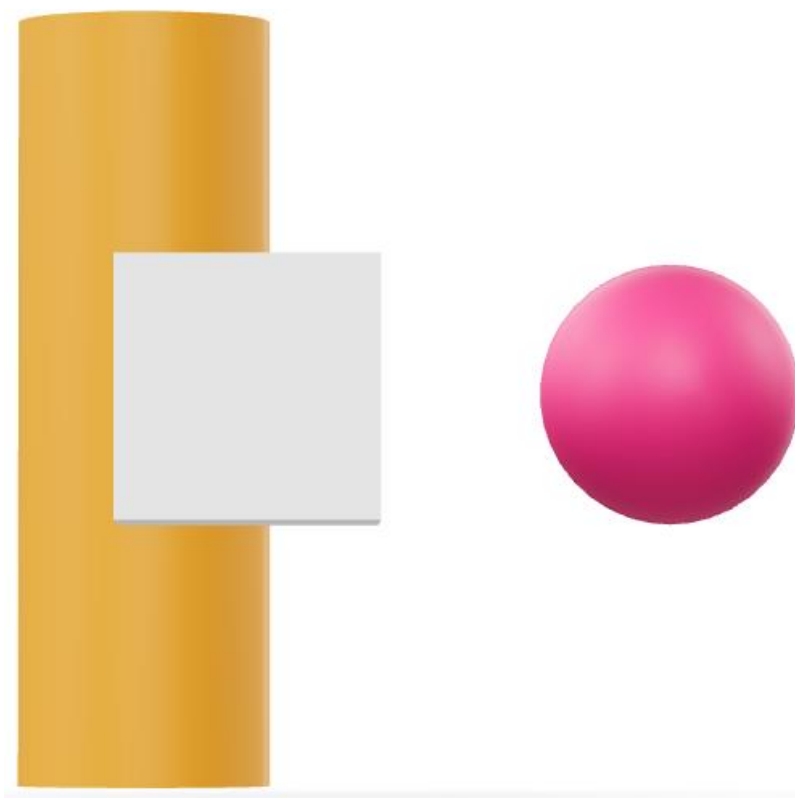


Рисунок 2.4 – Результат візуальної верифікації на сайті

Відповідно до документації надбудови до Blender, яка призначена для експортування тривимірних об'єктів в файл із форматом .glb, експортування можна застосувати лише для матеріалів, що базуються на “Principled BSDF”. Тому, змінимо для куба змінимо налаштування, як це представлено на рисунку 2.5. Також необхідно врахувати, що для отримання такого ж скляного ефекту, як і попередній варіант потрібно здійснити наступні кроки для елемента “Principled BSDF”:

- змінити значення Base color на #FFFFFF;
- змінити значення Metallic на 0.023;
- змінити значення Transmission на 1;

- змінити значення Transmission Roughness на 0;
- змінити значення Specular на 0;
- змінити значення IOR на 1.

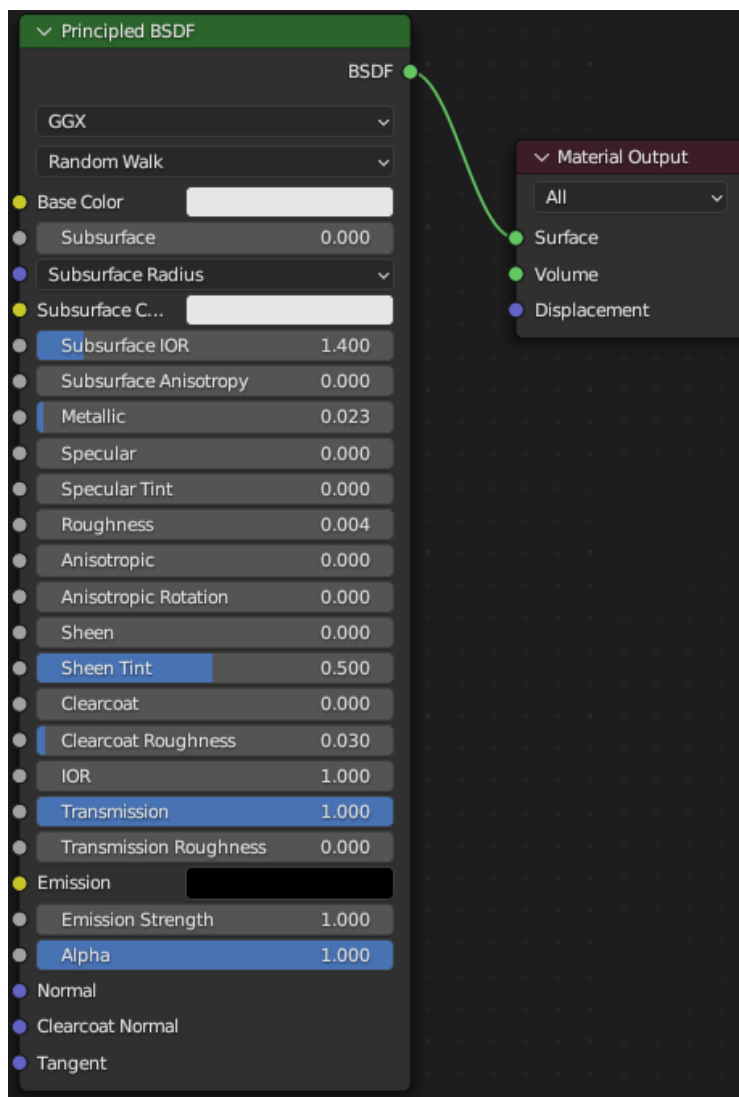


Рисунок 2.5 – Зміна налаштувань для кубу

Після виконання вищевказаних кроків та подальшого експортування та завантаження на сайт для верифікації [85], був отриманий результат, який наведено на рисунку 2.6. Отримана вище помилка, пов'язана із неможливістю експортувати матеріал для тривимірного об'єкту була виправлена, отже можливість експорту для використання в доповненій реальності підтверджена. Інших проблем після повторної верифікації не було виявлено.

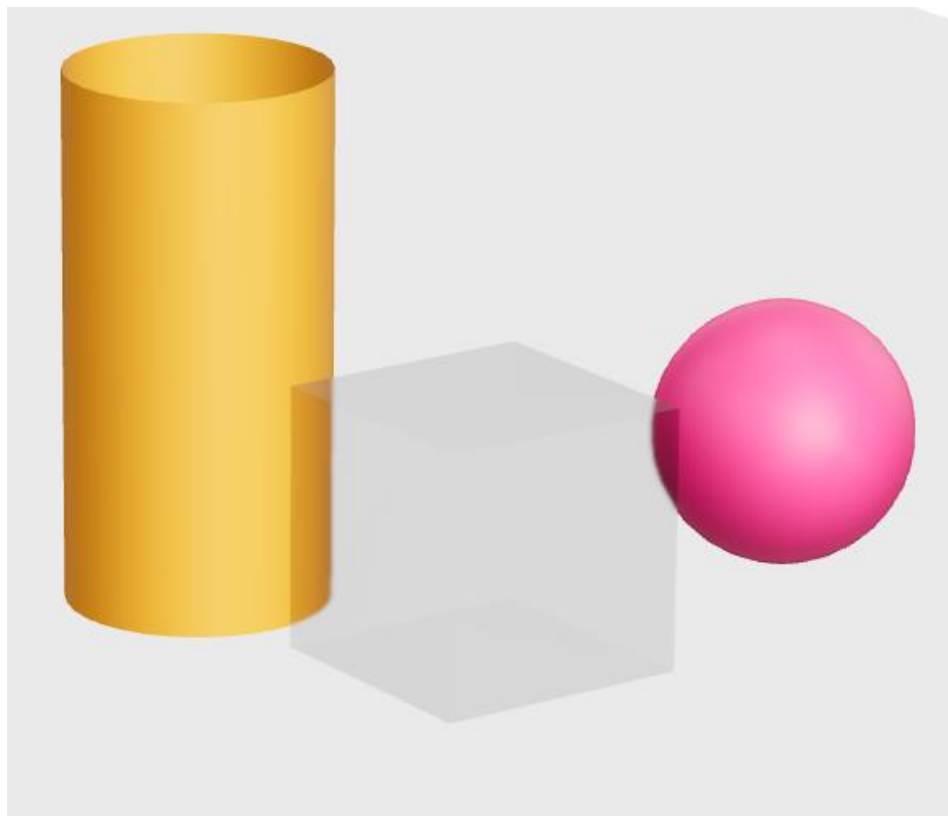


Рисунок 2.6 – Експортовані 3D моделі

2.1.1 3D модель арт-об'єкту “Сонячне дерево”

На рисунку 2.1 зображено 3D модель арт-об'єкту “Сонячне дерево”, розроблену у середовищі Blender. При проектуванні було сформовано тривимірний об'єкт, що складається з трьох основних частин:

- лавочка;
- сонячні панелі;
- стовбур.

Для конструювання моделі було використано метод моделювання полігонами. Після того, як форма моделі створена, було використано відповідні матеріали для відтворення вигляду кожної з компонентів. Для дерев'яних компонентів було використано текстури зображення деревини, для алюмінієвих компонентів – матеріали металу, а для кремнієвих компонентів – матеріали скла або кришталю.

Після встановлення матеріалів було скомпоновано кожен елемент на своєму місці у моделі за допомогою інструментів переміщення, обертання та масштабування.

Після розміщення кожної компоненти по місцях було зібрано модель за допомогою інструментів з'єднання. Після збирання моделі було налаштовано освітлення та виконано рендеринг, щоб побачити, як модель виглядає у різних умовах освітлення та перевірити, чи задовольняє вона поставлені вимоги. Результат перевірки рендерінгу показав, що модель без проблем відображається за різних умов.



Рисунок 2.7 – Тривимірний модель арт-об'єкту “Сонячне дерево”

На рисунку 2.8 представлено елемент, що використовується в якості матеріалу для лавочки. Для отримання матеріалу деревини, було використано текстуру деревини в якості базового кольору.

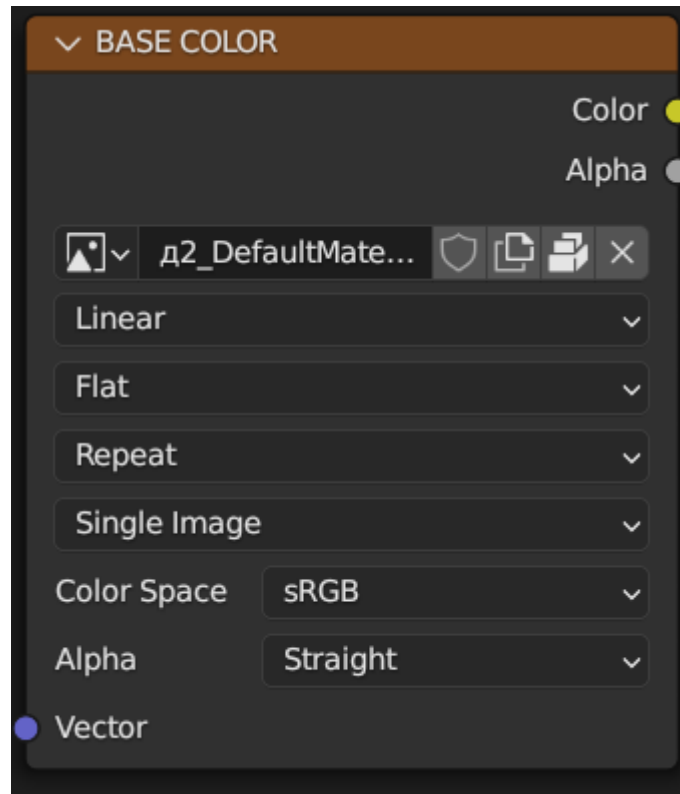


Рисунок 2.8 – Матеріал деревини для арт-об'єкту

2.1.2 3D модель арт-об'єкту “Лавочка з парасолькою”

Для конструювання моделі було використано метод моделювання полігонами.

Після того, як форма моделі створена, було використано відповідні матеріали для відтворення вигляду кожної з компонентів. Для дерев'яних компонентів було використано текстури зображення деревини, для алюмінієвих компонентів – матеріали металу, а для кремнієвих компонентів – матеріали скла або кришталю.

Після встановлення матеріалів було скомпоновано кожен елемент на своєму місці у моделі за допомогою інструментів переміщення, обертання та масштабування.

Після розміщення кожної компоненти по місцях було зібрано модель за допомогою інструментів з'єднання. Після збирання моделі було налаштовано освітлення та виконано рендеринг, щоб побачити, як модель виглядає у різних умовах освітлення та перевірити, чи задовольняє вона поставлені вимоги. На рисунку 2.9 зображено готову 3D модель “Лавочка з парасолькою”.



Рисунок 2.9 – Тривимірна модель арт-об’єкту “Лавочка з парасолькою”

На рисунку 2.10 представлений використаний елемент для представлення матеріалу сонячної панелі із верхньої частини парасольки, параметр *Metallic* визначає ступінь металевості матеріалу і впливає на те, наскільки поверхня відображає світло та кольори, тому ця частина моделі буде відблискувати при наявності світла. Для розробки лавочки, як частини арт-об’єкту, також застосовувалась текстура дерева, як і для моделі арт-об’єкту “Сонячне дерево”. Для розробки верхньої синьої частини парасольки було використано матеріал із синім базовим кольором та напівпрозорими візуальними властивостями.



Рисунок 2.10 – Матеріал парасольки

2.1.3 3D модель арт-об’єкту “Смарт-лавочка з таблом”

Для конструювання моделі було використано метод моделювання полігонами.

Після того, як форма моделі створена, було використано відповідні матеріали для відтворення вигляду кожної з компонентів. Для дерев’яних компонентів було використано текстури зображення деревини, для алюмінієвих компонентів – матеріали металу, а для кремнієвих компонентів – матеріали скла або кришталю.

Після встановлення матеріалів було скомпоновано кожен елемент на своєму місці у моделі за допомогою інструментів переміщення, обертання та масштабування.

Після розміщення кожної компоненти по місцях було зібрано модель за допомогою інструментів з’єднання. Після збирання моделі було налаштовано

освітлення та виконано рендеринг, щоб побачити, як модель виглядає у різних умовах освітлення та перевірити, чи задовольняє вона поставлені вимоги. На рисунку 2.11 представлено готову 3D модель арт-об'єкту “Смарт-лавочка з таблом”.

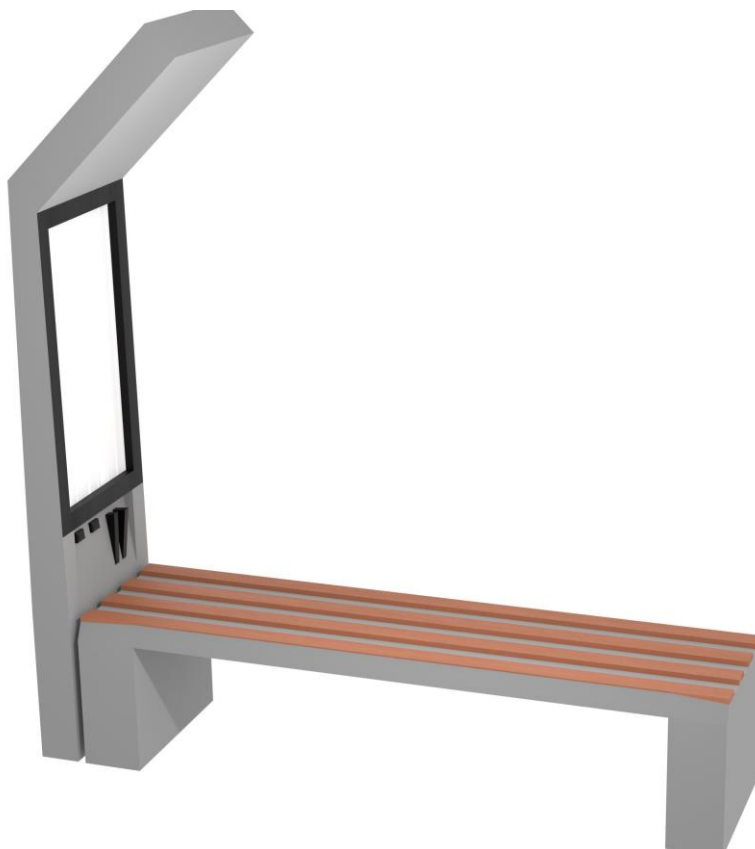


Рисунок 2.11 – 3D модель арт-об'єкту “Смарт-лавочка з таблом”

На рисунку 2.12 зображено матеріал, що був використаний при моделюванні арт-об'єкту “Смарт-лавочка з таблом”. При побудові частини лавочки було також застосовану дерев'яну текстуру, яка була раніше використана для розробки попередніх арт-об'єктів. Для розробки кам'яних частин було використано матеріал із встановленим сірим базовим кольором. При розробці інтерактивного екрану було використано матеріал із білим базовим кольором. Для створення пластикових рамок було використано матеріал із чорним базовим кольором. В результаті, після компонування всіх необхідних деталей було отримано арт об'єкт “Смарт-лавочка з таблом”.



Рисунок 2.12 – Матеріал для арт-об’єкту “Смарт-лавочка з таблом”

2.2. Функційні вимоги

Функціональні вимоги – це вимоги до програмного забезпечення, які описують внутрішню роботу системи, її поведінку: обчислення даних, маніпулювання даними, обробка даних та інші специфічні функції, які має виконувати система.

Функційні потреби виконують важливу роль у визначенні функціональності та вимог до успішного виконання проекту. Функційні потреби допомагають у визначенні обсягу та меж проекту. Вони вказують, які конкретні функції та можливості повинні бути реалізовані у проекті, допомагають проектній команді розбити проект на конкретні завдання та визначити, які ресурси та зусилля будуть необхідні для реалізації кожної функції.

Перелік функційних вимог до програмно-технічного засобу наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Функційні вимоги

Вимога	Опис	Спосіб виконання
Додавання тривимірної моделі	Додавання власної тривимірної моделі надає користувачам більше можливостей для використання додатку.	Додавання бази даних для збереження завантажених користувачами моделей.
Попередній перегляд тривимірної моделі	Додавання можливості попереднього перегляду зменшить кількість завантажуваних ресурсів та надасть користувачам змогу обирати між тривимірними моделями, які будуть візуалізуватись в подальшому.	Додавання в базу даних поля із адресою зберігання прев'ю моделі.
Відображення тривимірної моделі	Відображення тривимірної моделі в доповненій реальності, як основна функційна вимога, необхідна для надання користувачам можливості підготувати до 3D модель до знімку, попередньо розмістивши її в просторі.	Використання методу для візуалізації 3D моделей в доповненій реальності.
Отримання знімку із тривимірною моделлю	Отримання знімку необхідне для збереження стану розміщення 3D моделі в просторі.	Використання методу для візуалізації 3D моделей в доповненій реальності.

Кінець таблиці 2.1 – Функційні вимоги

Вимога	Опис	Спосіб виконання
Автентифікація та авторизація	Автентифікація та авторизація необхідна для забезпечення конфіденційності та безпеки даних користувача та забезпечення доступу до ресурсів, що доступні лише конкретному користувачу.	Додавання до бази даних таблиці з інформацією про користувачів.
Вихід з акаунту	Вихід з акаунту забезпечує можливість завершити поточному користувачу завершити сесію користування додатком.	Видалення сесії при запиті на вихід з акаунту.

2.3. Нефункційні вимоги

Нефункційні вимоги – це вимоги до програмного забезпечення, які задають критерії для оцінки якості його роботи.

Нефункційні вимоги програмно-технічного засобу зазначені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Нефункційні вимоги програмно-технічного засобу

Вимога	Опис	Спосіб виконання
Кросплатформність	Підтримка виконання на різних типах пристроїв необхідна для збільшення кількості користувачів додатку.	Використання кросплатформних фреймворків.

Продовження таблиці 2.2 – Нефункційні вимоги програмно-технічного засобу

Вимога	Опис	Спосіб виконання
Надійність	Додаток повинен зберігати лише невелику частину даних користувача, мінімально необхідну для автентифікації користувача в системі та подальшого користування.	Використання хешування для збереження інформації для входу замість запису паролю.
Стабільність	Додаток повинний відображати 3D моделі в просторі, незалежно від того, наскільки великий файл із 3D моделлю необхідно відобразити	Реалізація ефективного методу візуалізації
Масштабованість	Програмний продукт має працювати без жодних проблем, незалежно від того, наскільки завантажена серверна частина в конкретний момент часу та від того, наскільки велика кількість файлів із 3D-моделями зберігається в системі, враховуючи відносно великий розмір файлів із 3D-об'єктами.	Розробка оптимізацій для серверної частини додатку.

Кінець таблиці 2.2 – Нефункційні вимоги програмно-технічного засобу

Вимога	Опис	Спосіб виконання
Адаптивність інтерфейсу	Додаток повинен відображатись враховуючи розмір екрану смартфона користувача та не мати жодних візуальних артефактів і різниці відображення інтерфейсу користувача при запуску на смартфонах із невеликим, стандартним та великим розміром екрану	Використання технологій, що надають можливість розробки адаптивного інтерфейсу.
Продуктивність	Додаток має запускатись та відображати 3D модель із мінімальним часом затримки та виконувати свої функції без додаткових затрат оперативної пам'яті та ресурсів процесору.	Розробка програмно-технічного засобу з допомогою ефективного методу.
Якість візуалізації	Додаток повинен відображати 3D моделі без артефактів та без зміни кольорів, пропорцій та кількості полігонів оригінального 3D об'єкту.	Розробка програмно-технічного засобу з допомогою точного методу візуалізації.

2.3.1. Вимоги до системи

Для підтримки всіх функційних вимог додатку, окрім відображення 3D-моделі в просторі немає жодних вимог до системи. Для підтримки відображення 3D-моделі в просторі від системи необхідна підтримка AR. Для iOS девайсів

підтримка доповненої реальності з'явилась в 11 версії операційної системи. Для Android пристроїв необхідна мінімальна версія операційної системи 7.0 та підтримка ARCore.

Значення характеристик, зазначених для нефункційної вимоги “Продуктивність”, залежить від параметрів системи, а отже, при кращих параметрах процесору, інтернету будуть кращі результати роботи додатку.

2.3.2. Вимоги щодо взаємодії з навколишнім середовищем

При створенні додатку, дуже важливо врахувати вимоги щодо взаємодії з навколишнім середовищем. Оскільки для відображення тривимірних моделей використовується камера телефону або планшета для створення ілюзії присутності віртуальних об'єктів у реальному світі, забезпечення оптимальної взаємодії з навколишнім середовищем допоможе забезпечити користувачам максимально реалістичний досвід.

Основні вимоги щодо взаємодії з навколишнім середовищем для AR додатку включають:

- оптимізація взаємодії з освітленням;
- підтримка різних типів поверхонь;
- відображення тіні на проєкції.

Для оптимізації взаємодії з освітленням, додаток повинен бути здатний коректно реагувати на зміну освітлення у навколишньому середовищі, адаптувати свої параметри до різних умов освітлення та забезпечувати максимально реалістичний вигляд віртуальних об'єктів, незалежно від того в яку пору доби та при яких погодніх умовах запускається режим фотографування.

Додаток повинен бути здатний працювати з різними типами поверхонь, такими як стіни, підлоги, столи тощо. Це допоможе забезпечити максимальну гнучкість та використання додатку в різних умовах.

Відображення тіні на проєкції дозволить збільшити реалістичність картинки, тому увагу також варто приділити проєкції тіні.

2.4 Висновки

В даному розділі було створено та верифіковано декілька тривимірних об'єктів для перевірки роботи додатку, в результаті було отримано 3 тестових моделі для проведення експериментів із їхнього відтворення у доповненій реальності.

Розробка тестових тривимірних моделей була виконана за допомогою середовища Blender, яке є безкоштовним для використання та дозволяє побудувати якісні тривимірні моделі для тестування програмно-технічного засобу для відтворення моделей 3D об'єктів у доповненій реальності.

Також було сформовано функційні, нефункційні вимоги до розробленого програмно-технічного засобу, вимоги до системи та вимоги до взаємодії із навколишнім середовищем.

3 МЕТОД ТА АЛГОРИТМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

3.1 Принцип застосування технології доповненої реальності для відтворення 3D-моделей об'єктів у просторі

Принцип застосування технології доповненої реальності для відтворення вимагає застосування таких компонентів, як:

- геометричні форми;
- текстури;
- матеріали;
- освітлення.

Геометричні форми відображають форму об'єкта та його розміри. Вони можуть бути створені в різних програмах моделювання 3D об'єктів, таких як Blender, 3D Max, або можуть бути створені за допомогою спеціальних сканерів для створення 3D-моделей реальних об'єктів.

Текстури дозволяють додати деталі до геометричних форм та відображати на них реалістичні образи. Текстури можуть бути створені шляхом фотографування поверхні об'єкта, застосування графічних програм для створення реалістичних поверхонь, або використання готових текстур з бібліотек.

Матеріали визначають властивості поверхні об'єкта, такі як кольори, блиск, прозорість та інші. Вони можуть бути створені з допомогою різних програм рендерингу 3D-сцен.

Освітлення відображає спосіб, яким світло взаємодіє з об'єктом та допомагає створити віртуальну сцену з реалістичним освітленням. Це може бути зроблено за допомогою різних технік освітлення, таких, як точкове освітлення, напрямне освітлення, амбієнтне освітлення та інші.

3.2 Математична модель візуалізації об'єкта у доповненій реальності

Для розробки інформаційної системи для візуалізації 3D-моделей об'єктів ми будемо використовувати камеру смартфона як інструмент для представлення об'єктів у доповненій реальності. Щоб представити 3D-модель у просторі реального світу, необхідно враховувати, що нам потрібно працювати з тривимірним простором. Смартфон також має бути розташований на перетині осей X, Y і Z у тривимірній декартовій системі координат, як показано на рисунку 3.1.

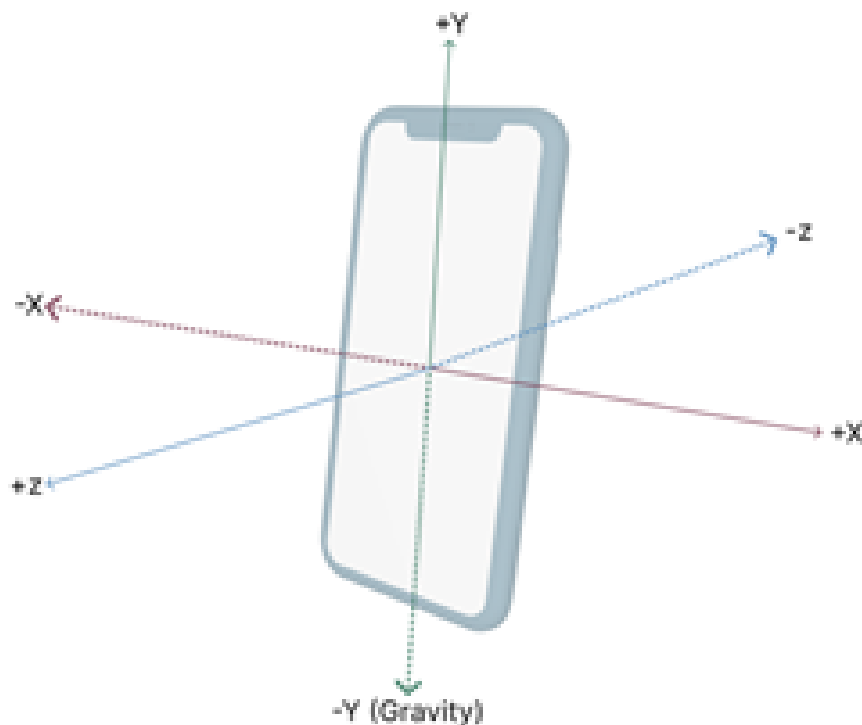


Рисунок 3.1 – Розташування смартфона користувача в тривимірній декартовій системі координат

Для обчислення ідеальної відстані від камери до AR-моделі використовуємо формулу 3.1:

$$l = \frac{R}{\sin\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180 \cdot 2}\right)}, \quad (3.1)$$

де R – радіус віртуальної сфери; α – кут огляду, l – ідеальна відстань.

Переведення з декартової системи координат в сферичну виконуємо за формулою 3.2:

$$\{r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \theta = \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right), \varphi = \left(\frac{y}{x}\right), \quad (3.2)$$

де r – відстань від початку координат до точки; θ – полярний кут; φ – азимутальний кут, x – координата по осі абсцис, y – координата по осі ординат, z – координата по осі аплікват.

Для обчислення орієнтації моделі по осі y , навколо центру повороту використовується формула 3.3

$$y = \arctg(-x, -z) - \theta, \quad (3.3)$$

де θ – полярний кут, x – координата по осі абсцис, y – координата по осі ординат, z – координата по осі аплікват.

Обчислення відстані між точками в тривимірному просторі проводиться за допомогою формули

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \quad (3.4)$$

де l – відстань між точками; x_2 та x_1 – координати по точок по осі абсцис; y_2 та y_1 – координати точок по осі ординат; z_2 та z_1 – координати точок на осі аплікват.

Для обчислення матриці повороту відносно осі x при повороті в тривимірному просторі використовується формула 3.5.

$$R_x(\varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

де φ – кут повороту, $R_x(\varphi)$ – матриця повороту відносно осі x.

Для обчислення матриці повороту відносно осі y при повороті в тривимірному просторі використовується формула 3.6.

$$R_y(\varphi) \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix}, \quad (3.6)$$

де φ – кут повороту, $R_x(\varphi)$ – матриця повороту відносно осі y.

Для обчислення матриці повороту відносно осі z при повороті в тривимірному просторі використовується формула 3.7.

$$R_z(\varphi) \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

де φ – кут повороту, $R_x(\varphi)$ – матриця повороту відносно осі z.

3.3. Метод та алгоритм візуалізації 3D-моделей у доповненій реальності

Для відтворення тривимірних об'єктів у просторі є необхідність визначення методу візуалізації.

Метод візуалізації містить такий перелік аспектів:

- відображення моделі;
- обробка переміщення моделі;
- обробка масштабування моделі;
- обробка повороту моделі.

Відображення моделі передбачає врахування освітлення, поверхні, на якій знаходиться тривимірний об'єкт, можливі колізії. Наприклад, ARCore [40] використовує ряд технологій, щоб розміщувати тривимірні об'єкти в просторі без колізій.

Одна з ключових технологій, яку використовує ARCore, це визначення розташування телефону в просторі з використанням сенсорів, які містяться в сучасних смартфонах.

ARCore також використовує технології комп'ютерного зору, щоб визначити точне розташування та орієнтацію об'єктів в просторі. Наприклад, він використовує технологію SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), щоб визначити точне розташування телефону в просторі, а також розміщення об'єктів відносно телефону.

ARCore також використовує машинне навчання, щоб відстежувати рухи об'єктів в просторі та зменшувати можливість колізій. Наприклад, він може розпізнавати, коли користувач намагається помістити об'єкт в стислий простір або коли інший об'єкт наближається до розміщеного.

При старті відображення ARCore потребує переміщення камери смартфона для того, щоб визначити поверхню для постановки об'єкту. Як тільки необхідна поверхня знаходиться необхідна поверхня, відразу йде процес розташування моделі в просторі. При позиціонуванні однією із можливих проблем є робота із похилими площинами. Причиною спотворення розмірів та форми моделі на похилій площині полягає в тому, що оптичні системи AR сприймають світло з різних кутів, що може призводити до спотворення форми моделі та її відображення в залежності від кута спостереження, для прикладу, на рисунках 3.2 та 3.3 зображено можливі варіанти відображення.

Крім того, на похилій площині можуть виникати проблеми зі стабільністю розміщення моделі, зокрема, якщо площина нерівномірна.

Це може призводити до того, що модель може почати переміщатися або обертатись, що знову ж таки може спотворювати її форму та розміри.

Однак, існують різні способи мінімізувати ці проблеми при розміщенні AR моделі на похилій площині.

Наприклад, можна використовувати спеціальні алгоритми та програмне забезпечення, які дозволяють компенсувати похилість поверхні та інші параметри середовища.

Також, важливим є коректна калібрування системи AR перед використанням та врахування особливостей конкретної поверхні, на яку буде розміщена модель.

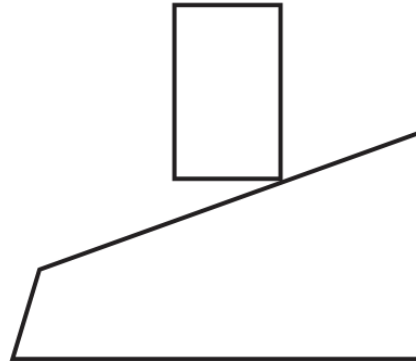


Рисунок 3.2 – Перший варіант відображення тривимірної моделі на похилій площині

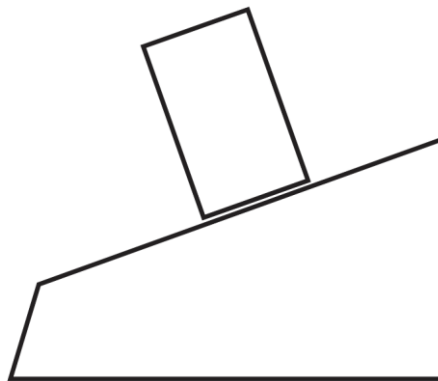


Рисунок 3.3 – Другий варіант відображення тривимірної моделі на похилій площині

Обробка переміщення моделі – важливий аспект роботи з візуалізацією 3D моделей в доповненій реальності, оскільки це є однією із трьох дій, які можна виконати із моделлю перед подальшими діями. Переміщення моделі залежить від методу, чи завжди він шукає для тривимірного об'єкту площину для розміщення чи ні. В випадку, якщо метод завжди розміщує 3D модель на площині, то переміщення буде здійснюватись тільки вздовж цієї площини. У випадку, якщо метод розміщує модель без прив'язки до площини, тривимірний об'єкт може бути переміщений по різних осях. Наприклад, для проєкції об'єкту в початковій позиції

на рисунку 3.4, результат переміщення вздовж площини зображений на рисунку 3.5, а результат переміщення незалежно від площини, на якій він розташовується – на рисунку 3.6. Обидва варіанти дають можливість по різному взаємодіяти зі переміщуваним тривимірним об'єктом, але у випадку із переміщенням вздовж площини переміщення виглядає реалістичніше.

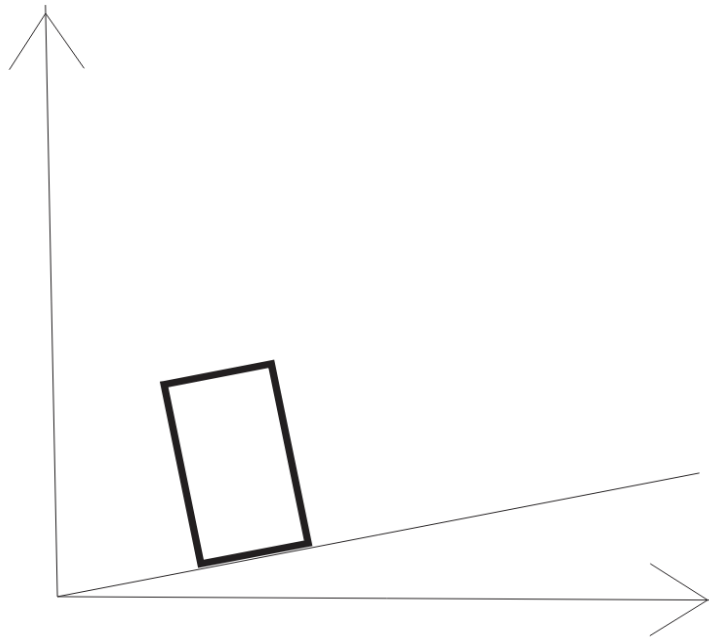


Рисунок 3.4 – Початкова позиція об'єкту

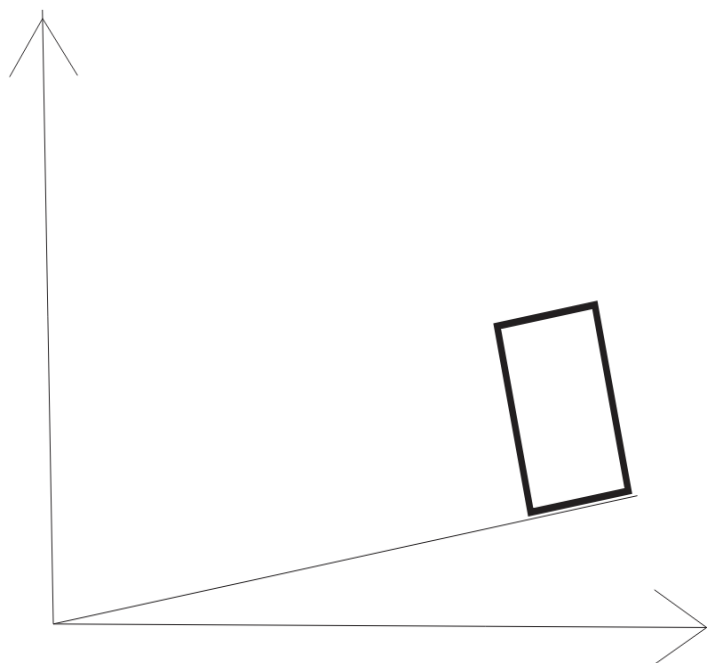


Рисунок 3.5 – Об'єкт переміщений вздовж площини

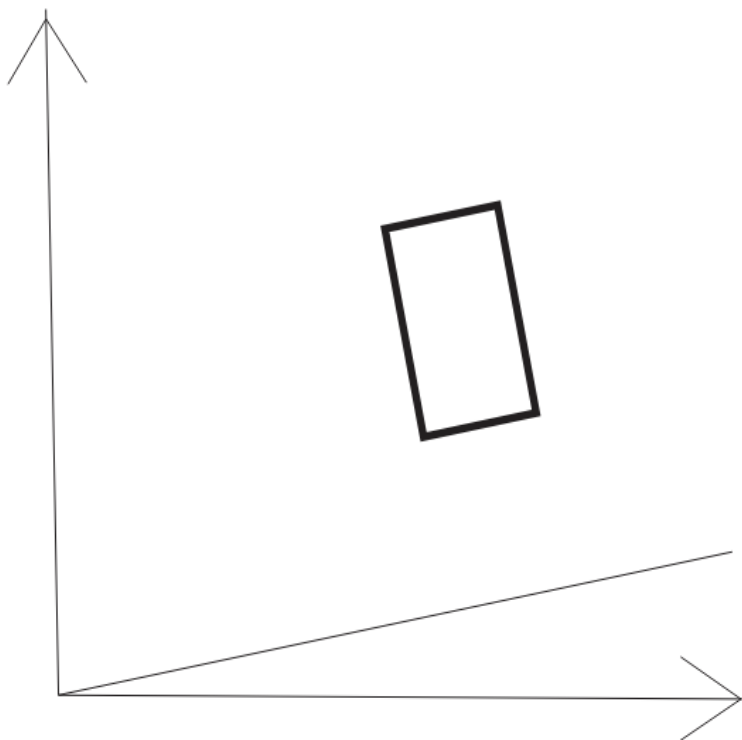


Рисунок 3.6 – Об'єкт переміщений незалежно від площини

Масштабування 3D-моделі - це процес зміни її розмірів за допомогою збільшення або зменшення її розмірів вздовж осей X, Y та Z. Це може бути корисно для збільшення або зменшення розмірів об'єктів у сцені, збільшення або зменшення деталей, або для забезпечення того, що розміри моделі відповідають реальним фізичним розмірам об'єктів, які вона зображує.

Існують два види масштабування 3D-моделі: зі збереженням пропорцій та без збереження пропорцій.

Масштабування зі збереженням пропорцій – це процес зміни розміру моделі таким чином, щоб всі розміри збільшувались або зменшувались пропорційно. Це означає, що якщо ви збільшуєте один розмір моделі, всі інші розміри також будуть збільшуватись відповідно, щоб зберегти відношення між ними. Це допомагає зберегти форму та пропорції моделі при зміні її розміру.

Масштабування без збереження пропорцій – це процес зміни розміру моделі таким чином, щоб розміри окремих або всіх її частин змінювалися незалежно одна від одної. Це означає, що якщо ви збільшуєте один розмір моделі, інші розміри можуть змінюватись в будь-якому відношенні до збільшення першого розміру. Це

може призвести до зміни форми або пропорцій моделі, що може бути корисним для створення ефектів анімації або зміни зовнішнього вигляду моделі. На рисунку 3.8 відображено зображення масштабування моделі для початкового стану об'єкту, зображеного на рисунку 3.7 при масштабуванні зі збереженням пропорцій, модель розширюється. На рисунку 3.9 показано масштабування без збереження пропорцій. Обидва варіанти використовуються для різних цілей, але для методу відображення об'єктів в доповненій реальності зі збереженням пропорцій підходить краще, оскільки є більш реалістичним.

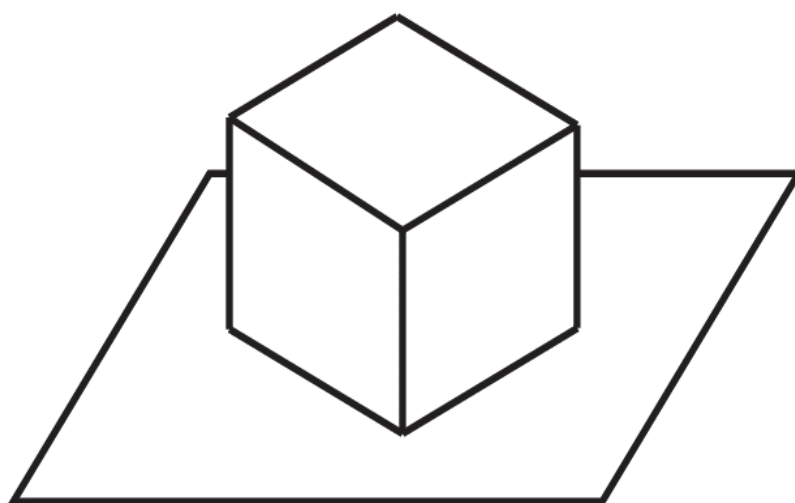


Рисунок 3.7 – Початковий стан 3D моделі

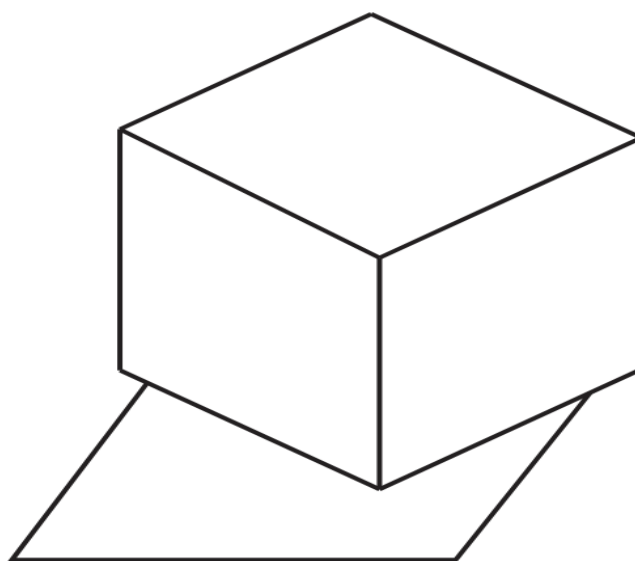


Рисунок 3.8 – Масштабований об'єкт зі збереженням пропорцій

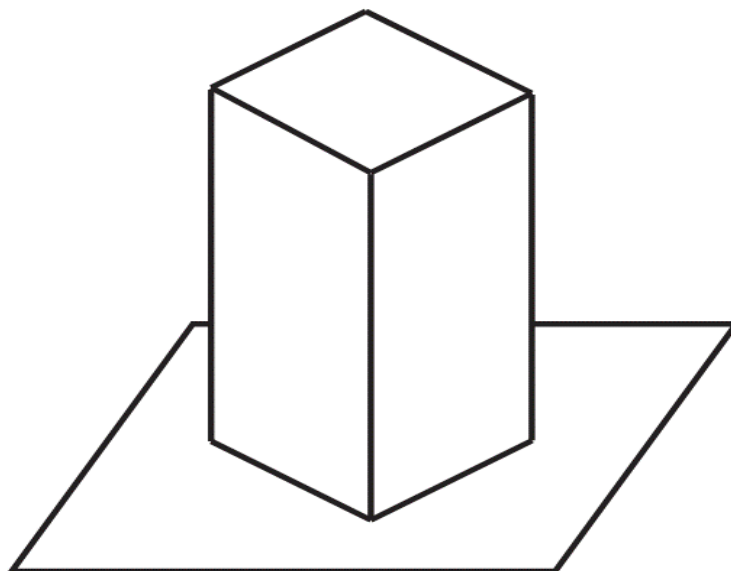


Рисунок 3.9 – Масштабований об'єкт без збереження пропорцій

Як бачимо, обидва варіанти масштабування мають варіанти застосування, для досягнення необхідного користувачу результату.

Обертання в 3D просторі – це процес зміни положення об'єкта в просторі. Під час обертання об'єкт змінює свою орієнтацію відносно визначеної точки або площини. Цей процес можна уявити, як рух годинника або проти годинника в певному напрямку відносно вибраної точки чи площини.

Існує кілька типів обертань в 3D просторі, такі як обертання навколо осі, обертання навколо точки, обертання відносно площини тощо. Щоб здійснити обертання, можна скористатися матрицею обертання, яка містить в собі необхідну інформацію про кут обертання та напрямок.

Обертання відносно площини xOy означає, що об'єкт буде обертатися відносно площини, яка лежить вздовж осей x та y . Цей тип обертання можна зобразити, як зміну орієнтації об'єкта відносно цієї площини.

Обертання навколо точки в просторі означає, що об'єкт буде обертатися відносно визначеної точки, яка може лежати в будь-якому місці в просторі. Цей тип обертання можна зобразити, як зміну орієнтації об'єкта відносно цієї точки.

Існує багато способів визначити матриці обертання, які відповідають куту та напрямку обертання. Зазвичай, це робиться за допомогою використання геометричних принципів та тригонометричних формул. Обертання може бути

використано для вирішення різних завдань, таких як моделювання об'єктів, зміна їх положення та орієнтації, а також для вирішення певних проблем у наукових дослідженнях.

На рисунку 3.10 зображений початковий стан тривимірного об'єкту та на рисунках 3.11 та 3.12 зображені об'єкти після проведення операції повороту відносно площини та точки в просторі відповідно. Обидва варіанти повороту можуть використовуватись для досягнення цілей, проте для відображення об'єктів в доповненій реальності варіант із поворотом відносно площини кращий, оскільки є реалістичнішим.

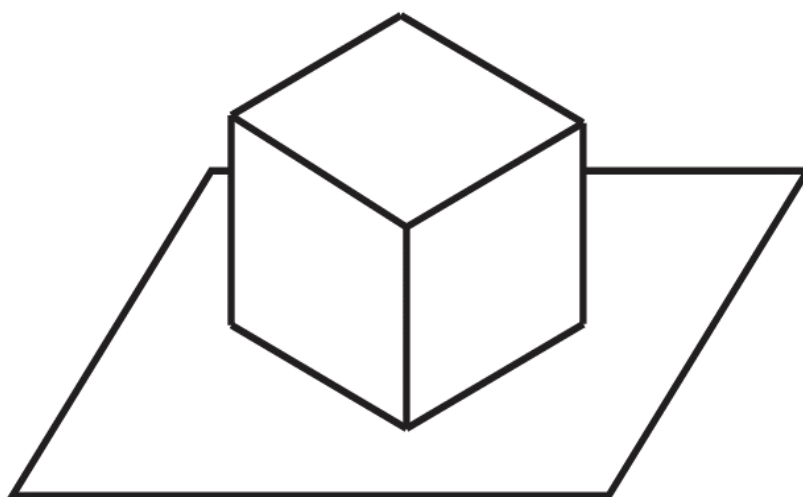


Рисунок 3.10 – Початковий стан об'єкту

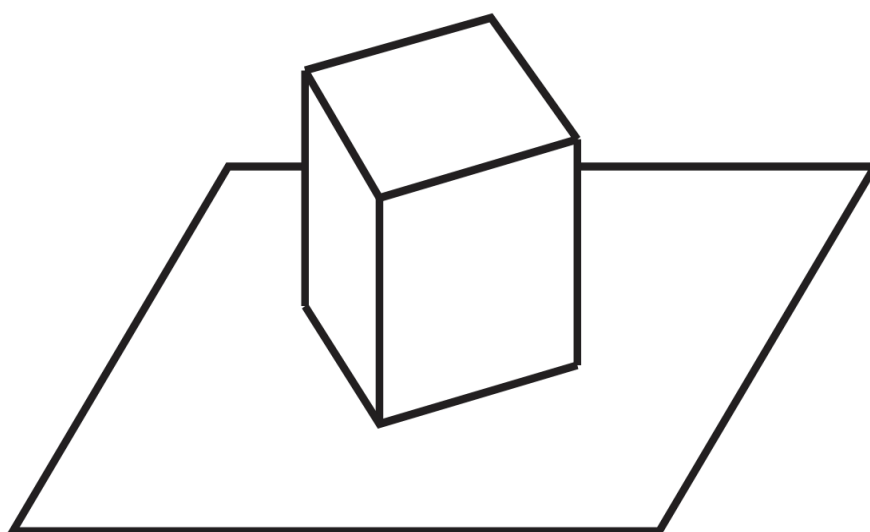


Рисунок 3.11 – Об'єкт, повернутий відносно площини

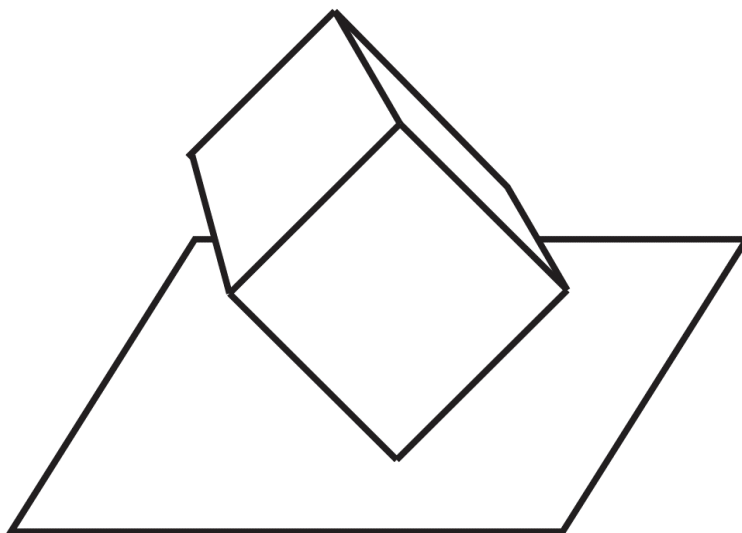


Рисунок 3.12 – Об'єкт, повернутий відносно точки в просторі

Для розробки пропонованого засобу візуалізації 3D-моделей спочатку необхідно розробити метод його роботи з урахуванням вищезазначеної математичної моделі.

Пропонований метод складається з наступних етапів:

1. Розробка програмного забезпечення для візуалізації моделі в доповненій реальності.
2. Побудова тестових моделей 3D моделей об'єктів.
3. Завантаження тестових моделей у програмно-технічний засіб, який найзручніше представити у вигляді додатку для мобільного телефону.
4. 3D-моделі об'єктів навколишнього середовища в реальному часі в доповненій реальності за допомогою камери смартфона.
5. Проведення експериментів щодо вдалого розташування об'єкта в просторі.

Графічне зображення методу візуалізації 3D моделей об'єктів у доповненій реальності представлено на рисунку 3.12.

Як видно з рисунку, програмно-технічний інструментарій міститиме у своєму сховищі 3D-моделі, що робить їх доступними для візуалізації за допомогою камери смартфона. Користувач також може завантажувати власні моделі в сховище даних програми через інтерфейс користувача. Оскільки, згідно з [82], при розробці

додатків зі складною функціональністю особливу увагу слід приділяти врахуванню всіх можливих вузьких місць на ранніх етапах життєвого циклу, тобто при проектуванні архітектури програмного засобу. Тому особливу увагу варто приділити розробці UX. Відповідно до [83] інтерфейс користувача повинен відповідати основним принципам гештальту — близькості, подібності, продовження, закриття та фігури/основи, оскільки дизайн інтерфейсу користувача на основі AR — це не лише естетика, це інтуїтивність та зрозумілість функціональності в зовнішній вигляд, який є більше психологічною складовою дизайну інтерфейсу користувача. Такий інтерфейс має бути зручним і зрозумілим. Також особливу увагу слід приділити дизайну 3D-графіки. Моделі для представлення в AR повинні бути високої якості.

Розробка методу візуалізації 3D моделей об'єктів у доповненій реальності є важливим завданням, що вимагає поєднання комп'ютерного зору, графіки та інтерактивних технологій, тому, оскільки додаток буде працювати із 3D моделями, необхідно забезпечити високу якість роботи із візуалізацією та рендерингом моделі та супутніми розрахунками.

При розробці програмно-технічного засобу необхідно дотримуватись виконання всіх функційних та нефункційних вимог, що були визначені в процесі проектування, враховувати вимоги до системи та вимоги від щодо взаємодії із навколишнім середовищем.

Враховуючи те, що програмно-технічний засіб має працювати в режимі реального часу необхідне включення підтримки інтерактивності, дозволяючи користувачам взаємодіяти з віртуальними об'єктами через різні способи, наприклад, за допомогою жестів, голосових команд або сенсорних елементів. Це розширює можливості використання доповненої реальності та створює більш захоплюючий досвід для користувачів, оскільки це також може бути використано в комбінації із редагуванням позиції, масштабу, куту повороту отримуючи після кожного редагування нову проекцію на екрані смартфона.

При розробці програмно-технічного засобу для візуалізації 3D моделей важливо дотримуватись вищевказаних пунктів.

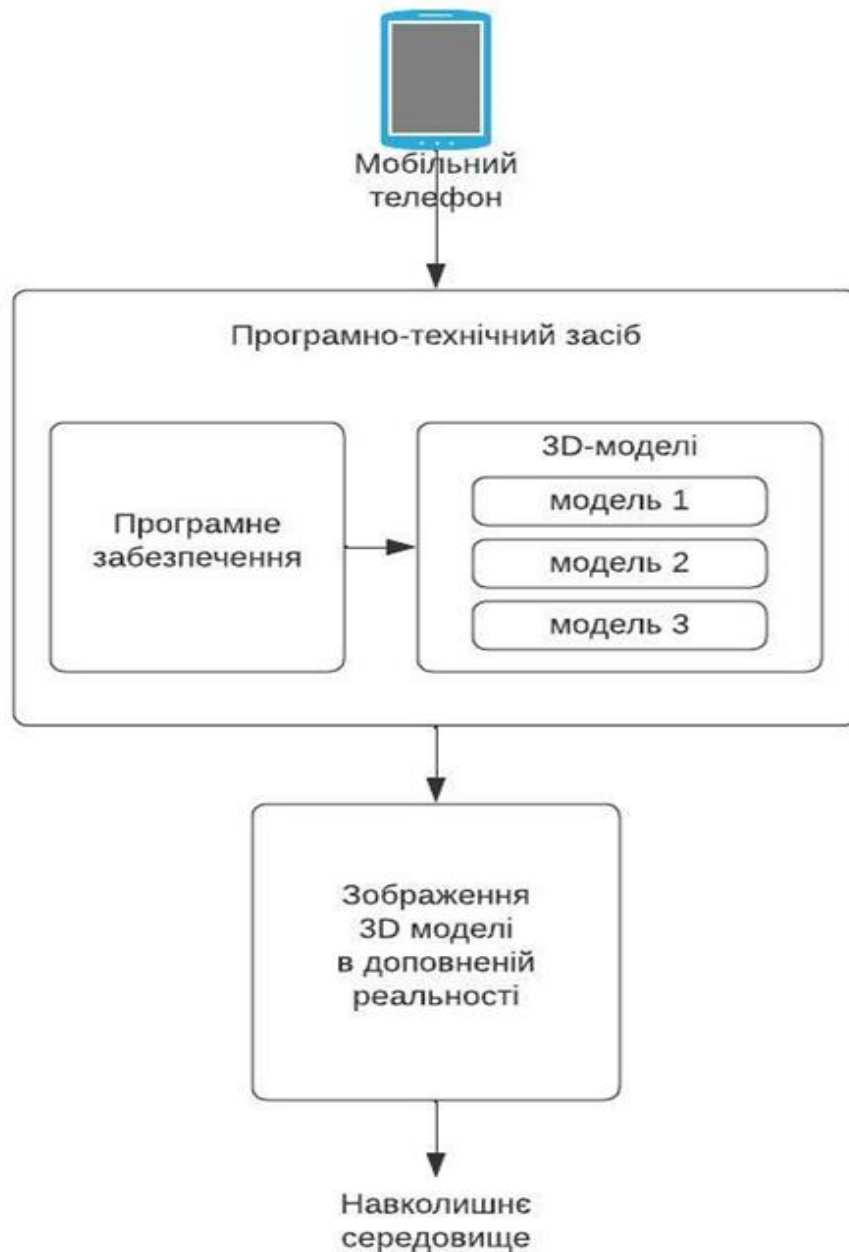


Рисунок 3.12 – Графічне зображення методу роботи програмного засобу для відтворення тривимірних об’єктів у доповненій реальності

На основі вищеприписаного методу розроблено алгоритм візуалізації 3D-моделей об’єктів у доповненій реальності, який представлено на рисунку 3.13. Для його імплементації необхідно здійснити чотири кроки: розробити скрипт для відтворення тривимірних об’єктів в доповненій реальності; розробити тестові тривимірні моделі, що будуть в подальшому використані для тестів; завантажити моделі в систему для подальшого проведення тестів; провести експерименти над завантаженими тривимірними об’єктами.

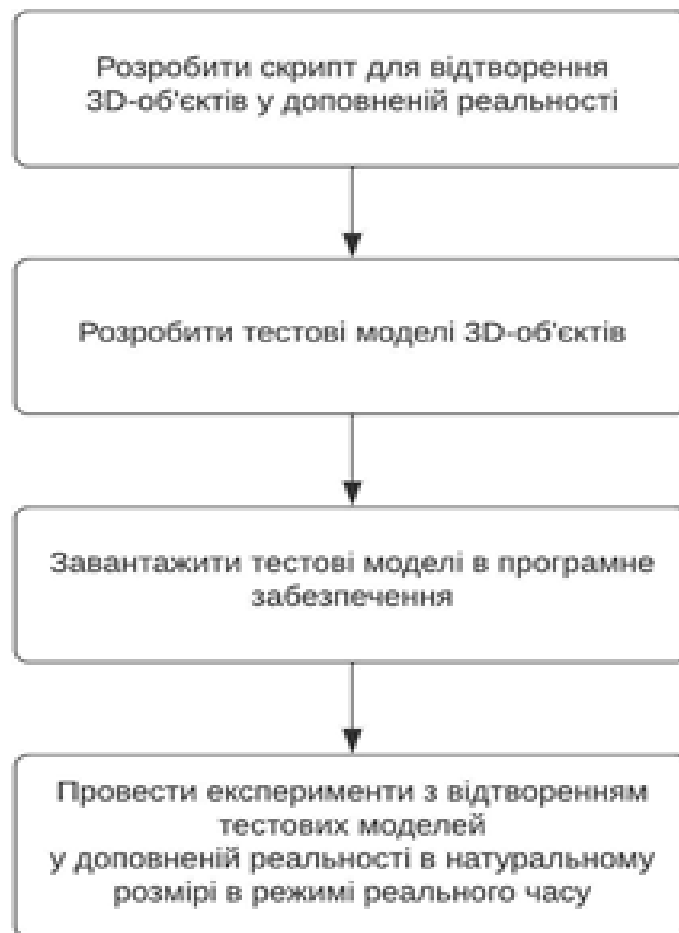


Рисунок 3.13 – Алгоритм відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності

В якості середовища для візуалізації моделей можна вибрати будь-який вид з камери пристрою. зображення моделі з'являється на екрані пристрою в режимі попереднього перегляду.

Коли користувач вибирає опцію 3D-відображення в реальному часі, зображення накладається на зображення навколишнього простору (середовища) у камері смартфона, що дозволяє користувачеві бачити модель у полі зору камери пристрою.

Користувач може переміщати та масштабувати модель.

Принцип роботи запропонованої в роботі інформаційної технології візуалізації моделей 3D об'єктів у доповненій реальності наведено на рисунку 3.14.

На рисунку можна побачити, яким чином обрана користувачем 3D модель для візуалізації відображається накладеною на простір.

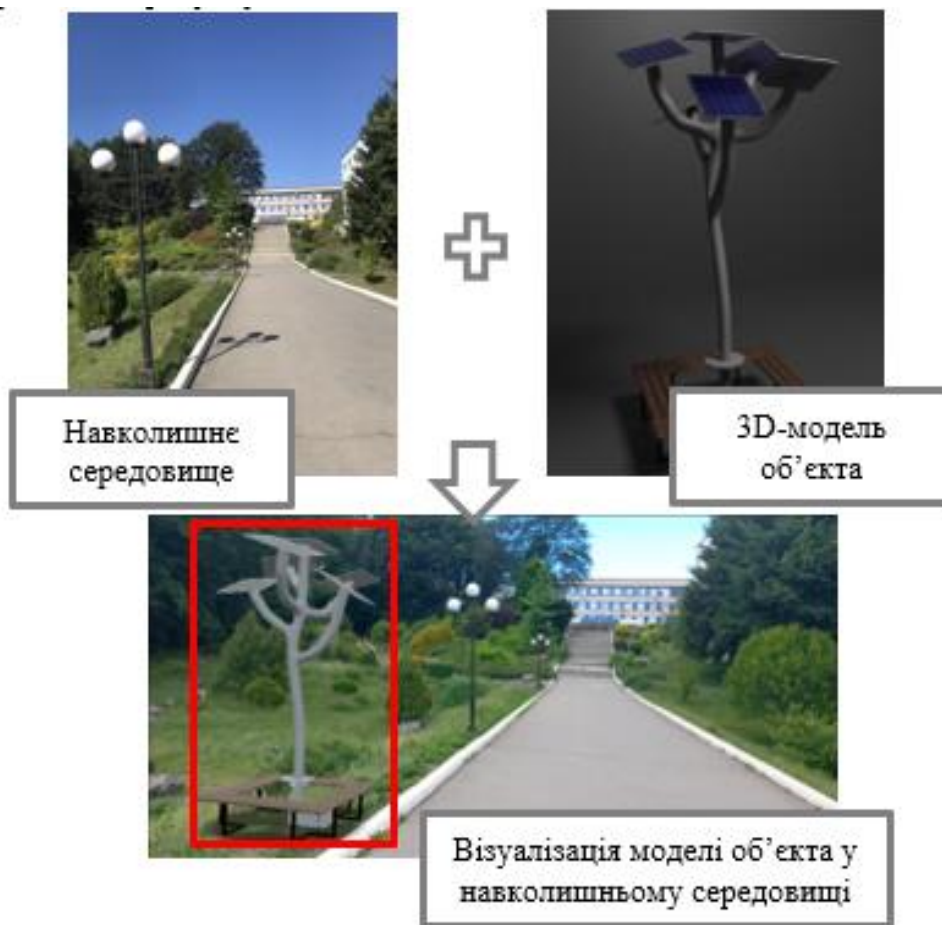


Рисунок 3.14 – Принцип роботи програмно-технічного засобу для відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності

Принцип роботи запропонованої інформаційної системи починається після входу користувача в мобільний додаток. Оскільки додаток є кросплатформним, він забезпечує візуалізацію моделей як з Android, так і з iOS пристроїв. Далі користувач може або завантажити власну модель до бази даних системи, або вибрати одну із запропонованих готових до візуалізації моделей, що містяться в базі даних системи. Після вибору модель доступна користувачеві для попереднього перегляду з можливістю відображення в доповненій реальності в режимі реального часу. Користувач може регулювати розмір і положення моделі в полі зору камери смартфона і знімати фото або відео моделі в навколишньому середовищі. Алгоритм роботи запропонованої інформаційної системи представлено на рисунку 3.15.

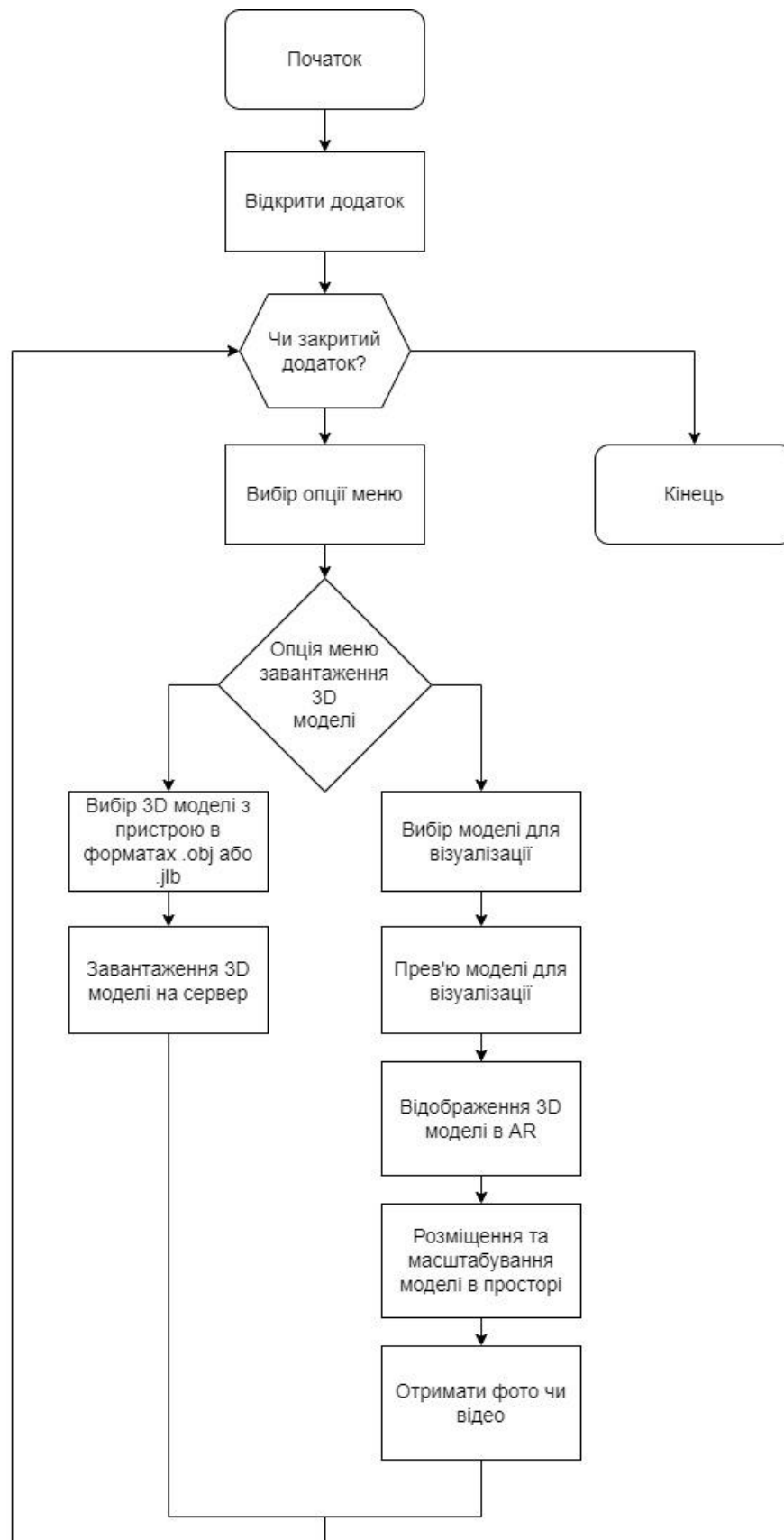


Рисунок 3.15 – Алгоритм функціонування програмно-технічного засобу для відтворення 3D-моделей об’єктів у доповненій реальності

3.3 Висновки

Отже, у цьому розділі було розглянуто принципи застосування технології доповненої реальності для відтворення 3D-моделей об'єктів у просторі. Побудовано математичну модель для відтворення тривимірного об'єкту у навколишньому середовищі за допомогою камери смартфона.

А також запропоновано метод та алгоритм візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності в наочному та зрозумілому для сприйняття вигляді, на основі яких буде розроблено програмну реалізацію у вигляді кросплатформного мобільного застосунку.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ У ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ

4.1 Проектування архітектури системи для візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності.

При розробці додатку для проектування інфраструктурної частини було використано сервіси в системі Azure Cloud від Microsoft. Відповідно до потреб було використано наступні сервіси:

1. Azure Virtual Machines;
2. Azure Application Insights;
3. Azure SQL Servers.

Azure VMs дозволяють створювати та керувати віртуальними машинами в хмарному середовищі Azure. Для розгортання серверної частини додатку створено віртуальну машину в цьому сервісі, налаштовано мережевий екран, IP адресу та дисковий простір для запуску проєкту.

Для кращого контролю поведінки та моніторингу подій, що відбуваються при роботі додатку було використано сервіс Azure Application Insights, що дозволяє збирати, акумулювати та фільтрувати логи, телеметрію та іншу корисну інформацію про роботу додатку.

Для збереження інформації про 3D моделі, які завантажені в додаток був використаний сервіс Azure SQL Servers. З його допомогою можна налаштувати базу даних із необхідним ступенем захисту запису, редагування та доступу до інформації інформації та. Також цей сервіс надає можливість створення резервних копій бази даних, що є необхідним параметром для системи.

На рисунку 4.1 наведено взаємозв'язок сервісів, що були використані при проектуванні інфраструктури. Віртувальна машина, що запущена в сервісі Azure Virtual Machines налаштована та має запущений сервіс IIS, з допомогою якого хоститься серверна частина додатку, серверна частина пов'язана із Azure Application Insights для запису логів та Azure SQL Servers для запису та отримання даних про 3D моделі в системі.

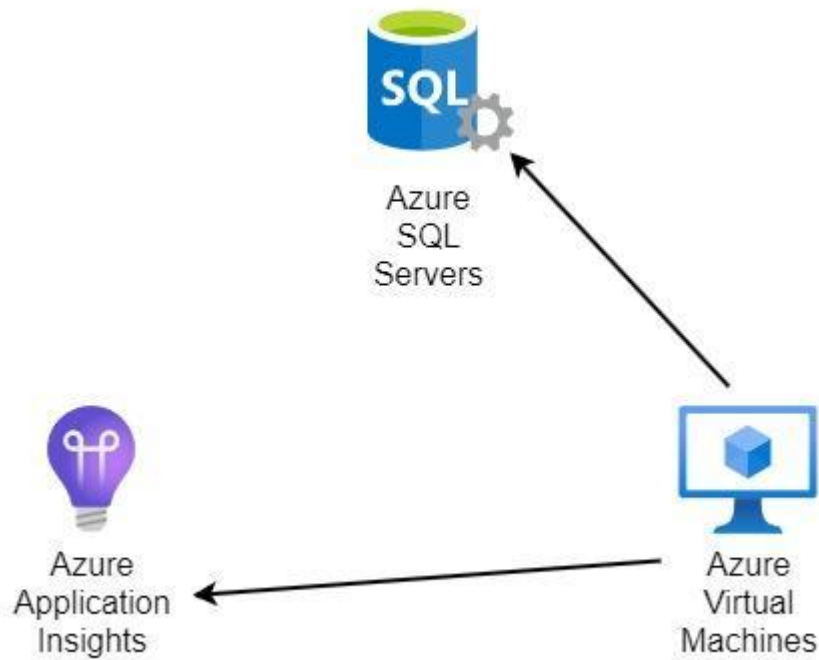


Рисунок 4.1 – Взаємозв’язок між сервісами

Запропонована інформаційна система візуалізації моделей тривимірних об’єктів у доповненій реальності складається із системи зберігання даних та програмного забезпечення. Зберігання даних – це частина, де зберігаються моделі. Користувачі можуть завантажувати туди власні моделі. Програмна система розділена на дві частини: частина на стороні користувача, тобто частина Frontend, де користувач може взаємодіяти з інтерфейсом програми, вибирати та переглядати модель для візуалізації; і серверна частина – тобто серверна частина, яка відповідає за збереження нової завантаженої користувачем моделі в сховище даних, перевірку вибраної користувачем моделі в AR та її візуалізацію за допомогою камери пристрою. Структура запропонованої інформаційної технології візуалізації моделей тривимірних об’єктів у доповненій реальності представлена на рисунку 4.2. На ньому представлено взаємодія між клієнтською та серверною частиною додатку при завантаженні нової 3D моделі, перетворенні файлу із 3D моделлю на клієнтській частині та серверна валідація при додаванні отриманої тривимірної моделі.

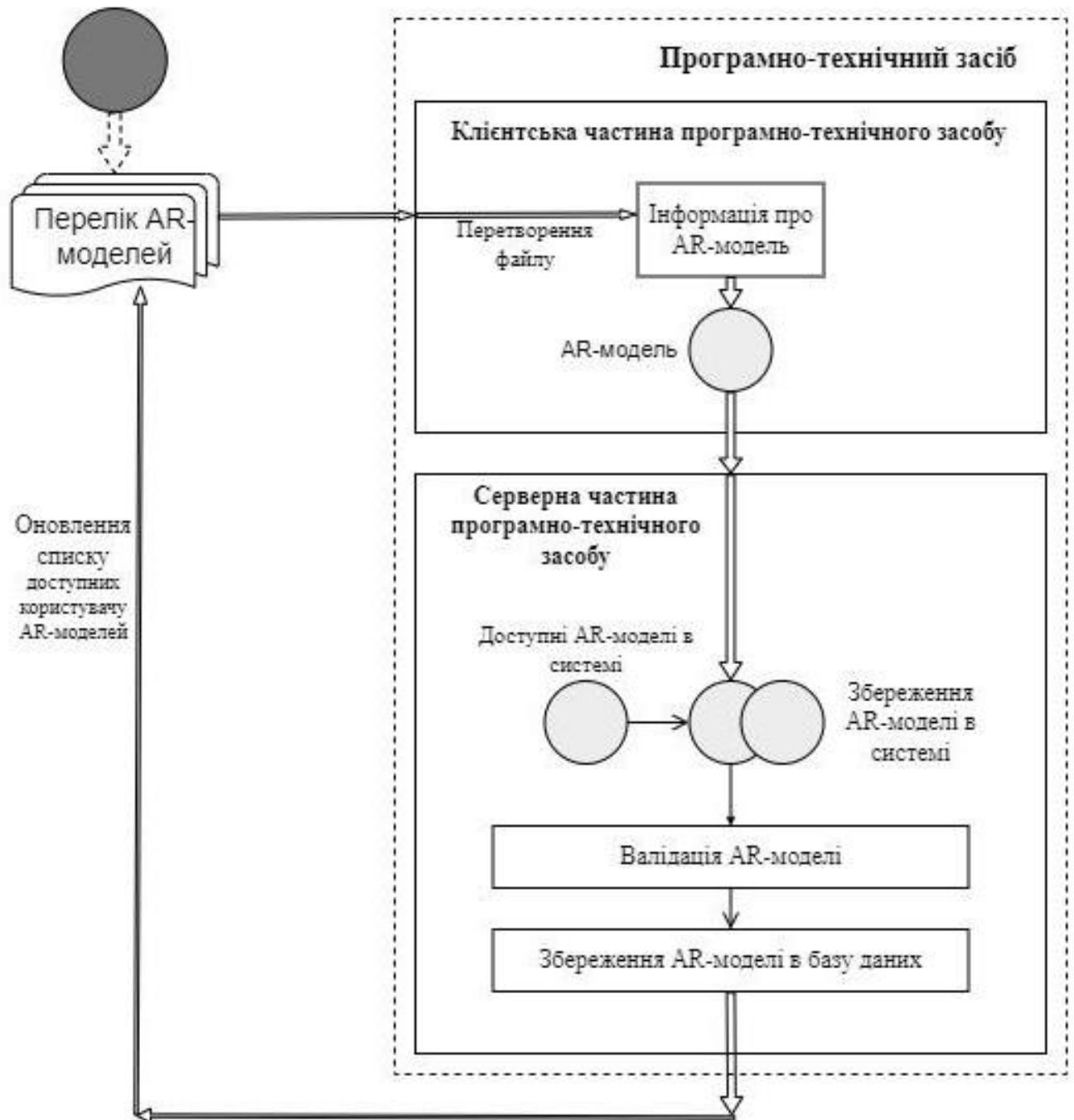


Рисунок 4.2 – Структура запропонованої інформаційної технології для візуалізації моделей 3D об’єктів у доповненій реальності

4.2 Програмна реалізація

Розроблений програмно-технічний засіб складається із клієнтської та серверної частин. Серверна частина розгортається на сервері та призначена для виконання основної частини бізнес-логіки додатку. Клієнтська частина

запускається безпосередньо на смартфоні користувача та контактує із серверною частиною.

Клієнтську частину програмно-технічного засобу розділено на наступні модулі для групування функціоналу та розділення на додатку на логічні блоки, як це показано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Модулі та функції клієнтської частини додатку

Модуль	Функція	Короткий опис
Автентифікація та авторизація	SignUp	Реєстрація користувача
	LogIn	Вхід в акаунт користувача
	Authorize	Авторизація за допомогою bearer-токену для отримання доступу до вказаного ресурсу
	SignOut	Вихід з акаунту та видалення bearer-токену з захищеної
Робота з 3D-моделями	GetPreviews	Отримання списку із прев'ю 3D моделей
	AddModel	Додавання власної 3D моделі до списку існуючих
	GetDetailsById	Отримання деталей 3D моделей включно з файлом
	PlaceModel	Розташування 3D моделі в просторі
	GetPhoto	Отримання фото накладення 3D моделі на простір

Кінець таблиці 4.1 – Модулі та функції клієнтської частини додатку

Модуль	Функція	Короткий опис
Перегляд новин	GetGeneratedNews	Отримання автоматично згенерованих новин про нові 3D моделі в системі
	GetNewsfeed	Отримання новин, що зберігаються в базі даних.

В клієнтській частині додатку, функціонал реєстрації передбачає виведення форми із полями, необхідними для реєстрації, та подальшого надсилання даних, введених користувачем, на сервер. При невдалій спробі реєстрації, додаток відобразить модальне вікно із інформацією.

Функціонал автентифікації передбачає виведення форми автентифікації, надсилання даних на сервер та, в разі отримання відповіді про позитивну валідацію із серверу, запису отриманого bearer-токену в захищену пам'ять. Після запису токена в захищену пам'ять, при кожному наступному поверненні в додаток та при наступних запусках додатку, крок автентифікації буде пропущений, оскільки користувач вже є автентифікованим. В разі невдалої спроби автентифікації, додаток відобразить модальне вікно із інформацією.

Функціонал авторизації передбачає надсилання разом із всіма запитами до серверу bearer-токену, що записаний в захищеній пам'яті, що надасть змогу серверу ідентифікувати користувача та вирішити чи надавати чи не надавати доступ до запитуваного ресурсу, спираючись на цю інформацію. В разі отримання у відповідь на будь-який запит до сервера відповіді із кодом 401 Unauthorized, виконується автоматичний вихід із акаунту, оскільки, в даній системі, це означає, що вийшов термін придатності для bearer-токену, це зроблено з міркувань зручності користування додатком, щоб користувачу не потрібно виходити з акаунту самостійно.

Функціонал виходу з акаунту передбачає надсилання на сервер запиту для завершення терміну дії отриманого beager-токену та його видалення локально із захищеної пам'яті.

Функціонал отримання прев'ю 3D моделей передбачає отримання із серверу списку із мінімально потрібною користувачеві інформацією про 3D модель із метою утримання від завантаження великої кількості файлів при запуску додатку. Із метою відображення лише актуальних даних запит для отримання списку прев'ю надсилається на сервер щохвилини та, при невідповідності стану, збереженого в клієнтській частині додатку, із станом, що був отриманий з серверу, стан в клієнтській частині заміщується станом із серверу.

Функціонал додавання 3D моделі передбачає надсилання на сервер форми із даними, які вказав користувач, а саме: файл з 3D об'єктом, файл із прев'ю, назву та опис. При невдалій спробі додавання моделі, в додатку відобразиться модальне вікно із інформацією про невдачу.

Функціонал розташування 3D моделі в просторі передбачає можливість переміщення, масштабування, повороту 3D моделі в просторі.

Для кращого розбиття коду серверної частини додатку на функціональні одиниці була використана реалізація патерну проектування "Медіатор". Медіатор виступає як посередник між об'єктами, які взаємодіють, та забезпечує взаємодію між ними. Кожен об'єкт не спілкується напряму з іншими об'єктами, а замість цього взаємодіє тільки з медіатором. Медіатор же координує взаємодію між об'єктами та вирішує, який сервіс має отримати повідомлення від іншого сервісу, і передає це повідомлення відповідному сервісу. Всі модулі серверної частини в програмному коді розділені на багато сервісів, що, з одного боку дозволяє зменшити кількість повторів одного й того ж коду та з іншого – співставити відповідність модулів програми функційним вимогам. Модулі, що визначені в серверній частині додатку описані в таблиці 4.2. Було визначено 3 основних модуля, що охоплюють певну частину функціоналу, також модулі розбиті на окремі функції, що відповідають функційним вимогам і дають можливість працювати з кожним модулем та функцією окремо.

Таблиця 4.2 – Модулі та функції серверної частини додатку

Модуль	Функція	Короткий опис
Робота з акаунтами	SignUp	Додавання акаунту користувача
	ValidatePassword	Валідація паролю для вказаного користувача
	LogIn	Видача bearer-токену
	LogOut	Закінчити термін дії виданого bearer-токену
Робота з новинами	GetGeneratedNews	Видача автоматично згенерованих новин
	GetNewsfeed	Видача новин з бази даних
Робота з 3D моделями	AddModel	Додавання 3D моделі до системи
	GetModelPreviews	Отримання списку з прев'ю моделей
	GetModelById	Отримання деталей 3D моделей за їх унікальними ідентифікаторами
	GetModelsByUserId	Отримання списку 3D моделей, завантажених користувачем

Більшість функцій потребують для виконання отримання bearer-токену разом із запитом від клієнтської частини, це означає, що неавторизовані користувачі не зможуть мати доступ до вказаних ресурсів. В такому випадку як відповідь на запит, буде отримано статус 401 (Unauthorized).

Функція `SignUp` модуля роботи з акаунтами передбачає додавання акаунту користувача в базу даних із попереднім хешуванням паролю. При ситуації, коли при додаванні акаунту сталась помилка, функція повертає відповідь із відповідним `http`-кодом помилки та вмістом відповіді із причиною виникнення помилки.

Функція `ValidatePassword` модуля роботи з акаунтами призначений для перевірки правильності вводу паролю для конкретного користувача, для перевіреного паролю формується хеш та порівнюється із хешем паролю, що зберігається для даного користувача. Для неправильного паролю функція повертає помилку.

Функція `LogIn` викликає функцію `ValidatePassword` і, якщо результат перевірки – успішний, генерує та повертає `bearer`-токен, що буде використаний в подальшому для перевірки запиту, що отримується від клієнтської частини додатку на факт можливості доступу до ресурсу.

Функція `LogOut` припиняє дію створеного функцією `LogIn` `bearer`-токену, що був прив'язаний до акаунту користувача, який здійснює вихід із системи. Функція `LogOut` передбачує авторизації користувача перед цим, при умові, якщо термін дії `bearer`-токен вже вичерпався, жодних дій не буде виконано.

Функція `GetGeneratedNews` на основі нових записів до таблиці із 3D моделями в базі даних проєкту формує список новин для користувачів. Термін відображення новини в додатку складає 48 годин. При поверненні помилки, отримуючи перелік наявних в системі 3D моделей, функція поверне помилку та повідомлення з причиною помилки.

Функція `GetNewsfeed` отримує з бази даних новини та передає їх до клієнтської частини додатку. В разі помилки буде повернуто пустий список та причину помилки.

Функція `AddModel` додає до бази даних новий запис із інформацією про 3D модель та зберігає в `Blob Storage` файли з зображенням і з 3D об'єктом. Отримавши помилку при виконанні цих операцій буде повернуто відповідь з `http`-кодом `500 Internal Server Error` та повідомлення з причиною.

Функція `GetModelPreviews` отримує з бази даних список записів із інформацією про 3D моделі та посилання на зображення із Azure Blob Storage та повертає це у відповідь клієнтській частині додатку.

Функція `GetModelById` отримує із бази даних інформацію про 3D-модель та посилання на файл з 3D об'єктом із Azure Blob Storage, використовуючи в якості фільтру унікальний ідентифікатор 3D моделі.

Функція `GetModelsByUserId` отримує із бази даних інформацію про 3D моделі, завантажені конкретним користувачем.

На рисунку 4.3 наведена діаграма класів із класами, з якими працюють та функції клієнтської та серверної частин додатку. Класи слугують для організації об'єктів з подібними властивостями і функціональністю, функції, в свою ж чергу визначають те, як буде поводити себе система.

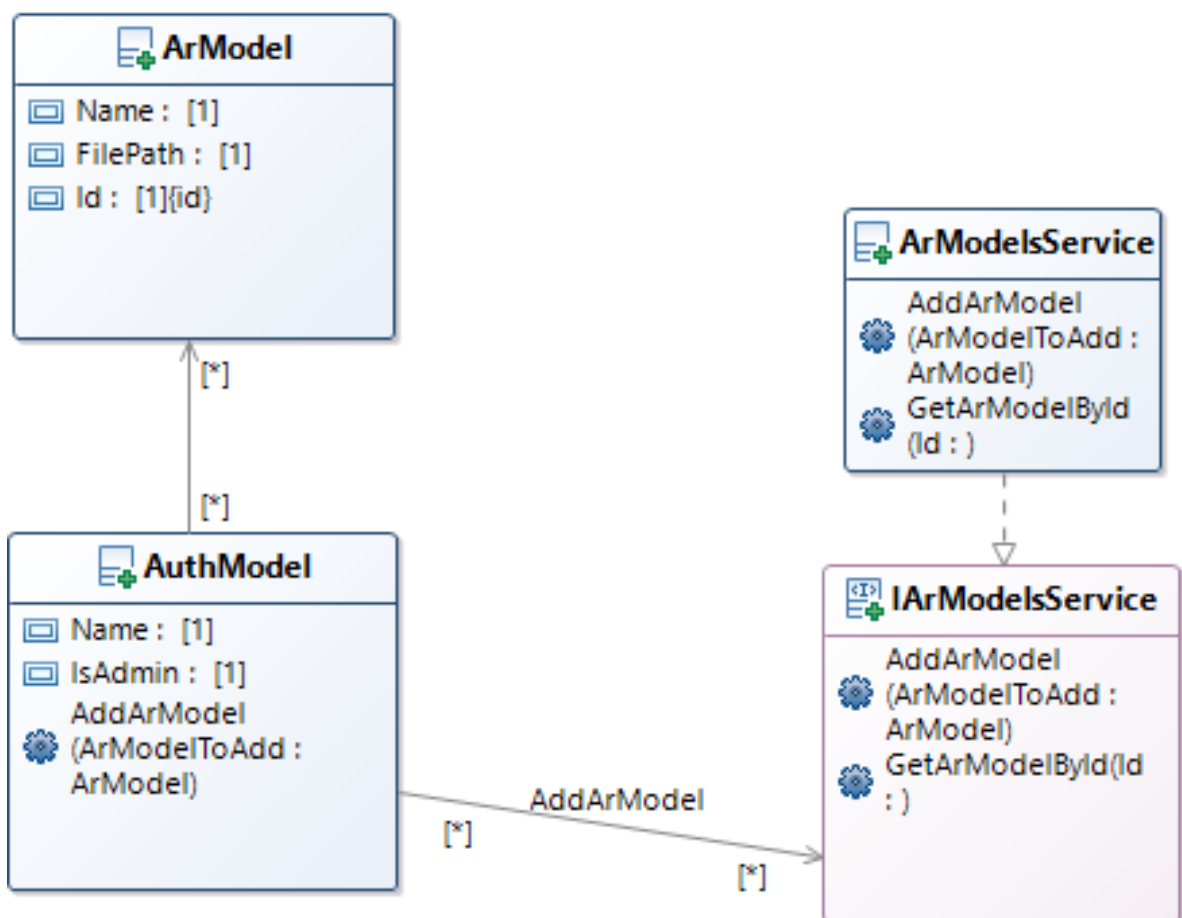


Рисунок 4.3 – Діаграма класів

4.3 Аналіз результатів експериментів, верифікація, тестування та оцінка якості інформаційної системи візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності

На рисунку 4.4 наведений скріншот сторінки програмно-технічного засобу, призначеної для відображення наявних в системі новин. Сторінка із внутрішніми новинами є прекрасним інструментом для розповіді про останні оновлення, події та інші важливі новини, пов'язані з додатком. Також, сторінка з внутрішніми новинами може бути використана для надання користувачам корисних порад, підказок та інструкцій з використання додатку.

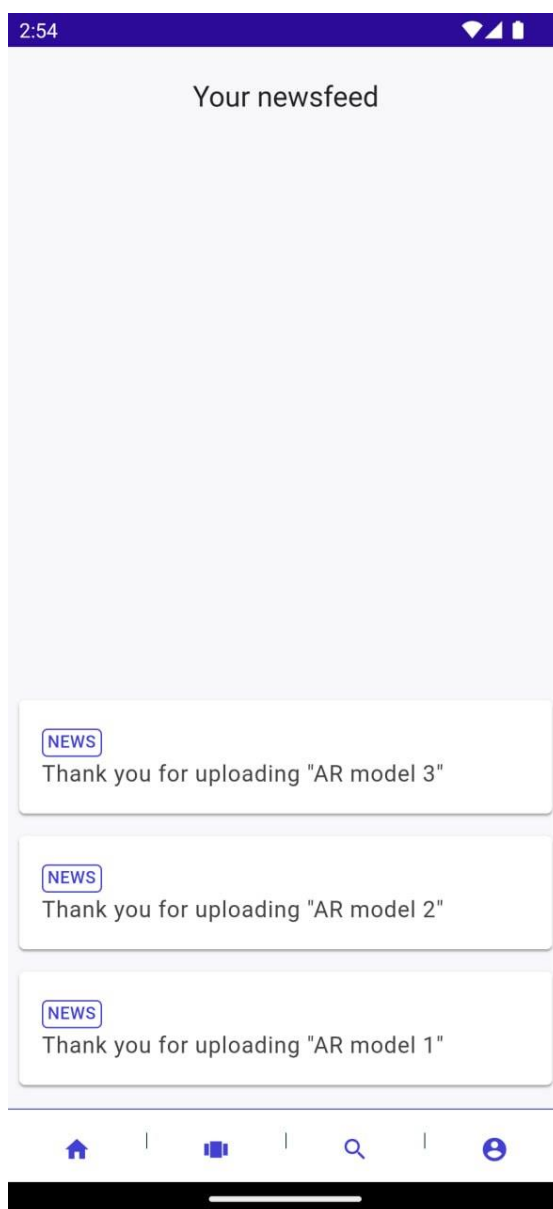


Рисунок 4.4 – Сторінка перегляду новин

На рисунку 4.5 зображена сторінка додатку для вибору доступних 3D моделей, завантажених користувачем, або ж іншими користувачами в систему. Сторінка зі списком товарів дозволяє користувачам зручно переглядати широкий асортимент моделей, які доступні в додатку. Компонент пошуку за назвою дозволяє користувачам знаходити бажану 3D модель за вказаними параметрами та полегшує роботу зі додатком.

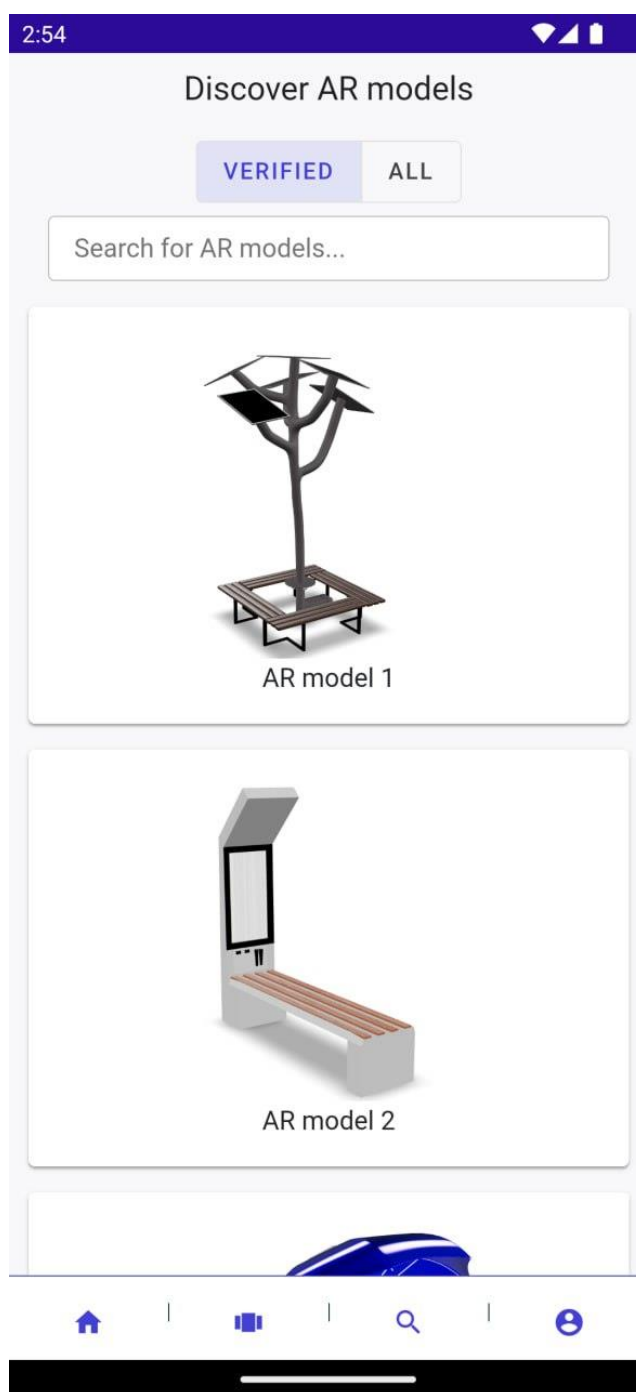


Рисунок 4.5 – Сторінка вибору доступних 3D моделей

На рисунку 4.6 зображений скріншот із сторінки перегляду інформації про користувача включно із фотографією профілю та іменем користувача, дозволяє переглядати список 3D моделей, завантаженим користувачем, також містить можливість переходу на сторінку завантаження 3D моделі. Сторінка користувача є важливою складовою будь-якого додатку, оскільки вона надає персоналізований та інтерактивний досвід для кожного користувача.

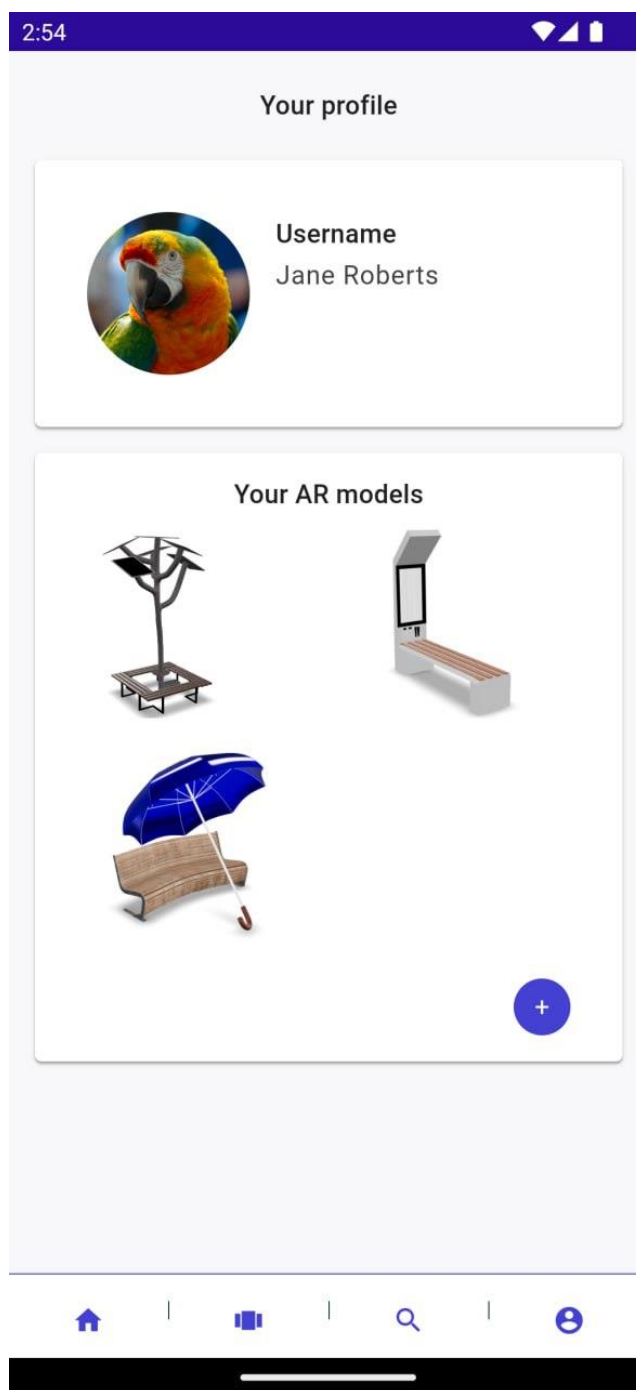


Рисунок 4.6 – Сторінка з акаунтом користувача та завантаженими 3D моделями

На рисунку 4.7 представлено скріншот із деталями про отриману 3D модель. Ця інформація включає в себе 3D модель, що вже доступна для переміщення, масштабування, повороту, назву та короткий опис моделі. Після натиснення на кнопку додаток відкривається в режимі фотографування.

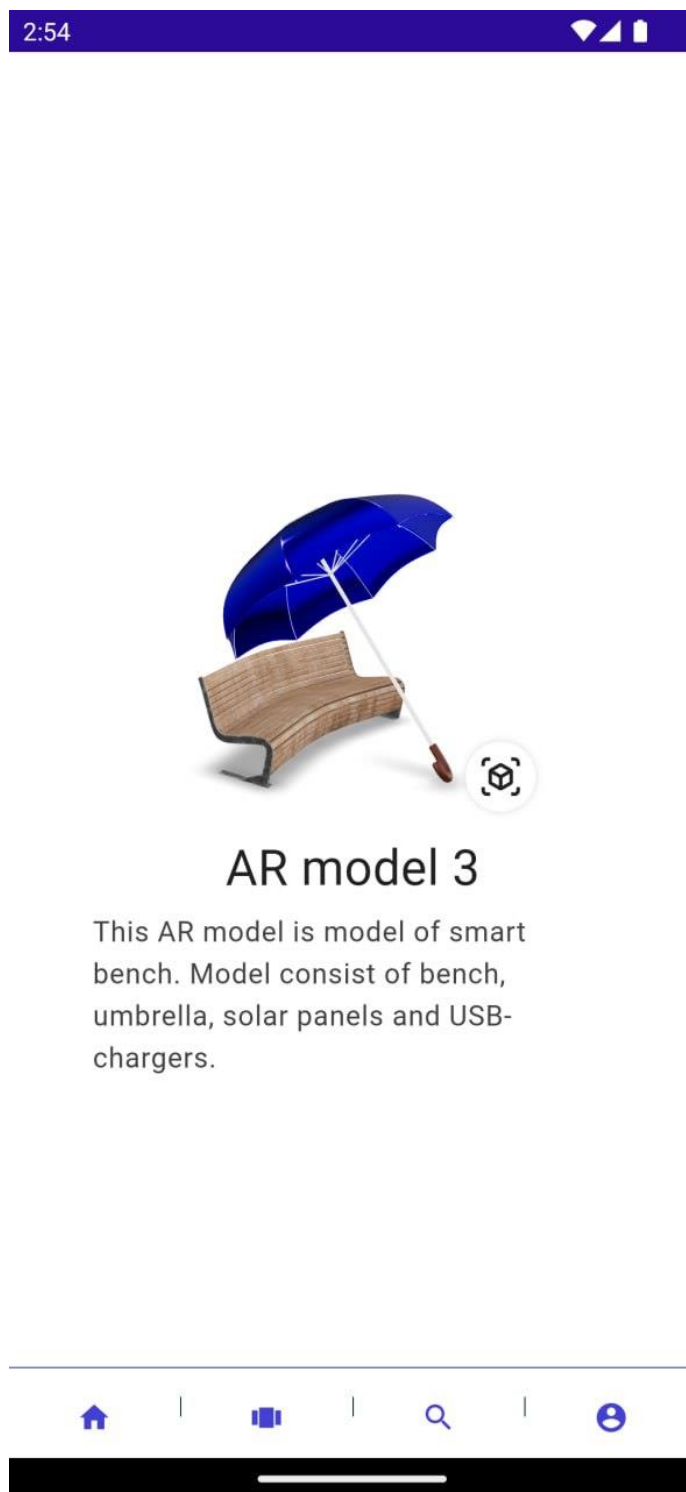


Рисунок 4.7 – Сторінка вибору доступних 3D моделей

На рисунку 4.8 представлено скріншот із сторінкою розміщення 3D моделі на пристрої iPhone 7. Дана сторінка відкривається після натиснення кнопки на сторінці із інформацією про 3D модель. Після завершення початкового позиціювання моделі, додаток готовий до отримання зображень із тривимірним об'єктом в просторі.

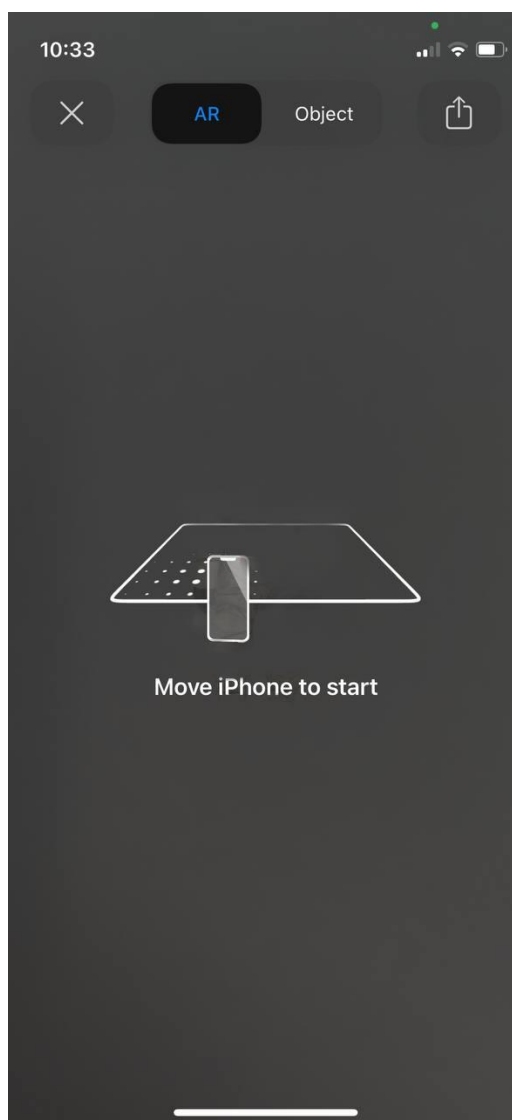


Рисунок 4.8 – Сторінка розміщення 3D моделі

На рисунку 4.9 зображено інтерфейс додатку в процесі розміщення 3D моделі в просторі, що відкривається при виконанні умови, зазначеній на сторінці розміщення 3D моделі про переміщення камери телефону, що необхідна для оцінки середовища для кращого початкового позиціювання моделі.

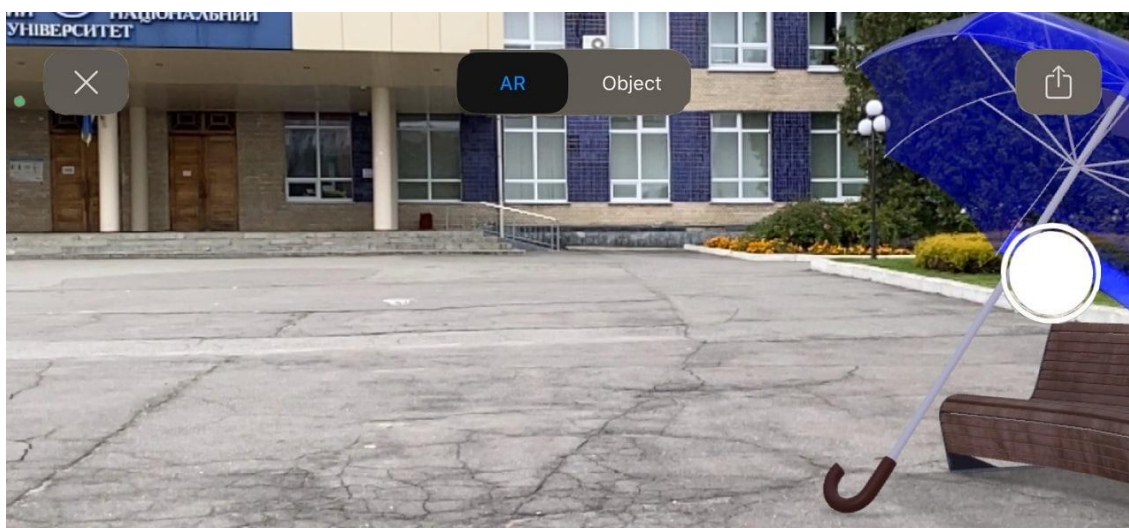


Рисунок 4.9 – 3D модель в процесі розміщення

Експерименти проводились на території Хмельницького Національного Університету. При тестуванні роботи додатку було перевірено 3 моделі, кожен з них розміщено на різній відстані від камери, із різним кутом повороту, із різним масштабуванням та було зроблено фотографію кожної. Порядок проведення експериментів приведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порядок проведення експериментів із тестовими моделями

Модель	Експеримент	Отриманий результат
Арт-об'єкт “Сонячне дерево”	Розміщення на асфальті.	Тестова модель розмістилась на поверхні.
	Масштабування в більшу сторону зі збереженням пропорцій	Тестова модель збільшилась в розмірах, зберігаючи пропорції та не зміщуючись
	Розміщення на траві.	Тестова модель розмістилась на поверхні.
	Переміщення.	Тестова модель перемістилась вздовж площини поверхні.

Кінець таблиці 4.3 – Порядок проведення експериментів із тестовими моделями

Арт-об'єкт “Лавочка з парасолькою”	Розміщення на асфальті.	Тестова модель розмістилась на поверхні.
	Розміщення на траві.	Тестова модель розмістилась на поверхні.
	Переміщення.	Тестова модель перемістилась вздовж площини поверхні.
	Масштабування в меншу сторону зі збереженням пропорцій	Тестова модель зменшилась в розмірах, зберігаючи пропорції.
Арт-об'єкт “Смарт-лавочка з таблом”	Розміщення на асфальті.	Тестова модель розмістилась на поверхні.
	Розміщення на траві.	Тестова модель розмістилась на поверхні.
	Переміщення.	Тестова модель перемістилась вздовж площини поверхні
	Масштабування в більшу сторону зі збереженням пропорцій	Тестова модель зменшилась в розмірі, зберігаючи початкові пропорції
	Поворот на площині поверхні	Тестова модель змінила кут розміщення відносно камери

На рисунку 4.10 зображено один із тестових випадків тестування 3D моделі “Бесідка-парасолька” після виконання тестів із розміщенням на асфальті, переміщенням вздовж поверхні асфальту, масштабування в більшу сторону із збереженням пропорцій та поворотом.

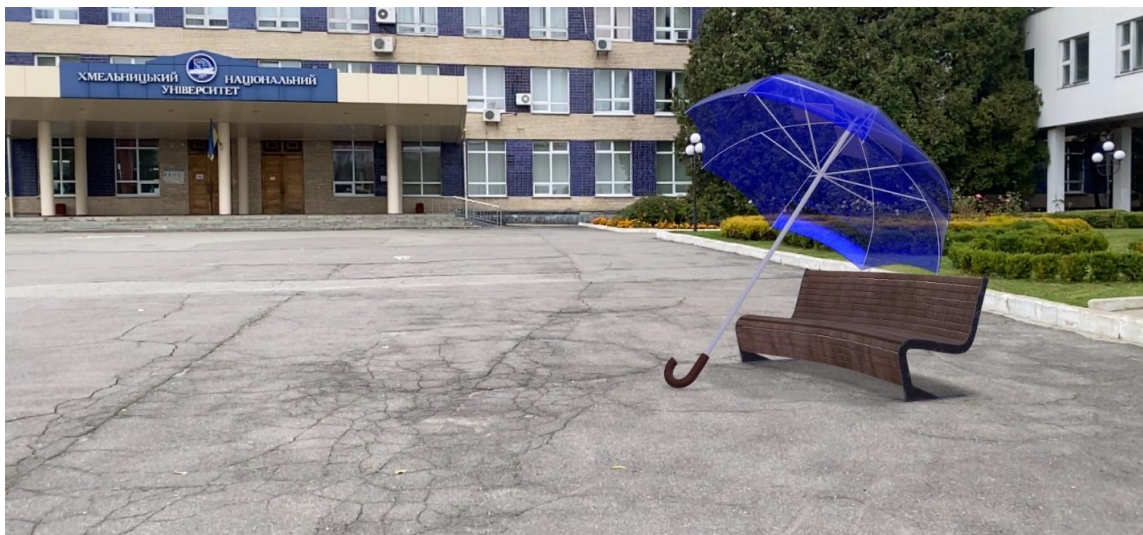


Рисунок 4.10 – Тестування роботи програмно-технічного засобу на прикладі 3D моделі “Бесідка-парасолька”

На рисунку 4.11 зображено результат тестування моделі “Смарт-лавочка з таблом” після застосування наступних експериментів: розміщення на асфальті, переміщення, Масштабування в більшу сторону зі збереженням пропорцій.



Рисунок 4.11 – Тестування роботи програмно-технічного засобу на прикладі 3D моделі “Смарт-лавочка з таблом”

На рисунку 4.11 зображено результат тестування моделі “Сонячне дерево” після тестування таких випадків: розміщення на траві, переміщення, Масштабування в більшу сторону зі збереженням пропорцій.



Рисунок 4.12 – Тестування роботи програмно-технічного засобу на прикладі 3D моделі “Сонячне дерево”

4.4 Висновки

В даному розділі було спроектовано архітектуру системи для візуалізації 3D-моделей об’єктів у доповненій реальності. В процесі проектування було сформовано діаграми, що описують різні аспекти роботи програмно-технічного засобу, обрано засоби для розгорнення, моніторингу та збереження даних для серверної частини додатку.

Також було розроблено кросплатформний програмно-технічний засіб для платформ Android і iOS та описано модулі та функції, що визначені для програмно-технічного засобу, описано поведження функцій в разі виникнення збоїв.

В даному розділі, за допомогою попередньо розроблених 3D моделей, було протестовано можливості відображення, переміщення, повороту, та отримання фотографій із проєкцією 3D моделі на простір.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено програмно-технічний засіб для візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності.

У першому розділі було проведено аналіз існуючих рішень в галузі доповненої реальності. При проведенні аналізу існуючих аналогічних додатків, було виявлено, що їх функціонал недостатній. Також було визначено завдання, необхідні до виконання та інструменти, що будуть використані в цьому процесі.

У другому розділі було визначено функційні та нефункційні вимоги до програмно-технічного засобу, що визначають функціонал та характеристики, які має мати додаток. Також в другому розділі було описано процес розробки 3D моделей та розроблено 3D моделі, що в подальшому були використані для тестування.

У третьому розділі було описано метод та алгоритм відображення 3D об'єктів за допомогою доповненою реальності, було приведено формули, що застосовуються для роботи із об'єктами в тривимірному просторі. В процесі роботи над третім розділом було описано та візуалізовано такі операції із тривимірними об'єктами як: переміщення, масштабування, поворот.

У четвертому розділі була спроектована архітектура програмно-технічного засобу, розроблено програмно-технічний засіб, базуючись на даній архітектурі. Також в четвертому розділі було протестовано роботу програмно-технічного засобу на базі попередньо-створених 3D моделей.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опублікована одна стаття у фаховому науковому виданні “Computer Systems & Information Technologies 2022”.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ковтонюк М., Шпилюк О. Метод та алгоритм відтворення 3D-об'єктів за допомогою доповненої реальності. *Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2022)*, Хмельницький, Україна, 18-19 жовтня 2022. Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 152-157.
2. Pavlova O., Bashta A., Kravchuk S., Hnatchuk Y., Bouhissi H.E. Augmented Reality Based Technology and Scenarios For Route Planning and Visualization. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022, 3156, ст. 613–623.
3. Stranner M., Arth C., Schmalstieg D., Fleck P. A High-Precision Localization Device for Outdoor Augmented Reality. *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Beijing, China, 10-18 October 2019 . 2019. P. 37-41.
4. Liu W. at el Ground Camera Images and UAV 3D Model Registration for Outdoor Augmented Reality. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, 23-27 March 2019. 2019. pp. 1050-1051
5. Artivive AR application. URL: <https://artivive.com/>(дата звернення: 25.09.2022)
6. Онлайн- магазин мобільних додатків для ОС Android Google Play. URL: <https://play.google.com/> (дата звернення: 25.09.2022)
7. Онлайн-магазин мобільних додатків для iOS App-Store. URL: <https://www.apple.com/ua/app-store/> (дата звернення: 25.09.2022)
8. Башта А., Павлова О. Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів. *Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021)*, Хмельницький, Україна, 15-16 жовтня 2021. Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 25-29.
9. Технологія доповненої реальності. Вікіпедія. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/AugmentedReality>(дата звернення: 20.02.2022).
10. Розширена реальність. Вікіпедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_reality (дата звернення: 20.02.2022).

11. XR, AR, VR, MR: What's the Difference in Reality? URL: <https://www.arm.com/blogs/blueprint/xr-ar-vr-mr-difference> (дата звернення: 10.02.2022).

12. Intriguing Uses Of AR Technology In Industry. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/07/14/10-intriguing-uses-of-ar-technology-in-industry/?sh=55fc1daf5825> (дата звернення: 12.02.2022).

13. Башта А. Р. Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів: кваліфікаційна робота магістра: 123 Комп'ютерна інженерія. ХНУ. Хмельницький, 2022. 103 с.

14. Башта А.Р., Кравчук С.С. КОНЦЕПЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ ГРОМАДСЬКИХ МІСЦЬ З МОЖЛИВОСТЯМИ ІНКЛЮЗИВНОГО ДОСТУПУ. *Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2022)*. Хмельницький, Україна, 18-19 листопада 2022. Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 24-29

15. 10 Augmented Reality Trends to Redefine Business Growth in 2023. URL: <https://www.intelivita.com/blog/augmented-reality-trends/> (дата звернення: 14.02.2022).

16. 12 Augmented Reality Trends of 2023: New Milestones in Immersive Technology. URL: <https://mobidev.biz/blog/augmented-reality-trends-future-ar-technologies> (дата звернення: 14.02.2022).

17. Augmented Reality in Marketing and Sales: Practical Yet Innovative. URL: <https://mobidev.biz/blog/augmented-reality-marketing-sales> (дата звернення: 14.02.2022).

18. Google AR/VR Components. URL: <https://arvr.google.com/> (дата звернення: 14.02.2022).

19. Sanii B. Creating Augmented Reality USDZ Files to Visualize 3D Objects on Student Phones in the Classroom. *Journal of Chemical Education*. 2020. Vol. 97, No 1, pp. 253-257.

20. Gherardini F. 3D Virtual Reconstruction and Augmented Reality Visualization of Damaged Stone Sculptures. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering, Florence Heri-Tech - The Future of Heritage Science and Technologies*, 16–18 May 2018, Florence, Italy. 2018. Vol. 364. P. 012018.

21. Plunkett K. N. A Simple and Practical Method for Incorporating Augmented Reality into the Classroom and Laboratory. *Journal of Chemical Education*. 2019. Vol. 96. P. 2628-2631.

22. Marques L. et al. Cultural Heritage 3D Modelling and visualisation within an Augmented Reality Environment, based on Geographic Information Technologies and mobile platforms. *ACE: Architecture, City and Environment*. 2017. Vol. 11. P. 117-136.

23. Wolle P., Müller MP., Rauh D. Augmented Reality in Scientific Publications—Taking the Visualization of 3D Structures to the Next Level. *ACS Chemical Biology*. 2018. Vol. 13. P. 496-499.

24. Reipschläger P. and Dachsel R. 2019 DesignAR: Immersive 3D-Modeling Combining Augmented Reality with Interactive Displays. *2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '19)*, New York, NY, USA, November 2019. 2019. P. 29–41.

25. González I., Méndez J.A., Palomera R. et al. Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging. *Journal of Medical Systems*. 2019. Vol. 43. P. 102.

26. Carter D. Immersive Employee Experiences in the Metaverse: Virtual Work Environments, Augmented Analytics Tools, and Sensory and Tracking Technologies. *Psychosociological Issues in Human Resource Management*. 2022, Vol. 10, No 1. P. 35-49.

27. Kye B., Han N., Kim E., Park Y., Jo S. Educational applications of Metaverse: possibilities and limitations. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*. 2021, Vol. 18. P. 32.

28. Що таке доповнена реальність URL: <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/what-is-ar.html> (дата звернення: 17.02.2022).

29. Що таке доповнена реальність і чим вона відрізняється від віртуальної реальності? URL: <https://blog.comfy.ua/ua/shho-take-dopovnena-realnist-i-chim-vona-vidriznyaetsya-vid-virtualnoyi-realnosti/> (дата звернення: 17.12.2022).

30. In This New Era of Retail, We're Testing New Ways to Operate, and It's the Customer Who Wins URL: <https://corporate.walmart.com/newsroom/2020/10/29/in-this-new-era-of-retail-were-testing-new-ways-to-operate-and-its-the-customer-who-wins> (дата звернення: 20.12.2022).

31. BURBERRY CREATES AUGMENTED REALITY POCKET BAG EXPERIENCE URL: <https://www.burberryplc.com/en/news/brand/2021/burberry-creates-augmented-reality-pocket-bag-experience.html> (дата звернення: 20.12.2022).

32. Google Announces New 3D Ad Creation Tools and New Live and AR Ad Options for YouTube URL: <https://www.socialmediatoday.com/news/google-announces-new-3d-ad-creation-tools-and-new-live-and-ar-ad-options-fo/557123/> (дата звернення: 20.12.2022).

33. IKEA Place app launches on Android, allowing millions of people to reimagine home furnishings using AR URL: <https://about.ikea.com/en/newsroom/2018/03/19/ikea-place-app-launches-on-android-allowing-millions-of-people-to-reimagine-home-furnishings-using-ar> (дата звернення: 20.12.2022).

34. Virtual try on and 3D viewer URL: <https://wanna.fashion/web-demo> (дата звернення: 20.12.2022).

35. 'Hybri' Can Create a Virtual Companion Based on Real People URL: <https://www.macobserver.com/link/hybri-virtual-companions/> (дата звернення: 20.12.2022).

36. AR VR Smart Glasses Market by Application, Product, and Geography - Forecast and Analysis 2023-2027 URL: [https://www.technavio.com/talk-to-us?report=IRTNTR71909&type=sample&rfs=epd&src=report&utm_source=prnewswire&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=AutoV6\(E\)_rfs1_wk16_2022_006&utm_content=IRTNTR71909](https://www.technavio.com/talk-to-us?report=IRTNTR71909&type=sample&rfs=epd&src=report&utm_source=prnewswire&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=AutoV6(E)_rfs1_wk16_2022_006&utm_content=IRTNTR71909) (дата звернення: 20.12.2022).

37. What Is The Metaverse And Why Should You Care? URL: <https://www.forbes.com/sites/deborahlovich/2022/05/11/what-is-the-metaverse-and-why-should-you-care/?sh=7a71871c2704> (дата звернення: 20.12.2022).

38. Snap eyes adding NFTs as AR filters in Snapchat URL: <https://techcrunch.com/2022/07/13/snap-eyes-adding-nfts-as-ar-filters-in-snapchat/> (дата звернення: 20.12.2022).

39. Garzón, J. An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2021. Vol. 5. P. 37. DOI: 10.3390/mti5070037

40. Altinpulluk, H. Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016. *Education and Information Technologies*. 2019. Vol. 24. P. 1089–1114. DOI: 10.1007/s10639-018-9806-3

41. Kljun M., Geroimenko V., Čopič Pucihar K. (2020). Augmented Reality in Education: Current Status and Advancement of the Field. *Springer Series on Cultural Computing* : book series. Springer, Cham. 2022. P. 3-21. DOI: 10.1007/978-3-030-42156-4_1.

42. Viglialoro R.M., Condino S., Turini G., Carbone M., Ferrari V., Gesi M. Augmented Reality, Mixed Reality, and Hybrid Approach in Healthcare Simulation: A Systematic Review. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No 5, P. 2338. DOI: 10.3390/app11052338

43. Videnovik M., Trajkovik V., Kiøniq L.V. at el. Increasing quality of learning experience using augmented reality educational games. *Multimedia Tools and Applications*. 2020. Vol. 79, No 33. P. 23861–23885. DOI: 10.1007/s11042-020-09046-7

44. Cardoso L., Mariano F., Zorzal E. A survey of industrial augmented reality. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 139. P. 106159. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106159.

45. Kaplan A. D., Cruitt, J., Endsley, M., Beers, S. M., Sawyer, B. D., & Hancock, P. A. The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training

Enhancement Methods: A Meta-Analysis. *Human Factors*. 2020. Vol. 63. P. 706–726. DOI: 10.1177/0018720820904229.

46. Chiang F., Shang X., Qiao L. Augmented reality in vocational training: A systematic review of research and applications. *Computers in Human Behavior*. 2022. Vol. 129. P. 107125. DOI: 10.1016/j.chb.2021.107125.

47. Jeevan S., Paheding D., Niyaz Q., Yang X., Smith S. Augmented Reality and Artificial Intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges. *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 207, P. 118002. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.118002.

48. Soltani P., Morice A. Augmented reality tools for sports education and training. *Computers & Education*. 2020. Vol. 155. P. 103923, DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103923.

49. Yavuz M., Çorbacıoğlu E., Başoğlu A., Daim T., Shaygan A. Augmented reality technology adoption: Case of a mobile application in Turkey. *Technology in Society*. 2021. Volume 66. P. 101598. DOI: 10.1016/j.techsoc.2021.101598.

50. Ibáñez M.B., Portillo A., Cabada R., Barrón M. Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*. 2020. Vol. 145. P. 103734. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103734.

51. Eckert M., Volmerg J., Friedrich C. Augmented Reality in Medicine: Systematic and Bibliographic Review. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2019. Vol. 7. P. 10967. DOI: 10.2196/10967

52. Alzahrani, N.M. Augmented Reality: A Systematic Review of Its Benefits and Challenges in E-learning Contexts. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, P. 5660. DOI: 10.3390/app10165660

53. Parekh, P., Patel, S., Patel, N. et al. Systematic review and meta-analysis of augmented reality in medicine, retail, and games. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*. 2020. Vol. 3. P. 21. DOI : 10.1186/s42492-020-00057-7

54. Aggarwal R., Singhal A. Augmented Reality and its effect on our life. *2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering*

(*Confluence*) : conference materials, Noida, India, 10-11 January 2019. Noida, 2019. P. 510-515. DOI: 10.1109/CONFLUENCE.2019.8776989.

55. Liu W. et al. Ground Camera Images and UAV 3D Model Registration for Outdoor Augmented Reality. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* : conference materials, Osaka, Japan, 23-27 March 2019. 2019. P. 1050-1051, DOI: 10.1109/VR.2019.8797821.

56. Stranner M., Arth C., Schmalstieg D., Fleck P. A High-Precision Localization Device for Outdoor Augmented Reality. *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Beijing, China, 10-18 October 2019. 2019. P. 37-41, DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00025.

57. Hertel J. and Steinicke F. Augmented Reality for Maritime Navigation Assistance - Egocentric Depth Perception in Large Distance Outdoor Environments. *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Lisboa, Portugal, 27 March - 01 April 2021. 2021. P. 122-130, DOI: 10.1109/VR50410.2021.00033.

58. Augmented Reality Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component (Hardware, Software), By Display (Head-Mounted Display & Smart Glass, Head-Up Display, Handheld Devices), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030. 300 p. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/augmented-reality-market> (Доступ 11.02.2023).

59. Mobile augmented reality (AR) market revenue worldwide from 2021 to 2026 URL: <https://www.statista.com/statistics/282453/mobile-augmented-reality-market-size/> (Доступ 11.02.2023).

60. Hovorushchenko T., Pavlova O., Avsiyevych V. Method of Assessing the Impact of External Factors on Geopositioning System Operation Using Android GPS API. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, LVIV, Ukraine, 22-25 September 2021. 2021. Vol. 1. P. 295–298

61. Zhang H., Ye C. A visual positioning system for indoor blind navigation. *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Paris, France, 31 May - 31 August 2020. 2020. P. 9079-9085.

62. Zhang H., Jin L., Ye C. An RGB-D camera based visual positioning system for assistive navigation by a robotic navigation aid. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2021. Vol. 8. P. 1389-1400.
63. Jung T.W., Jeong C.S., Kwon S.C., Jung K.D. Point-Graph Neural Network Based Novel Visual Positioning System for Indoor Navigation. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. P. 9187. <https://doi.org/10.3390/app11199187>.
64. Kim J.Y., Kim I.S., Yun D.Y., Jung T.W., Kwon S.C., Jung K.D. Visual Positioning System Based on 6D Object Pose Estimation Using Mobile Web. *Electronics* 2022. Vol. 11. P. 865. <https://doi.org/10.3390/electronics11060865>.
65. Anup S., Goel A., Padmanabhan A. Visual positioning system for automated indoor/outdoor navigation. *TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, Penang, Malaysia, 05-08 November 2017. 2017. P. 1027-1031. doi: 10.1109/TENCON.2017.8228008.
66. Cheng K., Koda K., Masuko S. Reimagining the Stadium Spectator Experience using Augmented Reality and Visual Positioning System. *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. Singapore, Singapore. 2022. P. 786-787. doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00167.
67. Lee M. J. L., Ho H. Y., Hsu L. -T., Au S. L. M. BIPS: Building Information Positioning System. *2021 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Lloret de Mar, Spain, 29 November - 02 December 2021. 2021. P. 1-7. doi: 10.1109/IPIN51156.2021.9662575.
68. Ng X. H. and Lim W. N. Design of a Mobile Augmented Reality-based Indoor Navigation System. *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, Istanbul, Turkey, 22-24 October 2020. 2020. P. 1-6. doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9255121.
69. Lo Valvo A., Croce D., Garlisi D., Giuliano F., Giarré L., Tinnirello I. A Navigation and Augmented Reality System for Visually Impaired People. *Sensors*. 2021. Vol. 21. P. 3061. <https://doi.org/10.3390/s21093061>
70. Liu B., Meng L. Doctoral Colloquium—Towards a Better User Interface of Augmented Reality Based Indoor Navigation Application. *2020 6th International*

Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN), San Luis Obispo, CA, USA, 21-25 June 2020. 2020. P. 392-394. doi: 10.23919/iLRN47897.2020.9155198.

71. Fenais A., Ariaratnam S.T., Ayer S.K. Smilovsky, N. Integrating Geographic Information Systems and Augmented Reality for Mapping Underground Utilities. *Infrastructures*. 2019. Vol. 4. P. 60. <https://doi.org/10.3390/infrastructures4040060>

72. Rajeev S., Wan Q., Yau K., Panetta K., Agaian S. Augmented reality-based vision-aid indoor navigation system in GPS denied environment. *SPIE Defense + Commercial Sensing*, 2019, Baltimore, MD, United States, 13 May 2019. 2019. Vol. 10993. P. 109930 . <https://doi.org/10.1117/12.2519224>

73. Zheng M., Campbell A. G. Location-Based Augmented Reality In-situ Visualization Applied for Agricultural Fieldwork Navigation. *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Beijing, China, 10-18 October 2019. 2019. P. 93-97. doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00039.

74. Sasaki R., Yamamoto K. A Sightseeing Support System Using Augmented Reality and Pictograms within Urban Tourist Areas in Japan. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019. 8, 381. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090381>

75. Preetha K.G., Antony S.K., Remesh Babu K.R., Saritha S., Sangeetha U. Design and implementation of an augmented reality mobile application for navigating ATM counters (AR-ATM). *Industrial Robot*. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IR-02-2022-0051>

76. Ho C. C., Ho M. -C., Chang C. -Y. Markerless Indoor/Outdoor Augmented Reality Navigation Device Based on ORB-Visual-Odometry Positioning Estimation and Wall-Floor-Boundary Image Registration. *2019 Twelfth International Conference on Ubi-Media Computing (Ubi-Media)*, Bali, Indonesia, 05-08 August 2019. 2019. P. 199-204. doi: 10.1109/Ubi-Media.2019.00046.

77. Ling F. F., Elvezio C., Bullock J., Henderson S., Feiner S.. A Hybrid RTK GNSS and SLAM Outdoor Augmented Reality System. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, 23-27 March 2019. 2019. P. 1044-1045. doi: 10.1109/VR.2019.8798315.

78. Danylenko O. B., Soroka O. M., Dukov D. F., Soshnikov S. G., & Kramarenko V. V. (2021). Application of information and communication technologies and simulators to train future specialists in navigation and ship handling. *In OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Yambol, Bulgaria, 4th-6th November 2020. 2020. Vol. 1031, No. 1. P. 012117. DOI: 10.1088/1757-899X/1031/1/012117.

79. Lvov M. S., Popova H. V. Simulation technologies of virtual reality usage in the training of future ship navigators. *2nd International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2019)*, Kryvyi Rih, Ukraine, March 22, 2019. 2019. Vol. 2547. P. 50-65.

80. Lipianina-Honcharenko K. et al. Concept of the Intelligent Guide with AR Support. *International Journal Of Computing*. 2022. Vol. 21. P. 271-277.

81. Dyulicheva Y., Kosova Y., Uchitel A. The augmented reality portal and hints usage for assisting individuals with autism spectrum disorder, anxiety and cognitive disorders. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2731. P. 251-262.

82. T. Hovorushchenko, A. Boyarchuk, O. Pavlova, K. Bobrovnikova. Agent-Oriented Information Technology for Assessing the Initial Stages of the Software Life Cycle. *ICTERI Workshops*. 2019. P. 617-632.

83. Hovorushchenko T., Pavlova O., Kobel K. Method of Evaluating the User Interface of Software Systems for Compliance with the Gestalt Principles. *In 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2019. Vol. 2. P. 138-141.

84. ARCore supported devices. URL: <https://developers.google.com/ar/devices/> (дата звернення: 20.12.2022).

85. Model Editor. URL: <https://modelviewer.dev/editor/> (дата звернення: 27.12.2022).

ДОДАТОК А (обов'язковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Лістинг файлу для навігації елементами меню додатку:

```
@namespace Art.Presentation.PageComponents
@inherits ComponentBase
@using Microsoft.AspNetCore.Components.Routing

<nav class="d-flex flex-row justify-content-around pt-3 pb-4 bg-light
border-top something">
  <div class="w-100 nav-item">
    <NavLink class="navigation-link" href="/">
      <RadzenIcon Icon="home" class="navigation-
icon"></RadzenIcon>
    </NavLink>
  </div>

  <div class="w-100 nav-item">
    <NavLink class="navigation-link" href="List">
      <RadzenIcon Icon="view_carousel" class="navigation-
icon"></RadzenIcon>
    </NavLink>
  </div>

  <div class="w-100 nav-item">
    <NavLink class="navigation-link" href="List">
      <RadzenIcon Icon="search" class="navigation-
icon"></RadzenIcon>
    </NavLink>
  </div>

  <div class="w-100 nav-item">
    <NavLink class="navigation-link" href="Profile">
      <RadzenIcon Icon="account_circle" class="navigation-
icon"></RadzenIcon>
    </NavLink>
  </div>
</nav>
```

Лістинг базового класу EntityBase:

```
namespace Art.Domain.ArModels.Entities;

public abstract class EntityBase<TId> : IEquatable<EntityBase<TId>>
```

```

    where TId : notnull
{
    public TId Id { get; protected set; }

    protected EntityBase(TId id)
    {
        Id = id;
    }

    public bool Equals(EntityBase<TId>? other)
    {
        return Equals((object?)other);
    }

    public static bool operator ==(EntityBase<TId> left,
EntityBase<TId> right)
    {
        return Equals(left, right);
    }

    public static bool operator !=(EntityBase<TId> left,
EntityBase<TId> right)
    {
        return !Equals(left, right);
    }

    public override bool Equals(object? obj)
    {
        return obj is EntityBase<TId> entity && Id.Equals(entity.Id);
    }

    public override int GetHashCode()
    {
        return Id.GetHashCode();
    }
}

```

ЛІСТИНГ базового класу ValueObject:

```

using Microsoft.EntityFrameworkCore;

namespace ART.Domain.ValueObjects;

[Owned]
public abstract class ValueObject : IEquatable<ValueObject>
{
    public abstract IEnumerable<object> GetEqualityComponents();

    public override bool Equals(object? obj)

```

```

    {
        if (ReferenceEquals(null, obj)) return false;
        if (ReferenceEquals(this, obj)) return true;
        if (obj.GetType() != this.GetType()) return false;
        return Equals((ValueObject)obj);
    }

    public static bool operator ==(ValueObject left, ValueObject
right)
    {
        return Equals(left, right);
    }

    public static bool operator !=(ValueObject left, ValueObject
right)
    {
        return !Equals(left, right);
    }

    public override int GetHashCode()
    {
        return GetEqualityComponents().Select(x => x?.GetHashCode() ??
0)
            .Aggregate((x, y) => x ^ y);
    }

    public bool Equals(ValueObject? other)
    {
        return Equals((object?)other);
    }
}

```

Лістинг базового класу AggregateRoot:

```

using ART.Domain.ArModels.Entities;

namespace ART.Domain.Models;

public abstract class AggregateRoot<TId> : EntityBase<TId>
    where TId : notnull
    {
        protected AggregateRoot(TId id) : base(id)
        {
        }
    }
}

```

Лістинг класу, що репрезентує 3D модель в системі:

```

using ART.Domain.Models;
using ART.Domain.ValueObjects;

namespace ART.Domain.ArModels.Entities;

public class ArModelEntity : AggregateRoot<int>
{
    public string Name { get; set; }
    public string Description { get; set; }
    public string ArModelUrl { get; set; }
    public string PreviewImageUrl { get; set; }
    public VoteValueObject Vote { get; set; }

    public ArModelEntity(int id, string name, string description,
string arModelUrl, string previewImageUrl) : base(id)
    {
        Name = name;
        Description = description;
        ArModelUrl = arModelUrl;
        PreviewImageUrl = previewImageUrl;
    }

    public ArModelEntity(int id, string name, string description,
string arModelUrl, string previewImageUrl, VoteValueObject vote) :
this(id, name, description, arModelUrl, previewImageUrl)
    {
        Vote = vote;
    }
};

```

Лістинг ендпоінту, що приймає запит для додавання 3D моделі в систему:

```

using MediatR;
using Microsoft.AspNetCore.Http.HttpResults;
using Microsoft.AspNetCore.Mvc;

namespace ART.Api.Features.ArModels.AddArModel;

using AR_MODELS_LIST_RESULT_TYPE = Results<Ok<AddArModelResponse>,
NotFound>;

public static class AddArModelEndpoint
{
    public static IEndpointRouteBuilder MapModelsAddApi(this
IEndpointRouteBuilder routes)
    {
        routes.MapPost("ArModels", AddArModel);
    }
}

```

```
        return routes;
    }

    private static async Task<AR_MODELS_LIST_RESULT_TYPE>
    AddArModel(HttpContext context,
        [FromServices] IMediator mediator)
    {
        IFormFileCollection files = context.Request.Form.Files;
        string name = Guid.NewGuid().ToString();

        var request = new AddArModelCommand(name, files);

        var response = await mediator.Send(request);

        return TypedResults.Ok(response);
    }
}
```

ДОДАТОК Б

КОПІЇ ТЕЗ ДОПОВІДІ НА КОНФЕРЕНЦІЯХ ТА ПУБЛІКАЦІЇ В ФАХОВОМУ НАУКОВОМУ ВИДАННІ

Тези доповіді на Всеукраїнській науковій конференції "Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук" АПКН-2022

Актуальні проблеми комп'ютерних наук

УДК 004.4

Ковтонюк М.О., Шпилюк О.В.

Хмельницький національний університет

МЕТОД ТА АЛГОРИТМ ВІДТВОРЕННЯ 3D-ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Розглянуто прикладні аспекти візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності. Розроблено метод та алгоритм представлення моделей арт-об'єктів із використанням камери смартфона за допомогою технології доповненої реальності в режимі реального часу.

Applied aspects of visualization 3D models of objects in augmented reality are considered. A method and algorithm for presenting models of art objects using a smartphone camera and augmented reality technology in real time has been developed.

Наразі технологія доповненої реальності набуває все частішого використання та застосовується для більшої кількості сфер людського життя. Аналіз наукових публікацій за 2021 рік та вже існуючих рішень, представлених на ринку, показав, що доповнена реальність найчастіше використовується для навчальних тренажерів, в імерсивних технологіях, у сфері реклами, електронної комерції, для розробки новітніх VR/MR-інтерфейсів користувача (рисунк 1) [1].

Також за останні роки відслідковується тенденція застосування технології доповненої реальності для візуалізації віртуальних об'єктів або надання спеціальних ефектів реальним об'єктам. Наприклад, мобільний застосунок Artivive [5] розроблений для надання цікавих ефектів, як от світло, рух та звуки, для картин в музеях. Також доповнена реальність широко використовується у дизайні інтер'єрів – щоб перевірити які меблі найкраще підійдуть для даного приміщення або для віртуальної примірки одягу чи взуття під час здійснення покупок в Інтернеті [2]. У ході дослідження був проведений аналіз існуючих рішень щодо застосування доповненої реальності у мобільних додатках для ОС Android та iOS. Для цього було використано два найпопулярніших інтернет-магазини мобільних застосунків для даних операційних систем – Google Play [6] та AppStore [7]. Результати аналізу представлені у таблиці 1.

Отже, наразі актуальним питанням є застосування доповненої реальності для візуалізації тривимірних об'єктів у режимі реального часу. Для прикладу, візьмемо студентсько Хмельницького національного університету та ідеї студентської молоді у вигляді певних арт-об'єктів, таких як лавка з роз'єсами для живлення електронних приладів, чи смарт-табло для демонстрації новин університету чи сповіщень. Для того, щоб вибрати місце для розташування такого

152

АПКН-2022

Актуальні проблеми комп'ютерних наук

об'єкту у реальному житті, потрібно спершу подивитися, як даний об'єкт виглядатиме в натуральну величину та як його краще розмістити. Запропонований метод дозволяє розташовувати 3D-моделі будь-яких об'єктів в режимі реального часу в будь-якому місці простору. Для цього потрібен лише смартфон з камерою, яка підтримує технологію доповненої реальності, сама 3D-модель та програмне забезпечення, яке дозволяє візуалізувати модель у доповненій реальності.

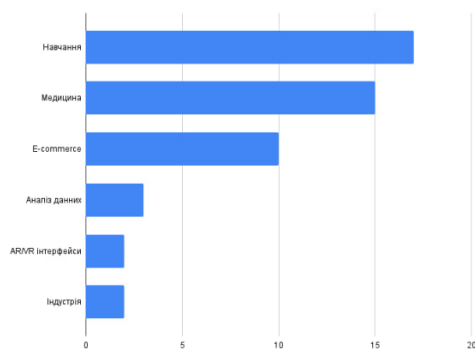


Рисунок 1 – Найпоширеніші сфери застосування доповненої реальності

Метою роботи є розробка інформаційної технології та сценарії візуалізації 3D-об'єктів у просторі та в режимі реального часу за допомогою використання технології доповненої реальності.

Для виконання поставленого завдання було розроблено метод візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності (рисунк 2).

Запропонований метод складається з таких кроків:

1. Розробка програмного забезпечення для візуалізації моделі у доповненій реальності;
2. Побудова тестових моделей 3D-об'єктів

АПКН-2022

153

- Завантаження тестових моделей у програмно-технічний засіб, який найзручніше представити у вигляді додатку для мобільного телефону;
- Відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності в натуральну величину та в режимі реального часу у навколишньому середовищі за допомогою камери смартфона.
- Проведення експериментів щодо вдалого розташування об'єкту у просторі.

Таблиця 1 – Результати аналізу існуючих рішень щодо застосування доповненої реальності у мобільних додатках для операційних систем Android та iOS

Назва	Короткий опис	Переваги	Недоліки
AR-компонент додатку Google	мобільний додаток Google дозволяє переглянути деякі результати пошуку у 3D у доповненій реальності	можливість побачити анімовані 3D моделі в об'ємі та просторі в режимі реального часу	функція доступна лише у мобільному додатку, через веб-версію (сайт Google) не доступна; для перегляду доступні лише 32 моделі тварин; не можна завантажувати власні моделі; для перегляду та відображення моделей потрібно завантажити додаток
Мобільний додаток Wanna Kicks: AR sneakers try on	мобільний додаток для операційних систем Android та iOS, який дозволяє онлайн-примірку кросівок запропонованих моделей у доповненій реальності	реалістичність моделей, можливість зробити фото та відео з екрану телефону	доступні лише запропоновані моделі, немає можливості вибору кольорів для перегляду та відображення моделей потрібно завантажити додаток
Мобільний додаток IKEA Place	мобільний додаток для операційної системи iOS, який дозволяє віртуально розмістити 3D-моделі в реальному масштабі у вашому власному просторі у доповненій реальності.	реалістичність моделей, можливість зробити фото та відео з екрану телефону	доступні лише запропоновані моделі, немає можливості вибору кольорів для перегляду та відображення моделей потрібно завантажити додаток

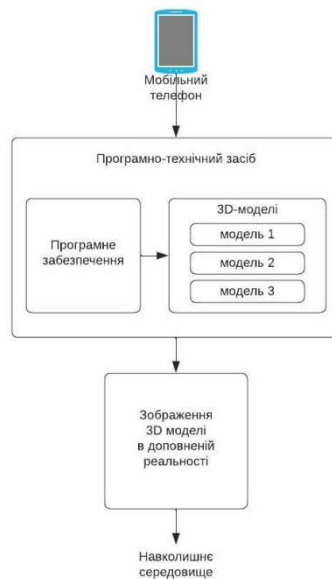


Рисунок 2 – Метод візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності

На основі методу було складено алгоритм візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності, який представлено на рисунку 3.

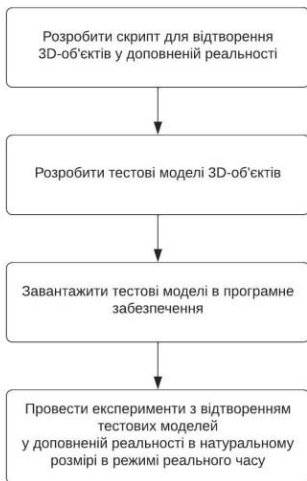


Рисунок 3 - Алгоритм відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності.

Принцип роботи запропонованого програмно-технічного засобу для відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності зображено на рисунку 4.

Отже, запропонований метод та алгоритм відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності дозволяють побудувати програмно-технічний засіб у вигляді кросплатформного мобільного застосування. Перевага розглянутої системи полягає у тому, що користувач швидко та зручно може додати модель будь-якого об'єкту та відтворити її у доповненій реальності у будь-якому місці в режимі реального часу.

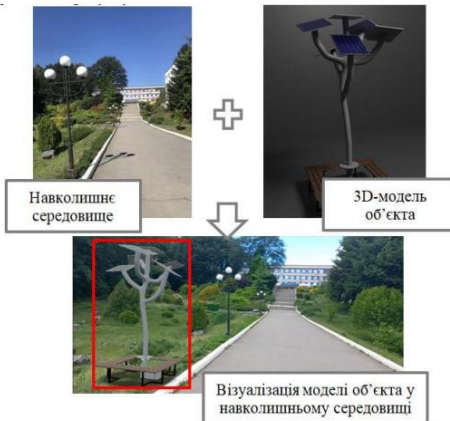


Рисунок 4 – Принцип роботи програмно-технічного засобу для відтворення 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності.

Перелік посилань

- Pavlova, O., Basha, A., Kravchuk, S., Hnatchuk, Y., Bouhiss, H.E. Augmented Reality Based Technology and Scenarios For Route Planning and Visualization. CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3156, сt. 613-623
- M. Strammer, C. Arth, D. Schmalstieg and P. Fleck, "A High-Precision Localization Device for Outdoor Augmented Reality," 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), 2019, pp. 37-41
- W. Liu et al., "Ground Camera Images and UAV 3D Model Registration for Outdoor Augmented Reality," 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 2019, pp. 1050-1051
- Artivive AR application. URL: <https://artivive.com/>(дата звернення: 25.09.2022)
- Онлайн- магазин мобільних додатків для ОС Android Google Play URL: <https://play.google.com/> (дата звернення: 25.09.2022)
- Онлайн- магазин мобільних додатків для iOS App-Store URL: <https://www.apple.com/ua/app-store/>(дата звернення: 25.09.2022)

Тези доповіді на Всеукраїнській науковій конференції "Інформаційні технології та інженерія" IT&I-2023

УДК 004.4

Ковтонюк М. О., Павлова О. О.
Хмельницький національний університет,
Хмельницький, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ У ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ

Наразі технологія доповненої реальності має величезний комерційний потенціал у різноманітних галузях, від відкриття нових каналів маркетингу до вдосконалення процесів навчання працівників [2].

Було проведено аналіз наукових публікацій та наявних програмних продуктів, проте не було знайдено готових рішень для інформаційної системи для відтворення моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності. Дана інформаційна технологія знайшла своє застосування у музеях, наприклад, для відтворення археологічних знахідок, скульптур та навіть частин архітектурних пам'яток в натуральну величину у місці, яке вибирає користувач та в режимі реального часу.

Як пристрій для візуалізації тривимірних об'єктів буде застосовуватись камера смартфона. Для того, щоб візуалізувати об'єкт у доповненій реальності, потрібно його представити у тривимірній системі координат (рис. 1) та обчислити оптимальну відстань від камери смартфона до моделі об'єкту за формулою 1:

$$l = \frac{R}{\sin \alpha} \quad (1)$$

де R - радіус віртуальної сфери, прив'язаної до камери, α - кут огляду.

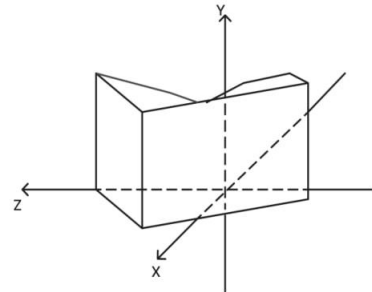


Рисунок 1 – Представлення тривимірного об'єкту (вигляд з камери смартфона)

Отже, для реалізації інформаційної системи (ІС) для відтворення тривимірних об'єктів у доповненій реальності було розроблено структурну схему (рис. 2). У базі даних ІС міститься перелік моделей, доступних для візуалізації. Інтерфейс користувача є зручним у використанні та інтуїтивно зрозумілим, оскільки інформаційна система реалізовуватиметься у вигляді мобільного застосунку.

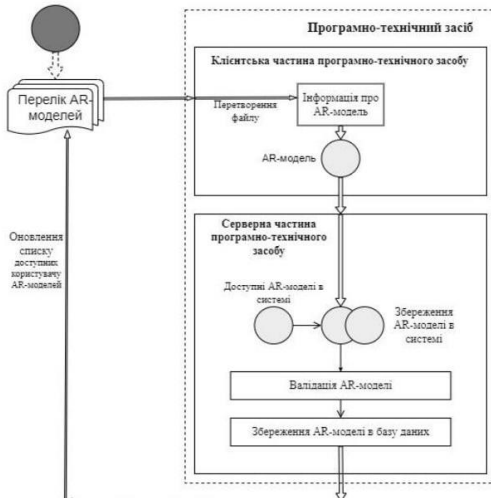


Рисунок 2 – Структурна схема інформаційної системи для відтворення тривимірних об'єктів у доповненій реальності

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- Ковтонюк М.О., Шпилюк О.В. Метод та алгоритм відтворення 3D-об'єктів за допомогою доповненої реальності. *Актуальні проблеми комп'ютерних наук (АПКН-2022)*, Хмельницький, Україна, 18-19 листопада 2022. Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 152-157
- Augmented Reality Trends to Redefine Business Growth in 2023. URL: <https://www.intelivita.com/blog/augmented-reality-trends/> (дата звернення: 14.12.2022).

Копія статті у фаховому науковому виданні “Комп’ютерні системи та інформаційні технології”

UDC 004.89: 004.3
https://doi.org/10.15185/issn.2710-0766

Olga PAVLOVA, Andriy BASHTA, Mykola KOVTOYONOK
Kiyivskyi National University

AUGMENTED REALITY BASED INFORMATION TECHNOLOGY FOR OBJECTS 3D MODELS VISUALIZATION

At the current stage of IT industry development, augmented reality is of interest both from the side of science and from the business side, since it allows creating a smart tool for producing a new generation of users. Today there are already ready to use applications that use AR for business, educational, medical and other purposes. Augmented Reality is currently one of the most rapidly growing technologies most commonly known for its use in gaming games and advertising. By combining three-dimensional modeling with augmented reality, it will be possible to obtain new user-friendly applications for the representing 3D models of objects in real time and in real time. The topic of research in the field of augmented reality is currently relevant both for science and for the business industry.

The paper proposes a multifunctional information system for three-dimensional models visualization in augmented reality, which is implemented in the form of a cross-platform mobile application. The proposed information system uses a device camera as a means of object visualization and provides quick reproduction of the selected from the application's database model in augmented reality in real time and in real time.

The developed application works quite well, has a user-friendly and intuitive interface and allows user to add own models, that makes the tool multipurpose. Test 3D models have been created for conducting experiments for verification the proposed information system operation.

The further efforts of the authors will be directed to improving the existing algorithms for enhancing the current functionality of the proposed tool for 3D objects models visualization in augmented reality and application of the developed tool for real-life needs, such as an application and visualization of museum exhibits and archaeological artifacts of Khmelnytskyi region. Keywords: information system, Augmented Reality (AR), 3D model, visualization, cross-platform mobile application.

Ольга ПАВЛОВА, Андрій БАШТА, Микола КОВТОНЮК
Київський національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ У ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій розвиток реальності стає актуальним напрямом: не з боку науки, так і з боку бізнесу, адже є перспективним напрямком інструментів для виробництва нового покоління користувачів. Наразі вже є готові до використання застосунки з використанням доповненої реальності для комерційних, освітніх, медичних та інших сфер застосування. Доповажена реальність сьогодні є однією з перспективних технологій, яка відомо своїм застосуванням у галузях та інших галузях. Маркетингові застосунки 3D моделювання та доповненої реальності створюють новий рівень інтерактивності для користувачів, надаючи їм можливість взаємодіяти з 3D-моделлю об'єкта в реальному часі та в реальному середовищі. Тензи доповненої реальності сьогодні є найбільш популярною технологією, яку використовують для візуалізації 3D-моделей об'єктів у реальному часі та в реальному середовищі.

У роботі запропоновано багатоваріантну інформаційну систему для візуалізації тривимірних моделей у доповненій реальності, яка реалізована у вигляді кроссплатформного мобільного застосунку. Запропонована інформаційна система використовує камеру пристрою як засіб візуалізації об'єкта та забезпечує швидке відтворення обраної з бази даних моделі об'єкта в доповненій реальності в реальному часі та в реальному середовищі.

Розроблений застосунок працює досить добре, має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і дозволяє користувачам додавати власні моделі, що робить інструмент багатоваріантним. Тестові 3D моделі об'єктів створено для проведення експериментів для перевірки роботи запропонованої інформаційної системи.

Тягальні зусилля авторів будуть спрямовані на вдосконалення алгоритмів для доповненої реальності та застосування розробленого інструменту для реального життя, зокрема це застосування в візуалізації музейних експонатів та архітектурних пам'яток Хмельницької області.

Ключові слова: інформаційна система, доповнена реальність (AR), 3D-модель, візуалізація, кроссплатформний мобільний застосунок

Introduction

Currently, augmented reality technology is gaining more and more frequent use and is applied to more areas of human life. We can use mobile applications, commercial and educational simulators, mobile games and even the advertisement using augmented reality. AR technology has huge commercial potential in a variety of industries, from opening new marketing channels to improving employee training processes. According to the information of the International statistical company Statista [1], in recent years there has been a significant increase in the number of software products using augmented reality. According to forecasts [2], by 2024 there will be around 2.4 billion augmented reality application users in the world. This technology is expected to reach \$70-\$75 billion in revenue by 2024. The diagram (Fig. 1) shows the growth dynamics of the number of software products based on augmented reality, both for commercial use and user applications. The graph also shows positive dynamics from an economic point of view, since the development and use of AR-based applications means the growth of global profits.

Therefore, the topic of research in the field of augmented reality is currently relevant both for science and for the business industry.

Global AR Revenue Consumer & Enterprise AR Revenue, by Source*

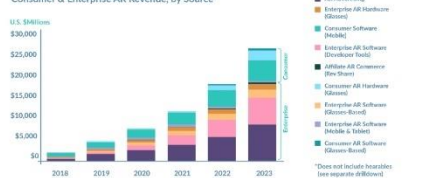


Fig.1 The prospects for AR industry development in the world [2]

Domain analysis and literature review

According to market research [3-4], the industries that the most actively leverage AR technology are E-commerce and advertising (IKEA Place and WannaKicks – the applications that provide virtual products fitting and try on using AR), E-learning (Civildations – an application launched by the BBC for British Museum, provides visualization of ancient historical artifacts), AR gaming industry (AR-games ZombiRun and PokemGO), medicine and healthcare (SentiAR – the platform features a 3D visualization of a patient's heart anatomy to assist with diagnostics and surgery), social networking (Instagram and Snapchat AR-filters). The impact of augmented reality technology in various areas of modern society is presented in Fig.2.



Fig.2 The examples of augmented reality technology integration in various areas of modern society

During the research the analysis of the existing trends and directions of augmented reality application for different areas of life has been conducted. The results of the analysis are presented in Table 1.

The analysis of scientific publications for 2021-2022 and already existing solutions presented on the world market showed that augmented reality is most often used for educational simulators, in immersive technologies, in the field of advertising, e-commerce, for the development of the later VR/AR user interface. The results of the recent scientific publications topics using augmented reality are shown on a diagram in Fig. 3.

In Ukraine, augmented reality domain is also of interest to scientists. In recent years, the number of publications on the application of augmented reality for the field of education has increased significantly [6-12]. Thus, the paper [6] presents an analysis of the current state and prospects for the development of augmented reality in

Ukraine in business and education. The authors of [7] propose the application of augmented reality for educational purposes. In [8] using augmented reality-based technologies in professional training of future teachers of Ukrainian language and literature is proposed. The authors of [9] propose augmented reality-based approach for immersive training for some specific professions. In [10] augmented reality is proposed to be used in university education of future IT specialists. The source [11] considers application of augmented reality as an interactive form of pre-school and primary school teaching. The authors of [12] propose using AR technology for visualization of atoms and molecules structures at Chemistry lessons. The paper [13] is devoted to using of augmented reality for navigation and paving routes in real time. However none of the considered works is devoted to application of AR technology for three-dimensional objects visualization.

Table 1 Trends and directions of augmented reality application for different areas of life

Technology or Trend of AR application	Application or Device	Description
AR-based virtual experiences	Hybrid virtual companion [4]	Such an app will allow users to create an AR-based AI companion which resembles real-life humans.
Leverage AR glasses for different use cases	Google company	Google like Apple are already working on bringing unique AR experience through glasses slated to release in late 2025
Cloud in on the metaverse	Microsoft Azure	Microsoft is one of the technology giants looking to dominate the AR experience. Their concept of merging cloud computing with AR/VR experience makes it an interesting one to watch.
Mobile Augmented Reality	Instagram, Snapchat	One of the finest examples of mobile AR is the unique filter users can use in social media apps like Snapchat and Instagram. Snapchat is preparing to introduce NFTs (Non-Fungible Tokens) as filters in their mobile applications.
Remote collaborations with AR	-	One fine example is synthetic operations in oil refineries, where temperature maintenance is critical. While on-site employees cannot access sites that need expert assistance, AR can help with necessary remote assistance.
Enterprise AR gaming applications	AR games like PokemGO and Egg	One of the critical AR trends is the use of Augmented Reality in creating interactive entertainment for users. In addition, Fox and Harry Potter like virtual game have provided enhanced gaming experience on smartphones.
AR based marketing & advertising campaigns	Loreal, Burberry	Youtube has helped businesses with a "beauty try on" feature that allows consumers to virtually try on makeup before purchasing. Following the AR market trend, brands like Loreal has already created unique and immersive shopping experience in their app, but not in a marketing approach. AR is an excellent way to advertise your products. For example, Burberry allows its customers to create a customizing AR codes, which they can experience through the web app. As a result, brands can leverage AR technology and create a customized experience for their customers.
Supply chain efficiency improvement with AR	Wal-Mart	For example, Wal-Mart converted their physical retail store into the virtual environment for an AR-based inventory app. The idea was to reduce the time needed for bringing products from backrooms inventory to the sales floor.

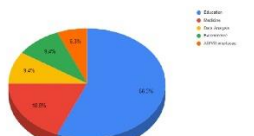


Fig.3 The results of the recent scientific publications topics using augmented reality

Thus, taking into account the relevance and importance of this task, the purpose of this work is to develop an information system for visualization of three-dimensional objects based on augmented reality in the form of a cross-platform mobile application and conduct experiments for visualization of 3D models of objects using the proposed information technology.

Augmented reality based information technology for objects 3D models visualization

In our previous works, a method and algorithm of information technology work for visualization of three-dimensional objects based on AR were proposed. For developing the information system for objects 3D models visualization, we will be using smartphone camera as a tool for representing the objects in augmented reality. To present a 3D model in a real world space, it is necessary to consider that we need to work with three-dimensional space.

The smartphone must also be located at the intersection of the X, Y and Z axes in the 3D Cartesian coordinate system as shown in Fig. 4



Fig.4 Location of the user's smartphone in the three-dimensional Cartesian coordinate system

The principle of operation of the proposed information system is that the user enters the mobile application. Since the application is cross-platform, it provides visualization of models from both Android and iOS devices. Next, the user can either upload his own model to the system database or choose one of the proposed ready-to-visualize models contained in the system database. Once selected, the model is available to the user for preview with the option to display in augmented reality in real time. The user can adjust the size and position of the model in the field of view of the smartphone camera and take a photo or video of the model in the environment. The principle of the proposed information system operation is presented in Fig.5.

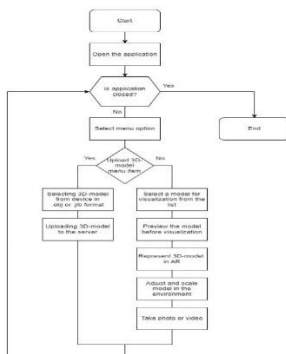


Fig.5 The principle of operation of the information system for 3D models visualization in AR

Experiments and Discussion
To be able to conduct the experiments, we need to create the 3D models for testing. We chose the Botanical Garden of Khmelnytskyi National University as an environment for displaying the models and decided to create the models of the outdoor smart art objects that can be represented in AR in real size and in real time. We chose Blender as an environment for 3D models creating. The models are presented in Fig. 6.

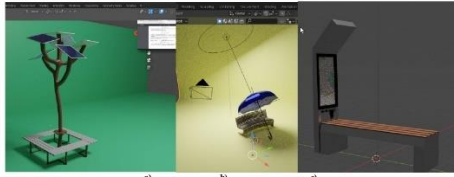


Fig. 6. 3D Models of art structures for Information Technology for 3D objects models visualization testing. Smart Solar Panels Tree construction; b) The bench with Smart Solar Panels Umbrella; c) Smart Bench with Solar Panel based Information Screen

For conducting the experiments the proposed Information Technology for 3D objects models visualization has been developed in the form of a cross-platform mobile application and installed on Android OS-driven mobile device. The interface screens of the developed information system are presented in Fig. 7.

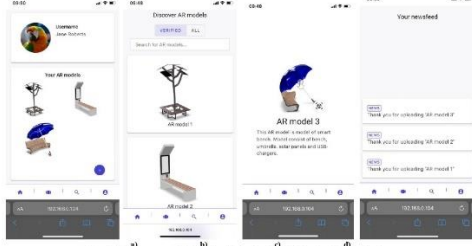


Fig. 7. Interface screens of Information Technology for 3D objects models visualization. User Profile Interface; b) Set of the available AR models; c) Preview of the selected model with the description before the visualization; d) The process of models uploading

The results of the experiments are presented as a set of photos taken with the smartphone camera (Fig. 8). The objects on photos are placed in the environment (Khmelnytskyi National University campus and Botanical garden) in real size.



Fig. 8. The experiment result on 3D objects models visualization in AR

Conclusions

Augmented reality has always been an object of interest as scientists as business industry representatives. The prospect of this technology application for various areas of industry and social life is proved by the numerous research works as well as the increasing number of commercial program products.

During the study the conducted literature analysis and the analysis of already existing AR-based mobile applications provided the conclusions that currently there are no ready-to-use solutions that provide reproducing a three-dimensional model of an object in augmented reality, so this is currently an urgent task from both a scientific and a practical point of view.

Therefore the information system for 3D objects models visualization in augmented reality was developed in the form of cross-platform mobile application. The proposed information system uses a device camera as a means of object visualization and provides quick reproduction of the selected from the application's database model in augmented reality in real size and in real time.

The developed application works quite well, has a user friendly and intuitive interface and allows user to add own models, that makes this tool multipurpose. The further efforts of the authors will be directed to improving the existing algorithms for extending the current functionality of the proposed tool for 3D objects models visualization in

augmented reality and application of the developed tool for real-life needs, such as digitization and visualization of museum exhibits and archaeological artifacts of Khmelnytskyi region.

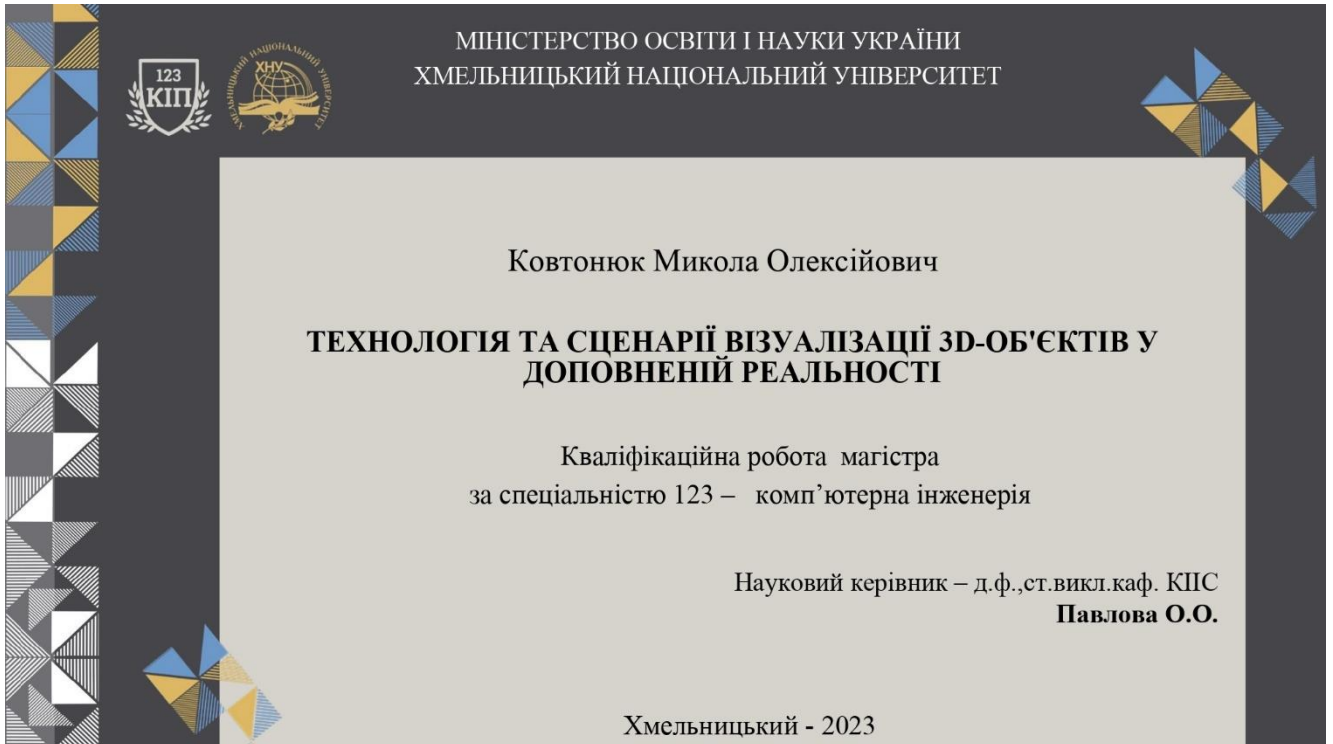
References

1. Number of mobile augmented reality (AR) active user devices worldwide from 2019 to 2024. URL: <https://www.statista.com/statistics/1006620/global-mobile-augmented-reality-statistics/> (accessed February 13, 2022)
2. Augmented Reality in Business. Beaufin. URL: <https://rebrack.com/blog/augmented-reality-in-business/> (accessed February 13, 2022)
3. 10 Augmented Reality Trends to Redefine Business Growth in 2023. URL: <https://www.intelvtv.com/blog/augmented-reality-trends/> (accessed February 14, 2022)
4. 12 Augmented Reality Trends of 2021. New Milestones in Immersive Technology. URL: <https://mobiledev.biz/blog/augmented-reality-trends-future-of-technologies/> (accessed February 14, 2022)
5. 'Hybr' Can Create a Virtual Companion Based on Real People. URL: <https://www.marcoobserver.com/ank-hybr-virtual-companion/> (accessed February 9, 2022)
6. Misi I., & Soloviov V. (2018). Augmented Reality: Ukrainian Present Business and Future Education. *Educational Dimension*, 31, pp. 790-796.
7. Iatulyan A., et al. Application of augmented reality technologies for education projects preparation. *CZE Workshop Proceedings*, Vol. 7, 2020, pp. 114-160.
8. Petrucci O., et al. The usage of augmented reality technologies in professional training of future teachers of Ukrainian language and literature. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021.
9. Iatulyan A., et al. Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of new technological era. (2020).
10. Babkin V., et al. Using augmented reality in university education for future IT specialists: educational process and student research work. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021.
11. Palamar S., et al. Formation of readiness of future teachers to use augmented reality in the educational process of preschool and primary education. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021.
12. Neshporenko P., Shevchenko V., Starova T., Selivanova T., Markova O., Modlo Y., & Simechuk E. (2020). Development and implementation of educational resources in classroom with elements of augmented reality.
13. Pavlova O., Babin A., Koryvchak S., Hnatychuk Y., Bobkova H.E. Augmented Reality Based Technology and Semantics for Route Planning and Visualization. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 315-6, pp. 611-623.

Ольга Павлова Olga Pavlova	PhD, Senior Lecturer of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine. e-mail: olga.pavlova@knu.ua https://orcid.org/0000-0001-7018-0244	доктор філософії, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
Андрій Башта Andriy Basha	PhD student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine. e-mail: andriy.basha@knu.ua https://orcid.org/0000-0002-0772-1347	аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
Микола Коривчак Mykola Koryvchak	Master student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine. e-mail: mikolaj.koryvchak@knu.ua https://orcid.org/0000-0001-7272-767X	студент магістратури за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія», Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна

ДОДАТОК В

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

123
КІП

Хмельницький національний університет

Ковтонюк Микола Олексійович

**ТЕХНОЛОГІЯ ТА СЦЕНАРІЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D-ОБ'ЄКТІВ У
ДОПОВНЕНІЙ РЕАЛЬНОСТІ**

Кваліфікаційна робота магістра
за спеціальністю 123 – комп'ютерна інженерія

Науковий керівник – д.ф.,ст.викл.каф. КІС
Павлова О.О.


Хмельницький - 2023

Мета, предмет та об'єкт дослідження

Мета: забезпечення візуалізації 3D моделей об'єктів шляхом застосування доповненої реальності

Об'єкт дослідження: застосування доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для візуалізації 3D об'єктів

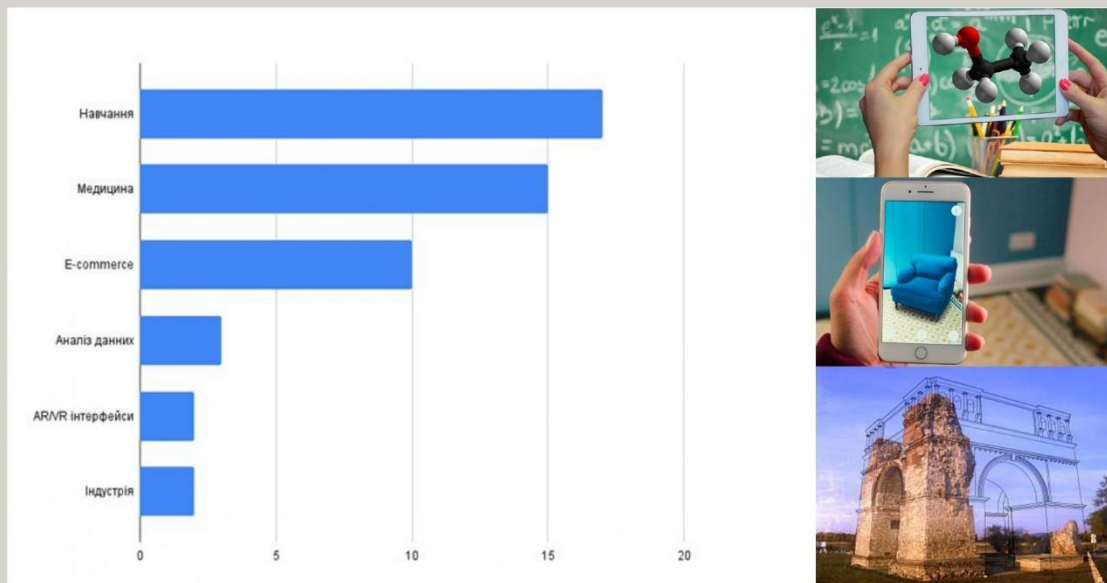
Предмет дослідження: застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів



Задачі дослідження

- 1) розробка методу візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності;
- 2) розробка 3D-моделей для візуалізації за допомогою доповненої реальності;
- 3) розробка програмно-технічного засобу для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності.

Актуальність дослідження



Наукова новизна

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмно-технічний засіб для візуалізації 3D об'єктів.

1. вперше розроблено метод застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів;
2. вперше розроблено алгоритм для візуалізації тривимірних об'єктів у доповненій реальності;
3. вперше розроблено програмно-технічний засіб для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку.

Практична цінність

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці програмно-технічного засобу для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку, який дозволяє користувачу завантажити власні моделі у базу даних додатку та відтворити їх в режимі реального часу та в натуральну величину.

Вступ

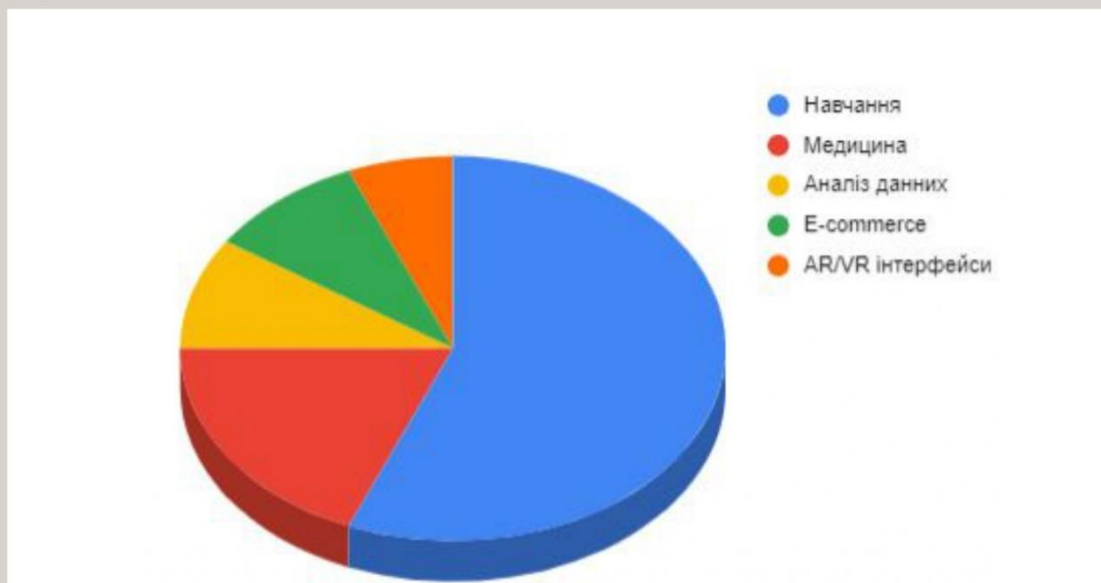


Приклад застосування технології доповненої реальності для навігації

Доповнена реальність (AR) – це надання цифрового вмісту, що доповнює об'єкти, які знаходяться у вас перед очима, коли ви дивитесь на них через спеціальні окуляри доповненої реальності або камеру телефона, планшета чи іншого пристрою.

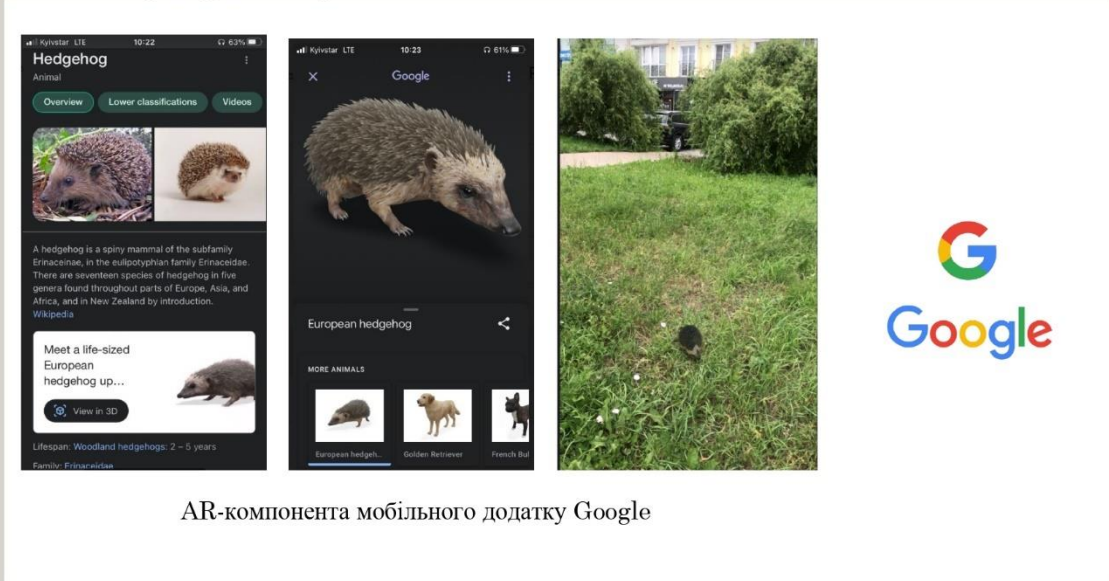
Технологія доповненої реальності накладає додатковий вміст на реальний світ, наявний перед людиною

Розділ 1. Огляд існуючих рішень Наукові публікації



Розділ 1. Огляд існуючих рішень

Готові програмні рішення

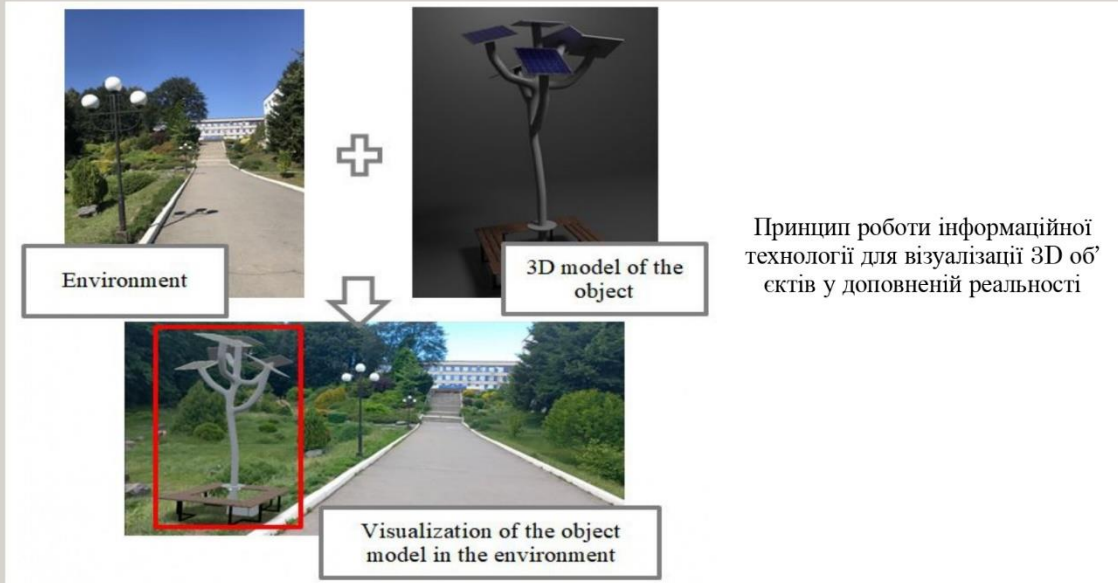


AR-компонента мобільного додатку Google

Розділ 2. Побудова тестових моделей



Розділ 3. Моделювання роботи програмно-технічного засобу



Принцип роботи інформаційної технології для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності

Розділ 3. Математична модель

The diagram shows two coordinate systems. Diagram (a) shows a smartphone with a 3D coordinate system where the Y-axis is vertical (Up/Down), the X-axis is horizontal, and the Z-axis is depth. Diagram (b) shows a 3D rectangular object with a coordinate system where the Z-axis is vertical, the X-axis is horizontal, and the Y-axis is depth. A camera icon is shown near the object's coordinate system.

$$l = \frac{R}{\sin \frac{\alpha \pi}{360}} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2)$$

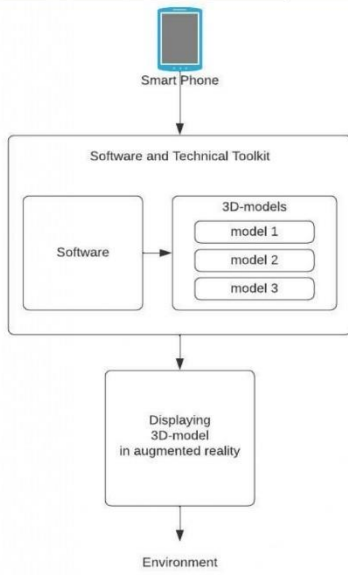
$$\theta = \arctg \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} \right) \quad (3)$$

$$\varphi = \arctg \left(\frac{y}{x} \right) \quad (4)$$

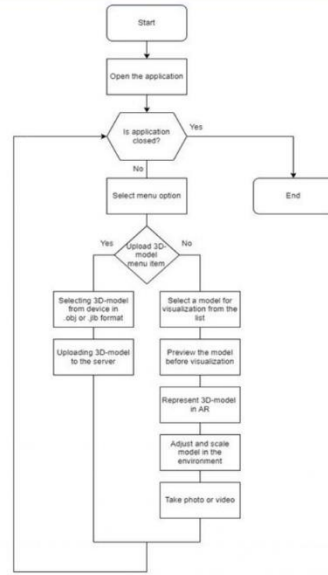
$$y = \arctg(-x, -z) - \theta \quad (5)$$

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (6)$$

Розділ 3. Метод та алгоритм візуалізації об'єктів у доданій реальності

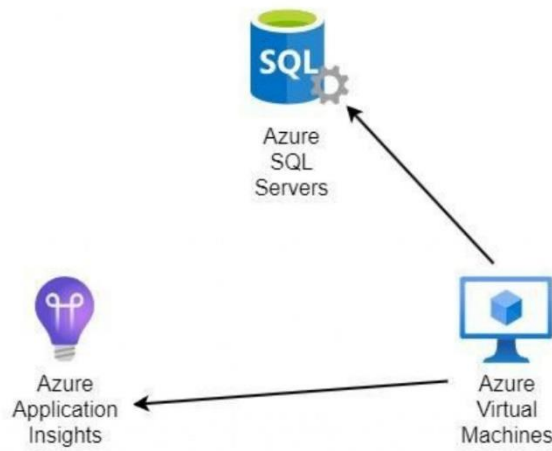


Метод візуалізації моделей 3D об'єктів у доповненій реальності



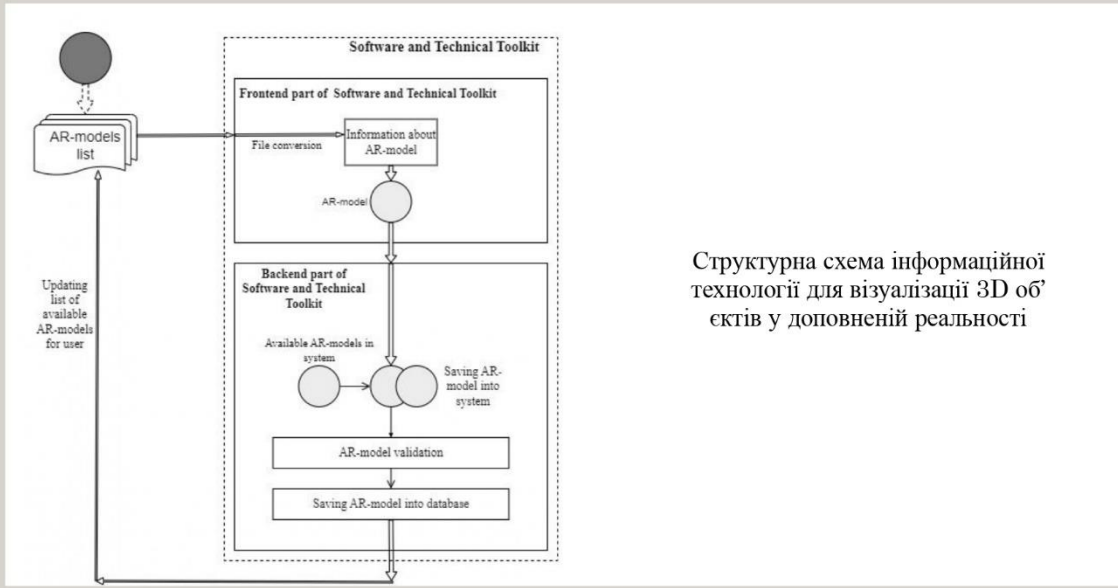
Алгоритм візуалізації моделей 3D об'єктів у доповненій реальності

Розділ 4. Розробка програмно-технічного засобу



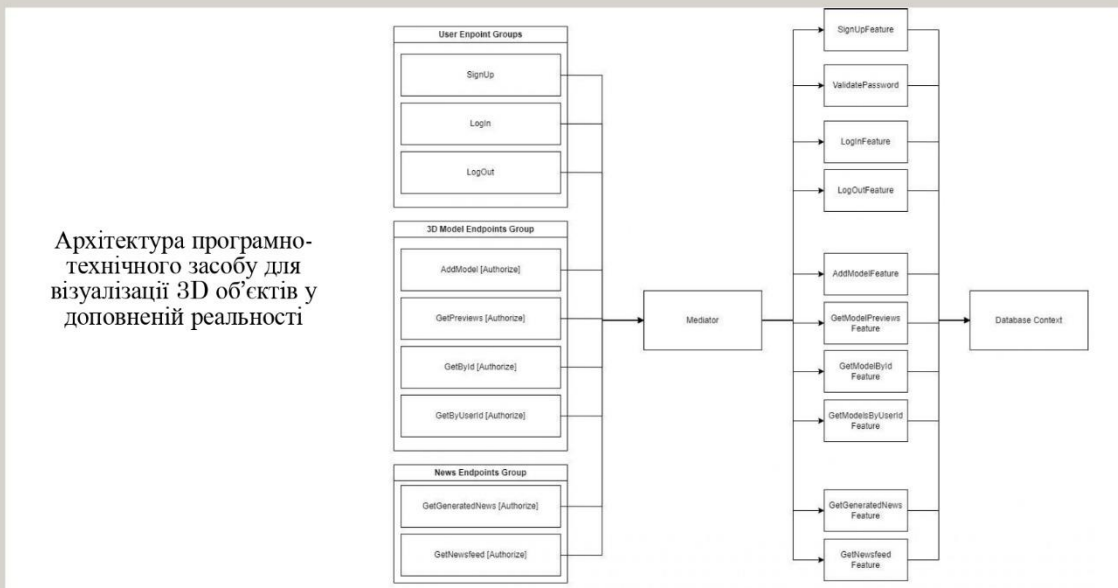
Сервіси, які були використані для розробки

Розділ 4. Розробка програмно-технічного засобу



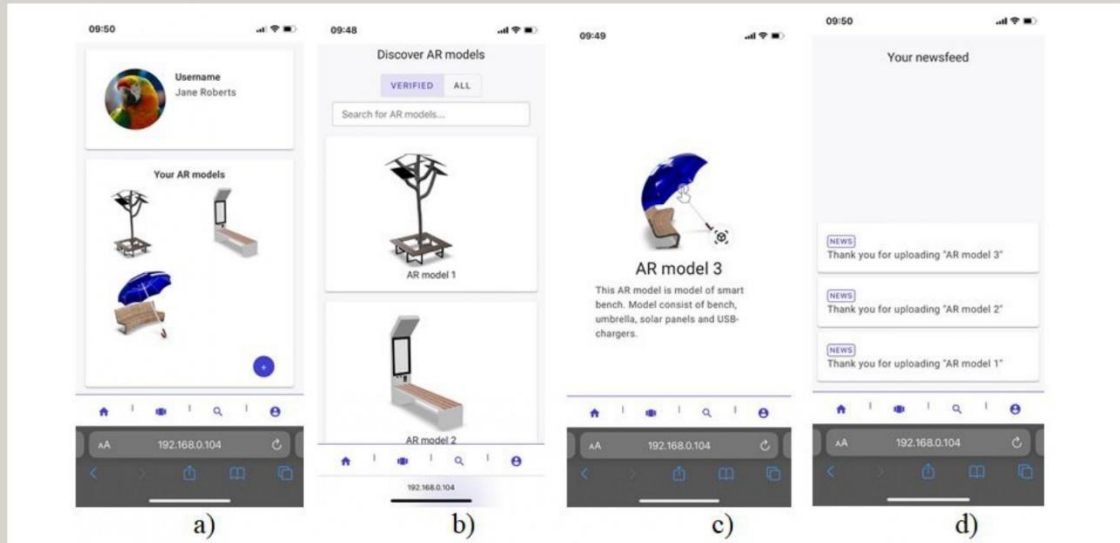
Структурна схема інформаційної технології для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності

Розділ 4. Розробка програмно-технічного засобу



Архітектура програмно-технічного засобу для візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності

Розділ 4. Розробка програмно-технічного засобу



Інтерфейсні вікна мобільного додатку для відтворення тривимірних моделей об'єктів у доповненій реальності

Принцип роботи



Вибір AR-моделі

Розміщення AR-моделі

Отримане фото

Експерименти



Апробація

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2022), було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інженерія» у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили (м. Миколаїв) та опубліковано тези. А також опубліковано англomовну статтю у журналі Комп'ютерні системи та інформаційні технології, яке входить до фахових наукових видань України категорії В.

Висновки

У ході магістерської роботи було проведено аналіз існуючих рішень у галузі доповненої реальності. А саме: було проаналізовано літературні джерела, наукові публікації та готові рішення у вигляді мобільних додатків для візуалізації об'єктів у доповненій реальності.

Також було проведено дослідження технологій та сфер застосування доповненої реальності та аспекти застосування доповненої реальності для візуалізації 3D-моделей об'єктів.

була розроблена інформаційна система для візуалізації моделей 3D об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку.

Пропонований програмно-технічний засіб використовує камеру пристрою як засіб візуалізації об'єкта та забезпечує швидке відтворення обраної з бази даних програми моделі в доповненій реальності в реальному розмірі та в режимі реального часу.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1015044832

Дата перевірки:
12.05.2023 06:54:15 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
12.05.2023 06:55:25 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Ковтонюк_Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальн...

Кількість сторінок: 79 Кількість слів: 11281 Кількість символів: 82349 Розмір файлу: 15.35 MB ID файлу: 1014732335

7.08% Схожість

Найбільша схожість: 3.08% з Інтернет-джерелом (https://kn.khmn.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn2022_corp..)

6.68% Джерела з Інтернету 78 Сторінка 81

3% Джерела з Бібліотеки 30 Сторінка 82

0% Цитат

Цитати 7 Сторінка 83

Посилання 1 Сторінка 83

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 3

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилоч в документах: 15%**

ID: 113293 Назва: МКР Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності Додано в БД: 2023-05-12 Автора: Ковтонюк М.О. Керівники: Павлова О.О. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	73389	582	1214 (2%)	15 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ковтонюк Микола Олексійович

Тема: Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності.

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 88 с.

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення візуалізації 3D моделей об'єктів шляхом застосування доповненої реальності.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовано галузь доповненої реальності, проведено огляд літературних джерел та виконано порівняльний аналіз існуючих рішень із застосуванням доповненої реальності для візуалізації тривимірних об'єктів. У другому розділі побудовано тестові тривимірні моделі у середовищі Blender для проведення експериментів щодо їх візуалізації у тривимірному просторі. А також досліджено функційні та нефункційні вимоги до пропонованої системи. У третьому розділі розглянуто принцип застосування технології доповненої реальності для відтворення 3D-моделей об'єктів у просторі та побудовано математичну модель візуалізації об'єкта у доповненій реальності. У четвертому розділі спроектовано архітектуру системи для візуалізації 3D-моделей об'єктів у доповненій реальності. Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмно-технічний засіб для візуалізації 3D об'єктів. Вперше розроблено метод застосування доповненої реальності для візуалізації 3D об'єктів. Вперше розроблено алгоритм для візуалізації тривимірних об'єктів у доповненій

Вперше розроблено алгоритм для візуалізації тривимірних об'єктів у доповненій реальності. Вперше розроблено програмно-технічний засіб для візуалізації моделей тривимірних об'єктів у доповненій реальності у вигляді кросплатформного мобільного додатку.

4. Позитивні сторони роботи: отримання трьох пунктів наукової новизни.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: німає

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно.

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Бернатюк Леонід Петрович, д.ф.м.н., професор, завідувач
кафедри Інженерії Програмного Забезпечення

"12" травня 2023 р.

(підпис)

Завідувачу кафедри КІС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Ковтонюка Миколи Олексійовича

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

29 квітня 2023 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Технологія та сценарії візуалізації 3D об'єктів у доповненій реальності

Автор: Ковтонюк Микола Олексійович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Павлова Ольга Олександрівна, д.ф, старший викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах (3.08%) є збіг з тезами доповіді до Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук» АПКН-2022 автора Миколи Ковтонюка "Метод та алгоритм відтворення 3D об'єктів за допомогою доповненої реальності", яка проходила 16-18 листопада 2022 року та матеріали якої було розміщено у відкритому доступі у мережі Інтернет;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості Unicheck, складає 7.08% і адресується до 108 першоджерел; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

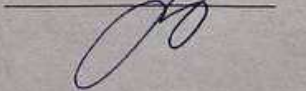
Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС


О. О. Павлова


О. С. Савенко


Т. О. Говорущенко