Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп’ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Метод інтерактивної візуалізації засобами доповненої реальності

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПм-22-5

Ні О.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність

123 «Комп’ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Кучук Г.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ _____ Коваленко А.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп’ютерної інженерії та управління

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 «Комп’ютерна інженерія»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
“____” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Ні Олегу В'ячеславовичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Метод інтерактивної візуалізації засобами доповненої реальності

затверджена наказом по університету від “ 01 ” квітня 2024 р. № 257 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 червня 2024 р.

3. Вхідні дані до роботи операційна система –Wi n do ws або Linux, технологія OpenGL

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі

1) Аналітичний огляд систем
2) Обґрунтування вибору засобів розробки доповненої реальності
3) Методика застосування засобів доповненої реальності
4) Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 15

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел-	02.04.24-08.04.24	
2	Вибір та обгрунтування методики дослідження	09.04.24-16.04.24	
3	Вибір інструментальних засобів	17.04.24-22.04.24	
4	Розробка моделей протоколів	23.04.24-06.05.24	
5	Проведення експериментів	07.05.24-23.05.24	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	24.05.24-03.06.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та	04.06.24-07.06.24	
	її попередній захист		
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензу-	08.06.24-12.06.24	
	вання		

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Кукук Г.А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 80 с., 42 рис., 1 табл., 3 дод., 16 джерел.

ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ, ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ТРЕКІНГ, ІНТЕРАКТИВНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ.

Предметом дослідження є моделі та методи підтримки технології доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів. Об’єктом дослідження є процес реалізації технології доповненої реальності в спеціалізованих системах для масового використання.

Метою дослідження є розробка методики застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, призначену для спеціалізованих систем масового використання.. Проведений аналітичний огляд систем, що використовують технологію доповненої реальності. Обґрунтований вибір засобів розробки доповненої реальності для спеціалізованих систем масового використання. Розроблена методика застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, орієнтовану на спеціалізовані системи масового використання. удосконалена методика застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів за рахунок вибору варіанта оптичного трекінгу, параметрів вибору технології тривимірної візуалізації та затінення.

ABSTRACT

Master’s thesis: 80 pages, 42 figures, 1 tables, 3 appendices, 16 sources.

VIRTUAL REALITY, AUGMENTED REALITY, TRACKING, INTERACTIVE VISUALIZATION.

The subject of research is models and methods of supporting augmented reality technology for interactive visualization of three-dimensional objects. The object of research is the process of implementing augmented reality technology in specialized systems for mass use.

The purpose of the research is to develop a methodology for using augmented reality tools for interactive visualization of three-dimensional objects, intended for specialized systems of mass use. An analytical review of systems using augmented reality technology was conducted. Reasonable selection of tools for the development of augmented reality for specialized systems of mass use. The technique of using augmented reality tools for interactive visualization of three-dimensional objects, focused on specialized mass-use systems, has been developed. an improved method of using augmented reality tools for interactive visualization of three-dimensional objects due to the selection of the optical tracking option, the parameters of the selection of three-dimensional visualization technology and shading.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 8
ВСТУП 9
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 12
1.1 Вдосконалення користувальницьких інтерфейсів за допомогою доповненої реальності 12
1.2 Концепція доповненої реальності 13
1.3 Можливості технології доповненої реальності 15
1.3.1 Візуалізація 16
1.3.2 Контекстні операції або тригери 17
1.3.3 Візуальні вказівки (асистування) 18
1.4 Візуалізація тривимірних об'єктів 19
1.5 Розвиток технологій трекінгу 23
1.6 Приклади застосування технології доповненої реальності 25
1.6.1 Система Sayduck 26
1.6.2 Система Augment 27
1.6.3 Система ViewAR 29
1.6.4 Результати порівняння застосунків 30
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 31
2.1 Формування напрямів дослідження 31
2.2 Підходи до реалізації процесу трекінгу 31
2.3 Особливості оптичного трекінгу 34
2.3.1 Дистанція розпізнавання маркера 36
2.3.2 Мінімізація дій користувача 37
2.3.3 Тип маркера 38

2.4 Особливості тривимірної візуалізації 39
2.4.1 Текстури об'єктів 40
2.4.2 Джерела освітлення та дифузна поверхня 41
2.4.3 Модель Фонга та перетворення зображення 43
2.4.4 Візуалізація та метод трасування променів 46
2.4.5 Вибір середовища розробки тривимірної візуалізації 48
3 МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ’ЄКТІВ 50
3.1 Загальна схема структури методики застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів 50
3.2 Питання реалістичного освітлення об'єктів і підходів до реалізації моделі освітлення 52
3.3 Візуалізація незалежної текстури затінення 54
3.4 Підходи для відбиваючої і блискучої поверхонь 57
3.5 Реалізація статичної падаючої тіні об'єктів 59
3.6 Зміна параметрів об'єкта в реальномучасі при візуалізації засобами доповненої реальності 60
ВИСНОВКИ 66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 68
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи 70
ДОДАТОК Б 79
ДОДАТОК В Окремий модуль шейдера, що враховує текстуру затінення 80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВК – віртуальний кластер

ВР – віртуальна реальність

ДВ – доповнена віртуальність

ДР – доповнена реальність

Мб – мегабайт

МВ – Майстер-вузол

ОВ – обчислювальний вузол

ОЗП – оперативний запам’ятовуючий пристрій

ОС – операційна система

ПЗ – програмне забезпечення

ПК – персональний комп’ютер

ФрМ – фрейм-маркер

AR – Augmented Reality

FrM – Frame Marker

MMD – Mini-Micro Designer

MPI – Message Passing Interface

SBC – Single Board Computer

SLAM – Simultaneous localization and mapping

ВСТУП

Людино-комп'ютерна взаємодія є областю науки, що у наш час динамічно розвивається. Постійне вдосконалення технологій наводить до можливості появи інноваційних парадигм користувача інтерфейсу.

Глобалізація віртуальної реальності призвела до введення у науковий обіг нового терміну «доповнена реальність». Якщо поточні технології інтерфейсів користувача сфокусовані здебільшого на взаємодії людини та комп'ютера, то доповнена реальність за допомогою комп'ютерних технологій пропонує вдосконалення інтерфейсу людини і реального навколишнього світу.

Доповнена реальність (AR) – сприймаєма змішана реальність, що створюється за допомогою комп'ютера з використанням «доповнених» елементів сприймаємої реальності, коли реальні об'єкти монтуються в полі сприйняття. Серед найбільш поширених прикладів доповненої реальності – паралельна лицьова кольорова лінія, що показує перебування найближчого польового гравця до воріт при телевізійному показі футбольних матчів, стрілки із зазначенням відстані від місця штрафного удару до воріт, «намальована» траєкторія польоту шайби під час хокейного матчу тощо.

Термін "доповнена реальність" був запропонований дослідником корпорації Boeing Томом Коделом (Tom Caudell) у 1990 році. Том Кодел вживав термін, описуючи цифрові дисплеї, які використовувалися для будівництва літаків. Працівники носили із собою портативні комп'ютери, де могли бачити креслення та інструкції за допомогою шоломів, що мали напівпрозорі дисплейні панелі. Існує кілька визначень доповненої реальності: Рональд Азума (Ronald Azuma) в 1997 року визначив її як систему, яка поєднує віртуальне та реальне; взаємодіє у реальному часі; функціонує у 3D.

Отже, сучасний етап досліджень доповненої реальності розпочався у 1990-х роках, але розвиток споживчої електроніки тільки зараз досяг рівня,

здатного забезпечити масове використання даної технології. Але як і будь-яка технологія, доповнена реальність має зворотний бік, особливо при спробах її масового використання. Від носіння AR-окулярів за цілий день дуже втомлюються очі, особливо це було помітно у ранніх версіях пристроїв; є незручність у використанні AR-окулярів через їхній громіздкий розмір, а також високу ціну таких пристроїв. Окуляри ж для широкої аудиторії, які дешевші і більш поширені (наприклад, Google Glass) — малопотужні, тому не можуть виконувати багатьох функцій, закладених в стандартні системи забезпечення технології доповненої реальності. Наприклад, технологію доповненої реальності можна використовувати при розробці дизайну інтер’єру будь-яких приміщень. Для кращого розуміння майбутнього втілення проекту дизайнер може використати AR-технологію як інструмент візуалізації, щоб дати замовнику можливість побачити віртуальний дизайн у реальному просторі, поекспериментувати та вибрати власний варіант із можливих варіантів інтер'єру. Але існуючі системи підтримки технології доповненої реальності є або громізкими, або дорогими, тому бажано мати спеціалізовану систему з обмеженою кількістю функцій.

Отже, спираючись на вищевикладене, науково-технічне завдання, спрямоване на розробку підходу до застосування технології доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів є актуальним.

Предметом дослідження є моделі та методи підтримки технології доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів.

Об’єктом дослідження є процес реалізації технології доповненої реальності в спеціалізованих системах для масового використання.

Метою дослідження є розробка методики застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, призначену для спеціалізованих систем масового використання.

Для досягнення мети повинні бути вирішені такі часткові завдання:

- провести аналітичний огляд систем, що використовують технологію доповненої реальності;

- обґрунтувати вибір засобів розробки доповненої реальності для спеціалізованих систем масового використання;
- розробити методику застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, орієнтовану на спеціалізовані системи масового використання;
- надати приклади застосування запропонованої методики.

Наукова новизна дослідження полягає в такому:

удосконалена методика застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів за рахунок вибору варіанта оптичного трекінгу, параметрів вибору технології тривимірної візуалізації та затінення, що надало можливість використання методики для спеціалізованих систем масового використання.

Практична цінність дослідження полягає в розширенні можливостей використання технології доповненої реальності для масового споживача.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Вдосконалення користувальницьких інтерфейсів за допомогою доповненої реальності

У розвитку інтерфейсу комп'ютерних систем виділяють три парадигми: пакетна обробка, інтерфейси командного рядка і графічний інтерфейс користувача. Пакетна обробка пов'язана з введенням певних даних у комп'ютер та очікуванням на результат. При цьому взаємодія не є інтерактивною. Так було з першими електронно-обчислювальними машинами, що з'явилися в середині XX століття. Програми і дані набивалися на перфокартах або перфострічках і передавалися на обробку. Результат потрібно було чекати до кількох годин або днів. Після приєднання до електронно-обчислювальних машин телетайпів став можливий інтерфейс командного рядка. Інтерфейс командного рядка – це парадигма інтерфейсу, при якої користувач взаємодіє з комп'ютером текстовими командами. Поява графічного інтерфейсу користувача на широкий ринок почалося у середині 1980-х, однак його створення відбулось набагато раніше.

Першим великим внеском в дослідження людино-комп'ютерного взаємодії в цілому вважається робота Ванневара Буша «Якби ми думали». У ній він вказує на проблеми структурування, зберігання та доступу до інформації і описує пристрій під назвою « Мемекс », покликане удосконалити ці процеси. Мемекс – це пристрій, в якому індивід зберігає всі свої книги і записи і листування, і яке механізовано так, що до нього можна звертатися швидко і гнучко. Надихнувшись ідеями Буша, інший видатний вчений Дуглас Енгельбарт починає роботу у цьому напрямі. У своїй роботі 1962 року він вказує, що використання комп'ютера у поєднанні з новими концепціями та методами є самим швидким способом підвищити інтелектуальну ефективність людини. У 1968 році проходить його знаменита

презентація, де він та його команда показують розроблені ними ідеї: гіпертекст, миша, курсор та багато інше. Компанія Xerox в 1970 році організовує дослідницький центр Xerox PARC. У його рамках дослідники в якості доповнення до лазерного принтера реалізують систему Alto. Вони вперше використовують поняття файлу, папки та інші компоненти сучасного графічного інтерфейсу користувача. Компанія Apple допрацьовує ідеї PARC для операційної системи комп'ютера Apple Lisa, випущеного в 1983 році. Графічні інтерфейси почали з'являтися і в продуктах інших компаній. Реальну популярність графічний інтерфейс для користувача набирає після виходу операційної системи Windows 95.Відмітимо недоліки сучасних інтерфейсів користувача і потенціал доповненою реальності для них вдосконалення.

Деякі дослідники вважають, що в тому, як відбувається розвиток комп'ютерних систем і, зокрема, інтерфейсів користувача, є серйозні недоліки [2, 3]. Здебільшого це пов'язують із ранньою комерціалізацією споживчих комп'ютерних систем. Починаючи з виходу графічних користувальницьких інтерфейсів на масовий ринок приблизно 40 років тому, взаємодія з комп'ютером не зазнала суттєвих змін. На цьому фоні багатообіцяючою виглядає концепція доповненої реальності. Як вказано в [4], поточні технології користувальницьких інтерфейсів мають фундаментальні обмеження і сфокусовані здебільшого на взаємодії людини і комп'ютера. Технологія доповненої реальності пропонує вдосконалення інтерфейсу людини та реального навколишнього світу. Вона дозволяє природним чином впровадити комп'ютери в діяльність людини, не відволікаючи від суті розв'язуваних завдань.

1.2 Концепція доповненої реальності

Доповнена реальність (ДР) (англ. Augmented Reality, AR) – це феномен просторово-часового континууму, що поєднує в собі об'єктивну та віртуальну

реальність і володіє рядом специфічних якостей і властивостей, недоступних в об'єктивній і віртуальній реальності окремо [5]. Більше поширений термін «віртуальна реальність» означає створення повністю штучного середовища, заміняючи людині всю аудіо-візуальну інформацію, що надходить з навколишнього світу. У випадку з доповненою реальністю інформація з навколишньої дійсності лише частково доповнюється якимось віртуальним вмістом. П. Мілграм і Ф. Кісіно в 1994 році описали «Континуум Реальність-Віртуальність» (рисунок 1.1) – простір між реальністю і віртуальністю, між якими розташована змішана реальність, що складається з доповненої реальності (ДР, ближче до реальності) і доповненої віртуальності (ДВ, ближче до віртуальності) [6].

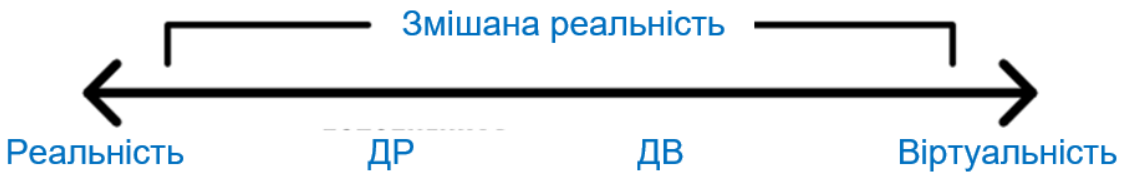


Рисунок 1.1 – Континуум «Реальність-віртуальність»

Доповнена реальність є результатом додавання до реальності додаткових об'єктів, які зазвичай відображаються як допоміжна інформація (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Схема доповненої реальності

Схема рисунка 1.2 відповідає визначенню Рональда Азуми у праці «Дослідження доповненою реальності» [7], в якій їм були сформульовані основні принципи, характерні для системи з доповненою реальністю:

- комбінування реального і віртуального;
- взаємодія в режимі реального часу;
- робота з тривимірним простором.

Таблиця 1.1 – Відмінності доповненої реальності від віртуальної

Віртуальна реальність	Доповнена реальність
Повністю цифрова: оточення, звуки та дії, що відбуваються навколо користувача, змодельовані розробниками	Поєднує реальний світ із цифровими елементами
Взаємодіє з користувачем: вбудовує їх у штучно створений світ. Наприклад, переносе геймера у світ комп'ютерної гри	Взаємодіє з навколишнім середовищем: вбудовує штучно створені об'єкти у світ навколо користувача. Наприклад, доповнює вітальню 3D-моделлю дивану
Для занурення у віртуальну реальність потрібні VR-шолом або спеціальні окуляри та контролер	Об'єкти доповненої реальності можна побачити через спеціальні AR-окуляри, камеру смартфона, планшета чи комп'ютера

У більш вузькому сенсі доповнену реальність можна визначити, як технологію інтеграції віртуальних об'єктів у реальний мир.

Відмінності доповненої реальності від віртуальної наведені в табл. 1.1.

1.3 Можливості технології доповненої реальності

Концепція доповненої реальності містить кілька аспектів:

1. Візуалізація.
2. Контекстні операції (тригери).
3. Візуальні вказівки (асистування).

1.3.1 Візуалізація

Доповнена реальність пропонує унікальні способи відображення візуальної інформації, зокрема візуалізації тривимірних об'єктів. Засобами ДР об'єкт може бути візуалізований безпосередньо у контексті його експлуатації. Прикладами можуть бути меблі, візуалізовані в інтер'єрі, рослини на присадибній ділянці, архітектурний об'єкт на місцевості (рисунок 1.3), комунікації у стіні будівлі тощо.

Рисунок 1.3 – Архітектурна візуалізація засобами ДР

Концепція доповненої реальності пропонує більш досконалий інтерфейс користувачу для візуалізації за рахунок сукупності способів управління і візуалізації. Управління ракурсом об'єкта здійснюється природними рухами голови користувача або пристрою і є зрозумілим та ефективним. Спосіб візуалізації тривимірного об'єкта шляхом суміщення його зображення з навколишньою обстановкою у відповідному ракурсі дозволяє краще сприймати об'єкт, його розміри (при умови відповідності масштабу) і, у деяких випадках, властивості матеріалів. При цьому, в на відміну від традиційних засобів візуалізації (ПЗ для 3d-моделювання), для візуалізації об'єктів засобами ДР не потрібно моделювання оточення.

Візуалізація засобами ДР може бути використана при прийнятті рішень в ході розробки, дизайну, при покупці. Також можливо успішне застосування ДР в освітніх цілях і інших сферах.

1.3.2 Контекстні операції або тригери

У разі контекстних операцій об'єкти реального світу, геопозиція чи положення у просторі використовуються користувачем як тригери для виклику релевантної операції. Наприклад, користувач, зосередивши погляд на принтері, бачить відображувану засобами доповненої реальності інформацію про те, скільки залишилося чорнила в картриджі. Тобто системою було визначено і відповідним чином опитано конкретний пристрій (принтер) і згідно отриманим данимибула відображена відповідна інформація. При цьому ця інформація, наприклад, у вигляді двовимірного зображення, розташована у просторі поряд з позицією принтера і сприймається людиною як частина тривимірної реальності, інтерактивно змінюючи перспективу.

Припустимо, що у полі зору користувача знаходиться не один, а два принтери. У цьому випадку системою також будуть визначені пристрої та буде відображена релевантна інформація. Важливо, що позиція відображення інформації сприятиме розумінню користувача, до якого саме пристрою вона відноситься.

Іншим прикладом може бути перегляд туристом у незнайомому місті інформації про навколишні визначні пам'ятки і інші цікаві об'єкти. При цьому в існуючих застосунках ДР тригером частіше всього виступає геопозиція і напрямок погляду користувача, визначений за допомогою магнітометра. Ще один реальний приклад стосується перегляду інформації про товари на полиці магазину (рисунок 1.4).

Таким чином, доповнена реальність надає унікальні засоби для виклику інформації поряд з відображенням.

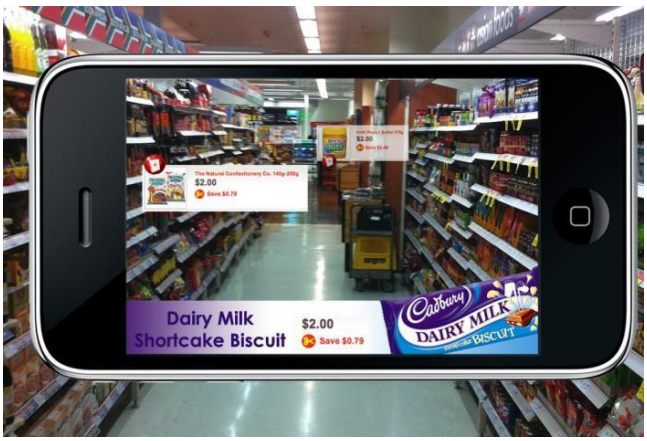


Рисунок 1.4 – Отримання інформації про навколишні об'єкти

1.3.3 Візуальні вказівки (асистування)

Завдання, пов'язані з візуальними вказівками, найчастіше мають на увазі який-небудь процес, що протікає, в ході якого система надає контекстно залежну інформаційну підтримку користувачеві. У цьому випадку система з ДР виступає як альтернатива чи доповнення до інструкцій. Прикладом може бути така операція, як процес заміни картриджа в принтері (рисунок 1.5).

Рисунок 1.5 – Інтерактивна інструкція для принтера

Засобами ДР може бути ефективно вказано місце розташування необхідного об'єкта і контекстно в тривимірному просторі проілюстровані операції, які необхідно здійснити. Такі візуальні вказівки можуть бути

призначені як для спеціалістів, так і для непідготовлених користувачів. Процес може бути покроковим. Наприклад, візуальною вказівкою є навігація на місцевості або всередині приміщень. Технологія доповненою реальності дозволяє візуально відобразити маршрут до обраного користувачем розташування (наприклад, відображаючи покажчики безпосередньо на дорозі, як показано на рисунок 1.6).

Рисунок 1.6 – Вказівки GPS-навігатора візуалізуються на дорозі

При цьому користувачеві не потрібно відволікатися на надруковані карти або екран навігатора, що є особливо корисним при управлінні транспортним засобом.

1.4 Візуалізація тривимірних об'єктів

Візуалізація є одним з ключових компонентів доповненою реальності і була обрана як основного об'єкта дослідження. Візуалізація засобами доповненої реальності може бути успішно застосована в ряді областей. Однак в якості орієнтирів у кваліфікаційній роботі були обрані дві такі області застосування:

– візуалізація об'єктів в інтер'єрі,

– ландшафтний дизайн.

В Європейському комп'ютерному дослідному центрі (User Interaction and Visualization group at European Computer-Industry Research Centre GmbH) як одна з областей дослідження доповненої реальності була вибрано область дизайну інтер'єру та розроблена система для колективного дизайну (рис. 1.7). З її допомогою кілька користувачів могли віддалено взаємодіяти з тривимірними віртуальними предметами, вбудованими в реальному часу в відеопотік, що надходить з камери.

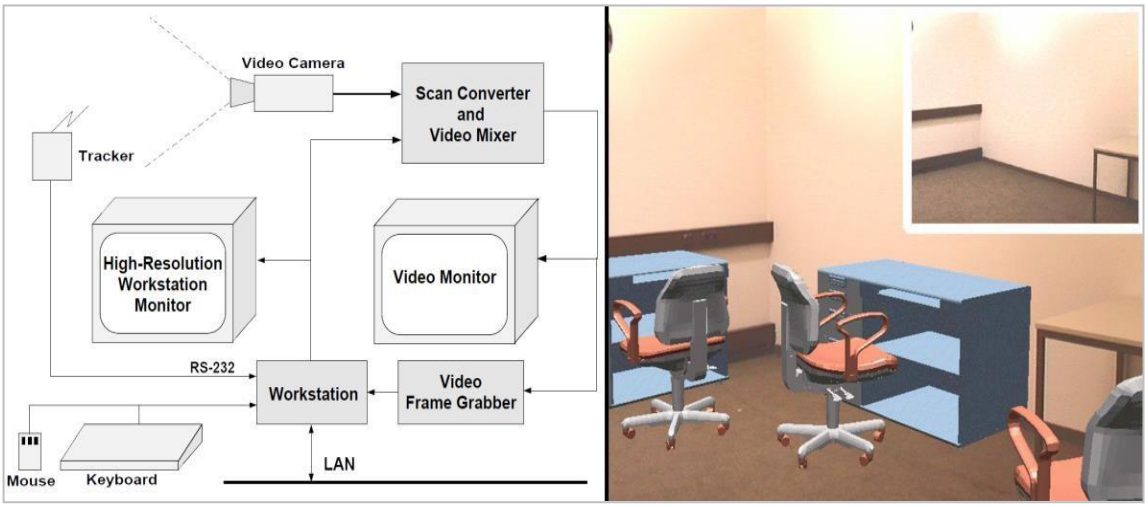


Рисунок 1.7 – Демонстрація роботи системи

Система була створено для демонстрації підходу до розробки колективної взаємодії. Але також була показано ефективність доповненої реальності для дизайну інтер'єру.

Ясумуро для цілей дизайну інтер'єру було запропоновано підхід інтерактивного розташування та візуалізації віртуальних об'єктів у реальному просторі шляхом маніпулювання фізичними тривимірними маркерами [8]. При даному підході для кожного віртуального об'єкта був необхідний індивідуальний маркер (рис. 1.8). До недоліків може бути віднесено те, що процес маніпулювання маркерами в масштабі більшому, ніж поверхня столу (наприклад, кімната) представляється трудомістким і неефективним. Також стосовно домашнього використання складно доставляти маркери запропонованого дизайну користувачам – це обмежує широке застосування.

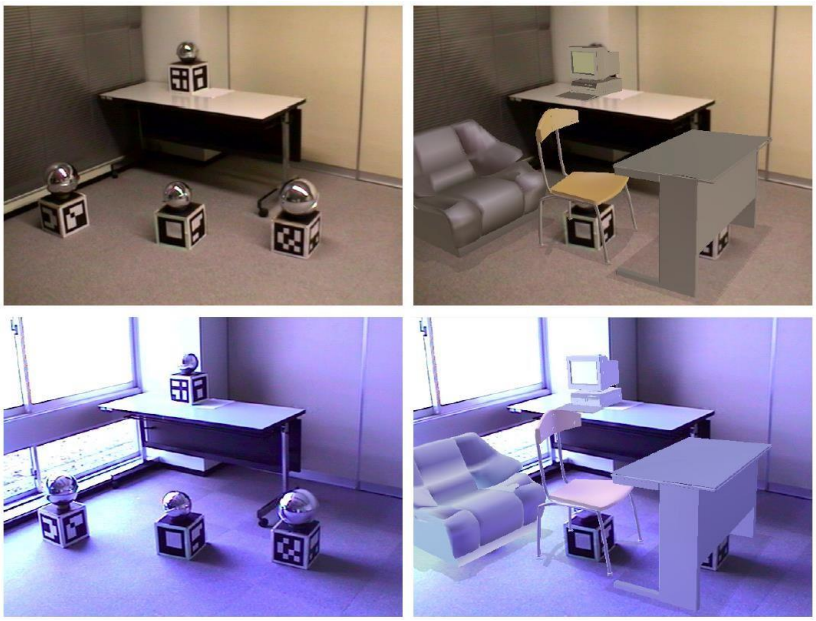


Рисунок 1.8 – Приклад: маркери дозволяють відновити інформацію про умови освітлення

У проекті ARIS розглянуто фотореалістичне вбудовування штучних цифрових об'єктів в фотографічне зображення [9]. Розроблено нові методики візуалізації з реалістичним освітленням, здатні працювати на загальнодоступному устаткуванні. У поєднанні з тим, що система може бути вбудована в веб-сторінку, це дозволяє поширення для широкого кола споживачів. Мінусом є те, що інтер'єр може бути переглянутий тільки з заздалегідь підготовлених і завантажених в систему ракурсів.

Застосунок KPS Click&Design, розроблений компанією Metaio, дозволяє вбудовувати віртуальні об'єкти меблів тільки в статичне зображення інтер'єру. Робота здійснюється за наступним алгоритмом. Користувачеві необхідно роздрукувати маркер і розташувати його у приміщенні. Далі потрібно зробити кілька фотографій за допомогою цифрового фотоапарата та завантажити їх у застосунок. Після успішного розпізнавання маркера на зображенні, користувач може вибирати цікаві для його моделі меблів і додавати їх на зображення. Зрозуміло, оскільки відомі положення та розміри маркера, об'єкти меблів автоматично вбудовуються в правильному ракурсі та масштабі (рисунок 1.9).

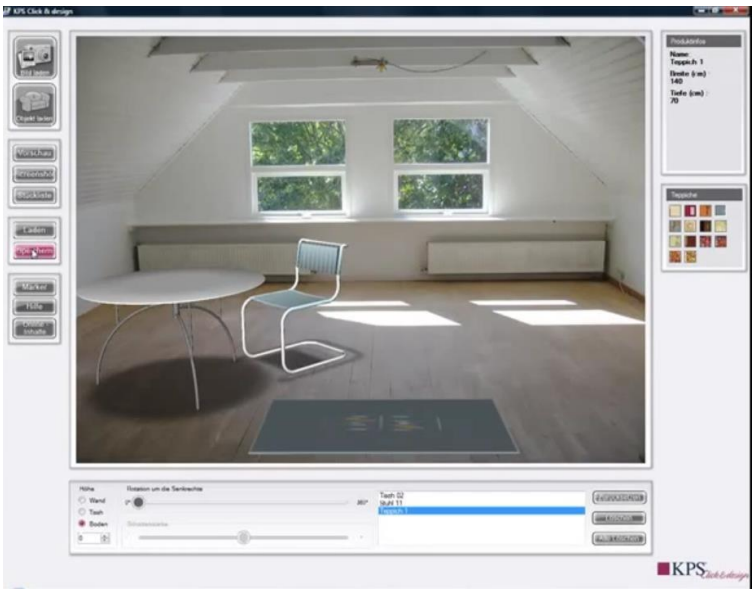


Рисунок 1.9 – Інтерфейс ПЗ KPS Click&Design

Аналогічна система розроблена С. Сілтаненом та Ч. Вудвордом [10]. Додано більше функціональності в користувальницький інтерфейс, а також зроблені інші вдосконалення, такі як функція стирання маркера із зображення і додавання світла і тіней. Джерела світла в даному випадку додаються та розташовуються користувачем вручну, а тіні генеруються автоматично. Недоліками системи є робота тільки зі статичними зображеннями інтер'єру, довгий процес занесення зображень у систему, низька реалістичність моделей та складний інтерфейс користувача (рисунок 1.10).

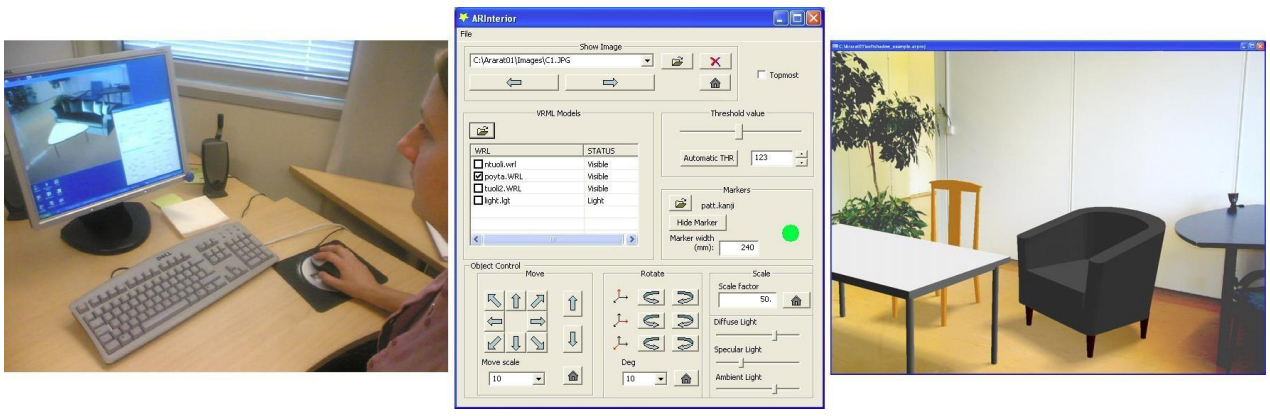


Рисунок 1.10 – Користувальницький інтерфейс і демонстрація системи [10]

Нобрега та Корейя запропонували систему, що дозволяє вбудовувати віртуальні об'єкти меблів у зображення інтер'єру користувача [11]. Головною відмінністю від попередніх систем є те, що на зображенні не потрібно наявність маркера, а геометричні параметри сцени визначаються за допомогою алгоритмів обробки зображення. Це, безперечно, полегшує роботу користувача. Однак у такій системі масштаб сцени може бути визначено тільки приблизно.

Багато досліджень пов'язано з мобільною доповненою реальністю [12–14]. Так, робота [15] присвячена безпосередньо перегляду великих тривимірних моделей за допомогою доповненої реальності на мобільному пристрої, з реалізованою оптимізованою клієнт- серверною архітектурою, при якій трекінг і тривимірна візуалізація виконуються на сервері, а зйомка оточення і демонстрація кінцевого зображення – на мобільному пристрої.

1.5 Розвиток технологій трекінгу

Трекінг – це складний процес, пов'язаний із відстеженням становища спостерігача щодо навколишньої обстановки. Він є однією з найважливіших складових в реалізації технології доповненої реальності. Вдосконаленням трекінгу займаються дослідники в різних сферах, пов'язаних з навігацією, робототехнікою, а також в системах віртуального оточення (віртуальної реальності). Однак порівняно з останніми до трекінгу для доповненої реальності пред'являються більш серйозні вимоги. Зокрема, необхідний більш високий рівень точності, збільшена дальність дії, а також робота з ширшим розмаїттям вхідних даних. Важливим є і те, що для реалізації технології доповненої реальності зазвичай необхідний трекінг в режимі реального часу, що також ускладнює поставлене завдання.

Для коректної візуалізації об'єктів в тривимірному просторі необхідний трекінг з шістьма ступенями свободи: три значення позиції у просторі (x, y, z) і три кута (поворот навколо відповідних осей) для визначення орієнтації. Для

рішення цього завдання застосовуються різні підходи та типи сенсорів.

Ще у 1968 році Сазерленд при розробці головного дисплея випробував два види трекінгу: механічний і ультразвуковий [16]. У першому варіанті дисплей був механічно з'єднаний зі стелею, що, природно, несло такі недоліки, як громіздкість і малу мобільність. При ультразвуковому трекінгу були застосовані 3 передавача, що перебувають на шоломі, і 4 приймача, розташовані по кутах від користувача. Даний спосіб трекінгу знаходить своє застосування до сьогодні.

Через 10 років Фредерік Рааб вперше застосував магнітні трекери, що вимірювали відстань всередині електромагнітних полів. Дані прилади також застосовуються і сьогодні та надали великий вплив на дослідження в області віртуальної і доповненої реальності.

Для широкого впровадження технології доповненої реальності потрібно коректна робота трекінгу на поширених споживчих пристроях. На сьогодні для таких пристроїв характерний обмежений обчислювальний ресурс, економія енергії та наявність найчастіше лише однієї RGB камери. Це обмежує коло можливих підходів, застосовних для реалізації трекінгу. У зв'язку з цим варто виділити оптичний трекінг, який має потенціал широкого застосування на споживчому ринку, так як для його роботи достатньо однієї камери без будь-яких спеціальних додаткових зовнішніх пристроїв.

Зазвичай коли говориться про оптичний трекінг, мова йде про систему доповненої реальності, в якій використовується камера, і зображення, що надходить з камери, використовується і як зображення об'єктивної реальності, і для обробки в цілях трекінгу. І в даному випадку здійснюється відстеження положення безпосередньо камери як спостерігача.

У 1996 році був представлений маркер для відстеження у вигляді двовимірного штрих-коду, котрий став дуже широко застосовуватися в роботах по доповненій реальності. Це була одна з перших маркерних систем, що дозволяла здійснювати трекінг з шістьма ступенями свободи за допомогою камери. Однак незважаючи на всі переваги, такі як швидкість

розпізнавання, простота створення і поширеність, система зі штрих-кодами має і недоліки. Так, трекінг перестає функціонувати при закритті навіть невеликої області маркера. Існують також інші недоліки, які будуть детальніше розглянуті у наступному розділі кваліфікаційної роботи. Пропонувалися також і інші системи маркерів, що не отримали аналогічного поширення.

У цілому трекінг на основі маркерів надає баланс між доступністю для масового споживача та функціональними можливостями (трекінг з шістьма ступенями свободи). Але, слід зауважити, що важливим також є не тільки вдосконалення технологій трекінгу, а й зручність їх інтеграції у рішення розробників доповненої реальності.

1.6 Приклади застосування технології доповненої реальності

У розглянутих системах в першу черга оцінювалась реалістичність візуалізації. Такі базові параметри як кількість полігонів на екрані або роздільна здатність текстур моделей для всіх досліджених систем загалом перебувають на одному рівні, і тому не враховувалися. Проте системи мають різні підходи до організації освітлення тривимірних об'єктів.

Як відомо, візуальна інформація з навколишнього світу надходить до людського ока за допомогою світла. Фотони, що випускаються джерелом освітлення, відбиваються від об'єкта, потрапляють на сітківку ока і таким чином візуальна інформація потрапляє у мозок – об'єкт стає видимим. Таке освітлення називають спрямованим чи прямим. Однак, крім тих, що надійшли безпосередньо від джерела світла на об'єкт, потрапляють фотони, відбиті від інших об'єктів. Таке освітлення називають розсіяним або глобальним. Саме моделювання глобального освітлення істотно підвищує реалістичність комп'ютерної візуалізації. Виходячи з цього, слід врахувати, наскільки якісно системами проводиться реалізація затінення по алгоритмах світового освітлення.

Важливо, що при реалізації технології доповненої реальності потрібно не тільки реалістична візуалізація віртуальних об'єктів, але й їх реалістична інтеграція у реальне середовище. Така реалістичність може бути суттєво підвищена за рахунок використання падаючої тіні об'єктів, що відкидається на поверхню у реальному середовищі. Важливою є також підтримка системами, що відбивають матеріали на основі металів, пластику, скла тощо

Аналізувалися також функціональні можливості систем: зміна параметрів візуалізованих об'єктів в реальному часу, функції маніпуляції об'єктами в просторі, можливості роботи одночасно з декількома моделями, функція призупинення відеопотоку, а також кількість підтримуваних операційних систем. Не менше важливим є організація графічного інтерфейсу користувача системи, від якої залежить загальна швидкість і ефективність взаємодії.

1.6.1 Система Sayduck

Застосунок на базі системи фінської компанії Sayduck був розроблений для меблевої фірми НЕМ. Він дозволяє виробляти візуалізацію засобами доповненої реальності чотирьох предметів меблів: стільця, табурету та двох столів.

На рисунку 1.11 представлений знімок екрана під час роботи системи Sayduck. У системі використано деякі елементи затінення за алгоритмами глобального освітлення. Тінь, що падає, ледь помітна. Оскільки середовищем розробки є Unity існує можливість реалізації відбиваючих матеріалів моделей.

Функціональність застосунку обмежена. Одночасно може бути візуалізований тільки один об'єкт. Можливість перемістити або повернути об'єкт, що дозволяє збільшити дистанцію візуалізації, відсутня. Для цього користувачеві пропонується фізично переміщати зображення-маркер. Також відсутня вункція призупинення відеопотоку.

Рисунок 1.11 – Приклад роботи системи Sayduck

У застосунку передбачено функцію зміни колірного відтінку матеріалу поверхні. Але у застосунку є лише три кольори. Однак розглядаються лише об'єкти, які виконані з одного матеріалу, що спрощує завдання. Зміна параметрів складових об'єктів з різнорідними текстурами вимагатиме інших методичних і алгоритмічні підходи.

Швидкість взаємодії з графічним інтерфейсом користувача знаходиться на середньому рівні. Загалом застосунок має опрацьованість на рівні прототипу. Іноді трапляються і збої у роботі, а кількість доступних для візуалізації моделей дуже мала.

1.6.2 Система Augment

Система Augment однойменної французької компанії розроблена з використанням власного рішення щодо візуалізації і орієнтована на додавання моделей користувачами. У зв'язку з цим є серйозні обмеження під час підготовки тривимірних моделей, що негативним чином впливає на реалістичність візуалізації. У системі застосовуються стандартні засоби освітлення, внаслідок чого об'єкти виглядають плоско та нереалістично (рисунок 1.12).

Рисунок 1.12 – Приклад візуалізації моделі у системі Augment зі стандартним освітленням (модель виглядає нереалістично)

Реалізовано динамічну падаючу тінь. Вона прораховується в реальному часу, і, відповідно, якість є низькою. Така тінь має дуже спрощений характер, виглядає малореалістично і має артефакти, пов'язані з відсутністю будь-якого згладжування або розмиття (рисунок 1.13).

Рисунок 1.13 – Фрагмент скріншоту системи Augment у реальному розмірі (на текстурі моделі є артефакти, краї падаючої тіні не згладжені, помітні окремі пікселі)

У системі відсутня можливість візуалізації будь-яких відбиваючих поверхонь, таких як метал, пластик або скло. Зміна будь-яких параметрів об'єктів не передбачена. Можлива візуалізація одночасно кількох моделей на екран. Присутня функція призупинення відеопотоку. Для зміни положення і обертання об'єктів також використовуються жестові методи. При цьому обертання здійснюється не жестом «качання двома пальцями та обертання», а переміщенням двох пальців одночасно. Також реалізована функція зміни масштабу, але при цьому фіксується суттєве падіння частоти кадрів. Швидкість взаємодії з інтерфейсом в середньому знаходиться на хорошому рівні.

Незважаючи на популярність даної системи, процеси підготовки і візуалізації моделей ще можуть бути суттєво вдосконалені.

1.6.3 Система ViewAR

На базі австрійській системи ViewAR було розроблено кілька подібних застосунків для візуалізації різних об'єктів в реальній обстановці. У деяких з них використовується трекінг лише на основі датчиків положення пристроїв, що позначається на функціональності (рисунок 1.14).

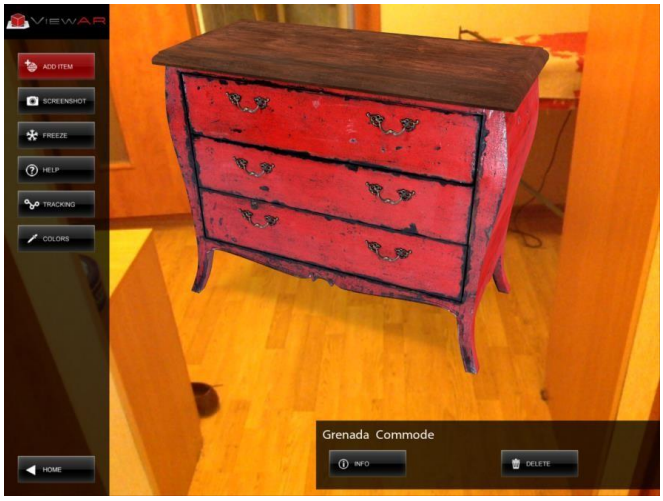


Рисунок 1.14 – Інтерфейс системи ViewAR (модель виглядає плоскою через особливості схеми освітлення)

Реалістичність моделей даної системи декілька різниться. Взагалі, освітленість, якість текстур і тіней знаходиться на середньому рівні. У деяких моделях присутні елементи затінення по алгоритмах глобального освітлення і падіння тіні. Частково реалізована можливість візуалізації відбиваючих матеріалів. Для деяких моделей передбачена зміна матеріалів. Однак логіка реалізації вимагає завдання користувачем матеріалу окремо для кожної частини складного об'єкта. Наприклад, якщо диван складається з 15 складових, необхідно здійснити 30 кліків, щоб змінити матеріал всього об'єкта.

Присутня можливість візуалізація одночасно кількох моделей на екрані. Реалізовано функцію призупинення відеопотоку. Перехід між екранами в графічному інтерфейсі системи здійснюється з деякими затримками.

1.6.4 Результати порівняння застосунків

З результатів порівняння проаналізованих застосунків, які використовують інтерактивну візуалізацію засобами доповненої реальності, в першу чергу очевидні явні недоліки в питаннях реалістичного відображення об'єктів. Для їх усунення необхідно переглянути методики організації освітлення та попередньої підготовки тривимірних моделей.

Важливим питанням є дослідження підходів по реалізації функціональних можливостей доповненої реальності. Так, наприклад, в процесі візуалізації в реальному часу можуть бути змінені різні параметри об'єкта, такі як колір, матеріал, стан. Ні одна з розглянутих систем не передбачає простої та швидкої зміни параметрів складних складових об'єктів.

Слід відмітити, що у більшості подібних застосунків організація користувальницького інтерфейсу систем з візуалізацією засобами доповненої реальності загалом перебуває не на високому рівні. Отже необхідно виробити практичні рекомендації по проектуванню користувальницьких інтерфейсів.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

2.1 Формування напрямів дослідження

Сучасна технічна база дозволяє одночасно вирішити два головних недоліка систем доповненої реальності, пов’язаних з відсутністю мобільності та масового поширення. При цьому для забезпечення масового поширення також необхідний відповідний підхід до проектування інтерфейсу користувача, що дозволяє застосовувати програмне забезпечення без спеціальною підготовки.

Відповідно, треба вдосконалювати методики і алгоритми інтерактивної візуалізації засобами доповненої реальності за такими напрямами:

- масова доступність, тобто масове використання технології доповненої реальності; в якості платформ для застосування треба розглядати сучасні масово доступні гаджети, що мають можливості для реалізації даної технології, а рішення питань організації взаємодії з користувачами треба розробляти з урахуванням вимог користувачів без спеціальною підготовки;
- реалістичність, тобто для повноцінної реалізації технології доповненою реальності, віртуальні об'єкти повинні бути інтегровані в реальну середа максимально реалістично; при цьому слід зауважити, що у більшості випадків основною перешкодою є обмежені апаратно-обчислювальні можливості масових пристроїв;
- функціональність, тобто необхідно найповніше розкривати потенціал технології доповненої реальності при вирішенні практичних задач.

2.2 Підходи до реалізації процесу трекінгу

Важливо відзначити, що станом на сьогоднішній день розробки в області трекінгу досягли того рівня, коли є можливість дуже точного

відстеження позиції і рухів людини, однак, як правило, це досягається використанням багатьох спеціальних засобів, будь то трекери руху, спеціальні відбивачі або певна кількість особливо розташованих камер. У даному дослідженні розглядається застосування технології доповненої реальності на масовому ринку, з використанням засобів, доступних рядовому споживачеві. Внаслідок цього, багато підходів до трекінгу не можуть бути застосовані.

Існує кілька можливих підходів до реалізації трекінгу на масових пристроях. Є підхід, при якому функціонал трекінгу не реалізується. В даному випадку складається якийсь колаж із зображень об'єктів (наприклад, предметів інтер'єру). При цьому фоном може виступати як відеопотік з камери, так і статичне зображення. До позитиву можна віднести те, що від користувача не потрібно особливих попередніх дій для роботи з програмним забезпеченням. Однак вихідне зображення виходить низько реалістичним внаслідок невідповідності ракурсу об'єкта із реальним оточенням. У користувача викличе великі складності підстроювання масштабу до відповідності з реальним. Як слідство, буде відсутнє правильне сприйняття габаритів об'єкта. Також, так як частіше всього використовується звичайне двомірне зображення, немає можливості оглянути об'єкт зі всіх сторін під різними ракурсами. Отже, реалізовані таким чином програми не задовольняють одному з основних принципів доповненої реальності: роботи у тривимірному просторі. Дані аспекти зменшують споживчу цінність подібного підходу.

Другим підходом є імплементація трекінгу на основі датчиків прискорення і положення пристрою. Такий спосіб дозволяє реалізувати трекінг з трьома ступенями свободи: нахил пристрою по трьох осях. Однак у цьому випадку відсутні дані про зміщення пристрою в просторі. Це означає, що відстань від камери до об'єкта залишається невідомою. На практиці це сприяє відображенню об'єкта в некоректному масштабі, що є серйозним недоліком для доповненої реальності. При переміщенні користувача

об'єкт також переміщається, якби прикріплений до камери. Але навіть якщо користувач не змінює позицію, присутня неточність в ракурсі об'єкта пов'язана з висотою, на якій знаходиться пристрій: вона визначається або приблизно, виходячи з людського росту, чи статично задається вручну.

Третім підходом є оптичний трекінг. Він є найбільш функціональним порівняно з попередніми варіантами, тому що надає трекінг з шістьма ступенями свободи, що дозволяє реалізувати повноцінну доповнену реальність і найбільш точно вписати віртуальний об'єкт в реальне оточення з дотриманням коректного масштабу та ракурсу. Для задовільного функціонування оптичного трекінгу достатньо однієї камери, якою оснащені більшість сучасних масових пристроїв. А алгоритми оптичного трекінгу, заснованого на маркерах, добре оптимізовані, дозволяючи досягти інтерактивної частоти зміни кадрів. Головним мінусом є те, що в більшості реалізацій для роботи необхідний додатковий зовнішній маркер для відстеження.

Існують також різні підходи, при яких здійснюється трекінг природних точок без необхідності використання зовнішнього маркера. Однак до їх недоліків відносяться високі вимоги до продуктивності апаратури. В якості альтернативи можуть бути використані заздалегідь відомі тривимірні моделі об'єктів.

Найбільш просунуті алгоритми працюють за технологією одночасної навігації і складання карти (Simultaneous localization and mapping – SLAM). Вони дозволяють працювати в реальному часі без маркера, формуючи тривимірну модель оточення безпосередньо в процесі трекінгу. Однак коректне відображення масштабу можливе лише внаслідок ручного введення або також за допомогою заздалегідь відомого маркера певного розміру.

Кожен з викладених підходів має певні переваги і недоліки. Однак з метою дослідження був застосований оптичний трекінг на основі маркерів, як найбільш функціональний для масового використання доповненої реальності.

2.3 Особливості оптичного трекінгу

Для пошуку у відеопотоці спеціальних маркерів у області доповненої реальності використовуються алгоритми комп'ютерного зору. Пошук заданого об'єкта на відео по суті зводиться до пошуку на статичному зображенні, так як відеофайл є послідовністю кадрів (зображень), лише з тим відмінністю, що він здійснюється багаторазово для деякої кількості кадрів.

У залежності від завдання в якості маркера можуть виступати як спеціально сформовані зображення, так і, наприклад, обличчя людей. Після перебування маркера в відеопотоці і обчислення його розташування, з'являється можливість побудови матриці проекції та позиціонування віртуальних моделей. За допомогою їх можна накласти віртуальний об'єкт на відеопотік з дотриманням ракурсу та перспективи. Основна складність полягає саме в тому, щоб знайти маркер, визначити його місце в кадрі та спроектувати відповідним чином віртуальну модель.

На сьогоднішній день створена велика теоретична база у сфері обробки зображень та пошуку на ньому різних об'єктів. Насамперед, це стосується методів визначення характерних чорт (feature detection) та згорткових нейронних мереж. Як особливості можуть бути використані ізольовані точки, криві, різні пов'язані області. Не існує строгого визначення того, що таке ключова риса зображення. Кожен алгоритм розуміє під цим своє (кути, грані, області і т.п.). Найчастіше для пошуку маркерів використовуються алгоритми, які виконують пошук і порівняння зображень по ключових точках. Ключова точка – це деяка ділянка картинки, яка є характерною для заданого зображення. Для їх знаходження та наступного порівняння використовуються три складові:

- детектор (feature detector) – здійснює пошук ключових точок на зображенні;

- дескриптор (descriptor extractor) – здійснює опис знайдених ключових точок, оцінюючи їх позиції через опис навколишніх областей;

- матчер (matcher) – здійснює побудову відповідностей між двома наборами точок.

За допомогою детектора здійснюється пошук ключових точок шаблонного (шуканого) зображення. Отримані точки потім описуються за допомогою дескриптора. Дана інформація зберігається в окремому файлі (або базі даних), щоб не виконувати даний процес повторно. При обробці відеопотоку описаний процес виконується для кожного кадру. Для встановлення відповідності між ключовими точками та дескрипторами застосовується матчер.

Для підвищення швидкості роботи алгоритмів визначення ключових точок застосовуються різні способи фільтрації точок в цілях мінімізації їх числа та відсіювання з’єднань низької якості. Таким чином, можна домогтися не тільки підвищення швидкості роботи алгоритмів, але і якості трекінгу маркерів.

Розглянемо можливі засоби для реалізації оптичного трекінгу, заснованого на маркерах. Існує багато фреймворків з набором модулів з обробки та аналізу зображень, відеопотоку, пошуку шаблонів і об'єктів, класифікаторами і іншими функціями, наприклад, AForge.NET, VXL, Integrating Vision Toolkit, ViSP та багато інших. Для доповненої реальності у якості движка для трекінгу можна обрати платформу фірми Qualcomm – Vuforia. Дана розробка має такі плюси:

До плюсам Vuforia можна віднести таке:

- підтримка різних типів маркерів,
- характеристики трекінгу на рівні комерційних аналогів,
- зручність використання,
- велика спільнота розробників,
- відмінна інтеграція з ігровим двигуном Unity,
- безкоштовне поширення (але є вимога обов’язкового відображення логотипу Vuforia в правом нижньому кутку екрану.

Окремо розглянемо особливості реалізації оптичного трекінгу, заснованого на маркерах, для роботи з моделями великого розміру.

2.3.1 Дистанція розпізнавання маркера

У зв'язку з тим, що доволі часто необхідна робота з об'єктами великих розмірів, таких як предмети меблів, масштаб повинен бути збільшений. Для роглядаємих у кваліфікаційній роботі випадків слід говорити про збільшення масштабу як мінімум до середнього розміру кімнати. Для реалізації цих цілей необхідно забезпечити коректне функціонування трекінгу на великій дистанції.

Розробники програмного забезпечення для трекінгу Vuforia заявляють, що співвідношення максимальної дистанції для розпізнавання та коректної роботи маркера для його розміру має бути приблизно 10 до 1. Відповідно, для визначення необхідного розміру маркера можна використовувати формулу: $s = 10 \cdot c$, де s – дистанція, c – діагональ або сторона маркера (рисунок 2.1).

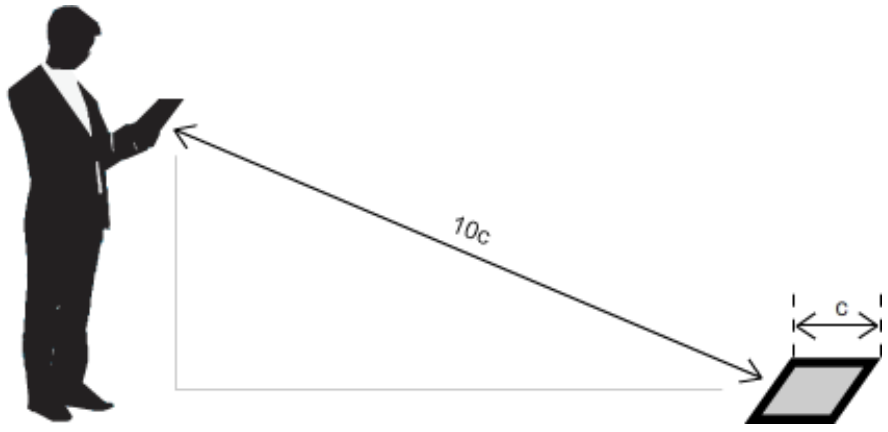


Рисунок 2.1 – Співвідношення розміру маркера і дистанції розпізнавання

Однак обов'язково необхідно враховувати, що ця величина приблизна і залежить від багатьох факторів, таких як:

- умови освітлення при роботі програми;
- чутливість сенсора камери пристрою;

- режим фокусування камери;
- рисунок маркера;
- кут нахилу камери.

2.3.2 Мінімізація дій користувача

У багатьох дослідженнях застосовуються підходи, при яких перед коректним функціонуванням трекінгу необхідно виконати підготовчий етап. Зазвичай він полягає в тому, щоб заздалегідь ввести будь-яку інформацію про навколишню обстановку (наприклад, про приміщення) в систему. Це можуть бути тривимірні моделі приміщення або окремих об'єктів, інформація про освітлення або інші дані. Але досвід показує, що для споживачів необхідний мінімум початкових налаштувань, особливо коли вони не знайомі з технологією і не знають, які переваги вона несе.

Таким чином, варіанти з застосуванням кількох маркерів, прикріплених спеціальним чином до підлоги і стін, які збільшують кількість ракурсів, за яких у поле зору камери потрапляють маркери, треба відкинути, тому що для користувача процес виготовлення та прикріплення до стін кількох маркерів буде занадто трудомісткий. Щоб мінімізувати дії користувача, необхідні для початку роботи із застосунком доповненої реальності, пропонується рішення, при якому використовується один маркер, розташований горизонтально на підлозі. Краще обрати стандартний розмір маркера, відповідний формату А4, для зручності друку на простому принтері (чорно-білому або кольоровому). При діагоналі маркера 364 мм, приблизна відстань розпізнавання дорівнює 3640 мм, що достатньо для масштабів середньої кімнати. Однак внаслідок складних умов освітлення або великого кута нахилу маркера щодо камери, відстань може зменшуватись. Крім простоти виготовлення маркера, до переваг даного рішення відноситься мобільність, тобто користувач має можливість оперативно змінити місце для роботи, наприклад, перейти до іншого приміщення.

При такому методі трекінгу взаємодія буде виглядати наступним чином:

- користувач кладе зображення-маркер на поверхню підлоги;
- користувач наводить камеру пристрою на маркер;
- при успішному розпізнавання маркера на планшеті відображається навколишня обстановка з впровадженим віртуальним об'єктом.

2.3.3 Тип маркера

Вибраний компонент для трекінгу надає можливість роботи з маркерами двох типів, що підходять під сформульовані вимоги: фрейм-маркери і маркери на основі трекінгу особливостей зображення (feature trackin). Фрейм-маркери (frame markers) представляють собою квадратне зображення, що обрамлене чорно-білою рамкою з закодованим числом (від 0 до 511) (рисунок 2.2). Усередині рамки може бути розміщено будь-яке зображення. Перевагами даного типу маркерів є висока швидкість та дистанція розпізнавання. Однак основним недоліком є те, що неповне попадання маркера в поле видимості камери (наприклад, невелика область перекрито чимось) призводить до неможливості розпізнавання. Також трекінг функціонує некоректно при куті нахилу маркера щодо камери більше 10°.

Рисунок 2.2 – Фрейм-маркер

Маркери на основі трекінгу особливостей зображення (рис. 2.3) показують меншу дистанцію роботи, але залишаються розпізнаваними навіть при видимій області 50% і менше.

Рисунок 2.3 – Маркер на основі трекінгу особливостей зображення

Для збільшення дальності розпізнавання маркери такого типу повинні містити добре помітні з далекої відстані ділянки.

2.4 Особливості тривимірної візуалізації

Найважливішим компонентом доповненою реальності поряд з трекінгом є візуалізація об'єктів, яка зазвичай здійснюється засобами тривимірної комп'ютерної графіки. Поверхні тривимірних об'єктів у комп'ютерній графіці здебільшого зображуються за допомогою деякої множини трикутників, з'єднаних один з одним своїми вершинами і спільними сторонами. Такі множини називаються трикутними розбиттями (Triangular meshe).

Трикутне розбиття (або мережа) може бути задано перерахуванням трикутників (трійок вершин), з яких воно складається, і координатами вершин у тривимірному просторі. Багато програм, працюючих з тривимірною графікою, зберігають додаткову інформацію, пов'язану з

вершинами, сторонами і поверхнями трикутників, для підтримки текстур, тіней, анімації та інших операцій. Найчастіше для прив'язування параметрів поверхні використовують вершини – на них задають властивості матеріалу поверхні, координати текстури, інтенсивність випромінювання. Ці параметри потім лінійно інтерполюють на кожному трикутнику для завдання безперервної функції на всій поверхні.

2.4.1 Текстури об'єктів

Під текстурою розуміють специфічні зміни тону (кольору) в зображенні об'єкта або його деякої частини. До текстури відносять також наявність на зображенні характерних ліній. Текстура може представляти упорядковану зміну тону в вигляді геометрично правильних чи майже правильних рисунків. Подібну текстуру мають, наприклад, цегляна кладка, кахельне облицювання, спеціально розфарбовані поверхні: шахівниця, пішохідний перехід і т.д. Інший тип – стохастичні текстури. Вони властиві природним об'єктам і, як правило, є наслідком шорсткості спостережуваних об'єктів.

Одним з основних принципів формування текстури зображення є перенесення регулярного або стохастичного рисунку на поверхню об'єкта. Для нанесення рисунка необхідно вирішити завдання перетворення систем координат. Якщо рисунок заданий в просторі текстури в системі координат (u, v), а поверхня – в системі координат (θ, φ) , то для перенесення рисунка потрібно знайти чи задати функцію відображення одного простору в інший, тобто. визначити співвідношення

$$\theta = f(u,v),\ \varphi = g(u,v) \quad \text{або} \quad u = r(\theta,\varphi),\ v = s(\theta,\varphi). \qquad (2.1)$$

Для поверхонь, заданих трикутними сітками, координати текстури (u, v) задаються на кожній вершині сітки (рисунок 2.4).

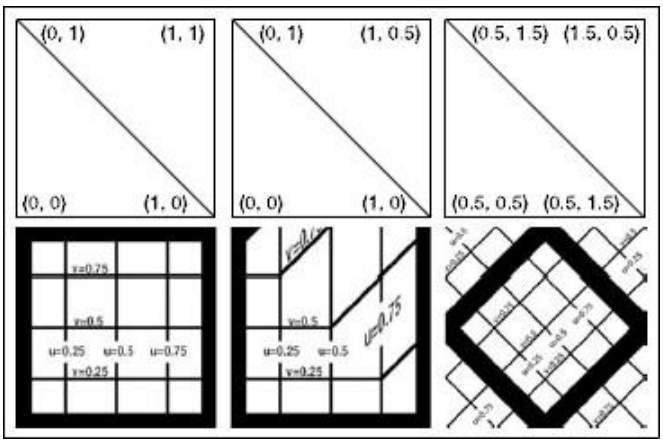


Рисунок 2.4 – Вплив (u, v) -координат на текстурування

Якщо трикутник заданий за допомогою барицентричних координат (β, γ) , то координати (u, v) можуть бути інтерпольовані аналогічно тому, як інтерполюються координати внутрішніх точок трикутника. Так, внутрішня точка трикутника в барицентричних координатах (β, γ) задається таким чином:

$$\overline{p}(\beta,\gamma)=\overline{a}+\beta\left(\overline{b}-\overline{a}\right)+\gamma\left(\overline{c}-\overline{a}\right), \tag{2.2}$$

де $\overline{a}$, $\overline{b}$, $\overline{c}$ – вектора, задають вершини трикутника.

2.4.2 Джерела освітлення та дифузна поверхня

Найважливішу роль в тривимірній графіці грає освітлення. Для його симуляції застосовують моделі джерел освітлення, моделі поверхонь та інші засоби. Існує 4 стандартних типи джерел освітлення:

1.Розсіяний (ambient).

2.Спрямований (directional).

3.Точковий (point).

4.Конусний (spot).

Розсіяне (або основне) світло представляє собою низько інтенсивне світло, яке обумовлюється відображенням світла, що випромінюється будь-

якими джерелами освітлення від найближчих поверхонь. Його використання дозволяє уникнути великої кількості розрахунків відбитого світла. Розсіяне світло використовується для завдання загальної яскравості, наприклад, сцени. Воно поширюється у всіх напрямках з однаковою інтенсивністю, поступово висвітлюючи все поверхні.

Спрямоване джерело освітлення також відоме як нескінченно віддалене. Це одне джерело, що випромінює промені у певному напрямку із нескінченно віддаленої точки (рисунок 2.5).

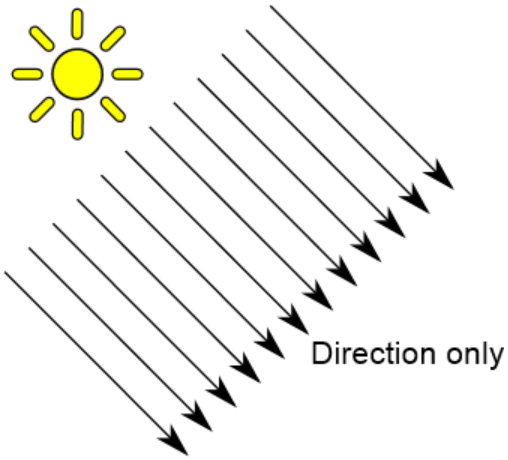
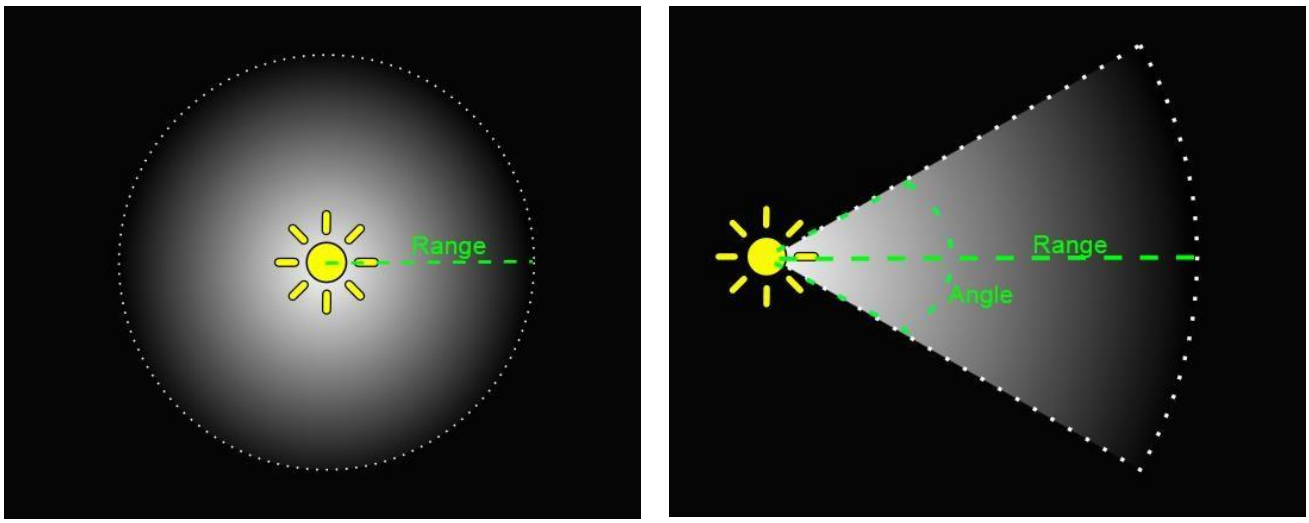


Рисунок 2.5 – Спрямоване джерело освітлення

Дані джерела використовуються для моделювання таких об'єктів як сонце, коли промені паралельні один одному. Оскільки спрямоване джерело не має позиції в просторі, його інтенсивність не зменшується по мірі віддалення, і світло поширюється на необмежену відстань.

Точкове джерело освітлення випромінює світло во всіх напрямках від конкретної точки у просторі (рисунок 2.6, а). Інтенсивність випромінювання падає залежно від відстані відповідно до зворотного квадратичного закону, досягаючи нульового значення на заданій відстані.

Джерела конусного (прожекторного) типу відрізняються від точкових тільки тим, що мають обмежений кут випромінювання і, в результаті, конусоподібну область освітлення. (рисунок 2.6, б).



а б

Рисунок 2.6 – Точкове (а) і конусне (б) джерела освітлення

Дифузна поверхня (diffuse shading) – це поверхня, для якої світло, що розповсюджується у довільному напрямку, висвітлює кожну її точку. Відповідно з цим, відбитий дифузний колір поверхні віддзеркалюється рівномірно у всіх напрямках. Таке відображення називається відображенням по Ламберту. Оскільки воно рівномірно во всіх напрямках, то відсутня залежність від позиції спостерігача. Згідно закону Ламберта кількість променистої енергії, випромінюване елементом поверхні dS_1 в напрямку елемента dS_2 пропорційна добутку кількості енергії, випромінюваної по нормалі dQ_n, на величину просторового кута $d\omega$ і $\cos\varphi$, де кут φ складений напрямом випромінювання з нормаллю. Є також проста залежність між силою світла, випромінюваного плоским розсіюючим майданчиком dS у якомусь напрямку від кута φ між цим напрямом і перпендикуляром до dS.

2.4.3 Модель Фонга та перетворення зображення

Модель Фонга є однією із класичних моделей освітлення. Вона є комбінацією дифузної складової (моделі Ламберта) і дзеркальної складової та працює таким чином, що крім рівномірного освітлення на матеріалі може ще з'являтися відблиск. Місцезнаходження відблиску на об'єкті, освітленому за

моделлю Фонга, визначається із закону рівності кутів падіння та відображення. Якщо спостерігач знаходиться поблизу кутів відображення, яскравість відповідної точки підвищується. Якщо об'єкт є ідеальним дзеркалом, то це буде єдиний напрямок, де є яскравість (рисунок 2.7).

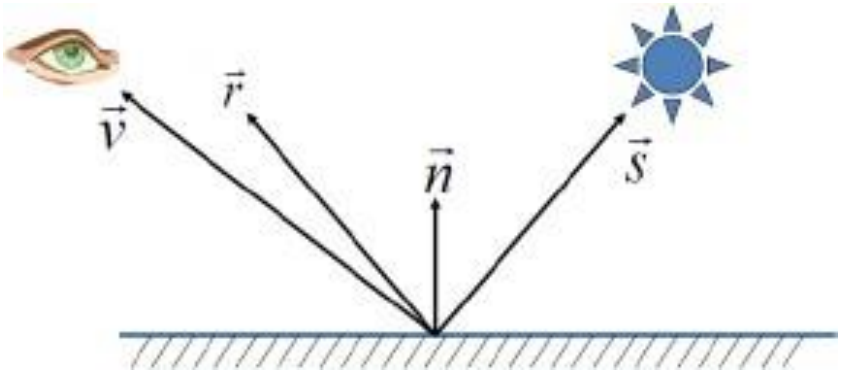


Рисунок 2.7 – Вектор для обчислення моделі Фонга

Яскравість відбитого світла згідно цієї моделі обчислюється за формулою:

$$L_0 = L_i k_s \left(r,v\right)^{k_\ell}, \tag{2.3}$$

де L_0 – вихідна яскравість, L_i – падаюча яскравість, k_s – дзеркальний коефіцієнт відображення поверхні, $\left(r,v\right)$– кут між ідеально відбитим променем r і вектором на спостерігача v, k_ℓ – експонента Фонга, ефект від зміни експоненти Фонга можна, можливо побачити на рисунок 2.8.

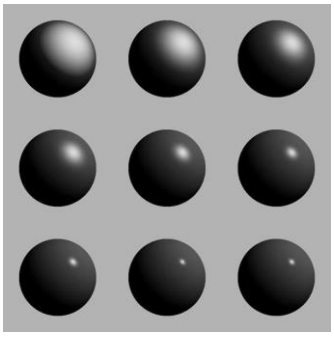


Рисунок 2.8 – Ефект від зміни експоненти Фонга

Для розрахунку об'єктів, які є просто блискучими, а не виключно дзеркальними, в дзеркальній складовій моделі Фонга необхідно розглянути не ідеально дзеркальний об'єкт, а об'єкт, що відбиває світло в деякому конусі: це необхідно для отримання відблиску.

При перетворенні зображення (viewing transformation) необхідно, виходячи з координат точок об'єктів в канонічної системі координат в тривимірному просторі, розрахувати координати відповідних точок в площині зображення, виражені у положенні пікселів.

У більшості графічних систем такий розрахунок проводиться шляхом розбиття перетворення на послідовність трьох більш простих перетворень:

1) перетворення камери – трансформація, яка перетворює просторові координати об'єктів в систему координат, пов'язану з камерою;

2) проекційне перетворення – робить проекції всіх видимих точок із простору камери на квадрат з координатами *x* і *y* в діапазоні від -1 до 1;

3) віконне перетворення – перетворює отримане на попередньому етапі зображення у зображення в «піксельних» координатах.

Перетворення 1-го типу зводиться до паралельного перенесення та повороту в тривимірному просторі. Якщо камера розташована у началі координат, а напрям погляду спрямований протилежно осі *z*, то при проекційному перетворенні (2-й тип) розмір зображення об'єкта на екрані пропорційний 1/*z*, як це бачимо на рис. 2.9, де *y* – координата точки об'єкта в системі координат камери, y_s – координата відповідної точки в площині зображення, *d* – координата площини зображення.

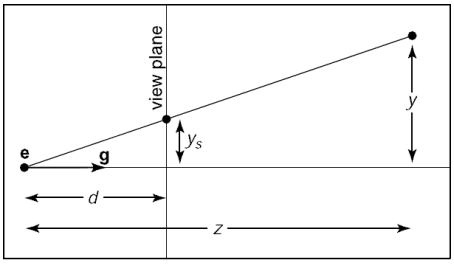


Рисунок 2.9 – Приклад проекційного перетворення

Віконне перетворення (3-й тип) відображає отриманий квадрат в прямокутну піксельну матрицю відповідного розміру.

2.4.4 Візуалізація та метод трасування променів

Візуалізація (рендерінг) – створення цифрового растрового зображення за розробленою тривимірною сценою. Ключем до теоретичного обґрунтування моделей візуалізації є рівняння рендерингу – інтегральне рівняння, яке визначає кількість світлового випромінювання в певному напрямку як суму власного та відбитого випромінювання. Фізичною основою рівняння є закон збереження енергії.

Одним з часто використовуваних методів рендерингу є метод трасування променів (ray tracing). Даний метод служить для побудови зображення тривимірних моделей в комп'ютерних програмах, при яких відстежується зворотна траєкторія поширення променя (від екрану до джерела).

З точки спостереження на об'єкти сцени спрямовуються промені, за допомогою яких визначається колір пікселя на двовимірному екрані. Але при цьому промінь не припиняє своє поширення, а ділиться на три промені-компоненти, кожен з яких робить свій внесок у колір пікселя на двовимірному екрані: відбитий, тіньовий і заломлений. Кількість таких компонентів визначає глибину трасування та впливає на якість та фотореалістичність зображення. Завдяки своїм концептуальним особливостям, метод дозволяє отримати дуже реалістичні зображення, однак через велику ресурсомісткість процес візуалізації займає значний час.

Для зображення тривимірних об'єктів на площині використовується лінійна перспектива:

1) паралельна проекція (ортогональна і косокутна), яка визначається напрямом і площиною проекції;

2) центральна проекція (perspective projection), яка визначається центром проекції (viewpoint) та площиною зображення (рисунок 2.10).

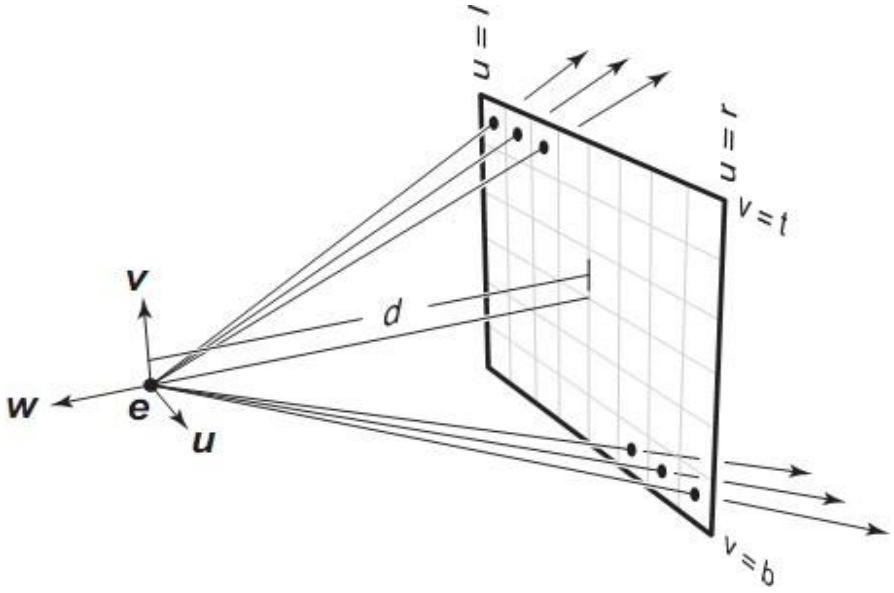


Рисунок 2.10 – Центральна проекція

Система координат камери (camera frame) задається зазвичай такий чином. Початком координат є точка e (viewpoint), базисом системи координат є:

1) одиничний вектор w, протилежний напряму погляду;

2) одиничний вектор v, що розміщений у вертикальній площині перпендикулярно вектору w;

3) одиничний вектор u, такий, що вектори {u, v, w} утворюють праву систему координат.

Всі промені виходять з однієї і тієї ж точки **e** (viewpoint) і відрізняються тільки напрямом. Площина зображення знаходиться на певній відстані від точки **e**. Напрямок кожного променю визначається точкою **e** і положенням пікселя в площині зображення.

Якщо параметрична площина є трикутником, то її перетин променем розраховується згідно з рисунок 2.11.

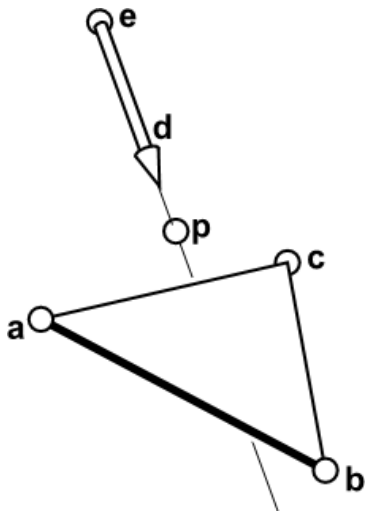


Рисунок 2.12 – Перетин трикутника променем

У точці перетину розраховується освітленість, і відповідному пікселю зображення задаються необхідні характеристики. Перетину не буде, якщо аналізований трикутник є виродженим, або площина трикутника паралельна заданому променю.

2.4.5 Вибір середовища розробки тривимірної візуалізації

Візуалізація є одним з найбільш опрацьованих аспектів в реалізації технології доповненої реальності. Для реалізації частини технології доповненої реальності, що пов'язана із тривимірною візуалізацією, може бути застосовано багато існуючих та апробованих рішень.

У якості одного із самих низькорівневих варіантів можливо використання безпосередньо OpenGL – специфікації для написання застосунків, що використовують двовимірну та тривимірну комп'ютерну графіку. Однак її використання вимагає великих часових витрат.

Також існують різні графічні системи, що дозволяють розробляти складні програми більше простими засобами. До них входять, наприклад, Ogre3d, Unreal Engine, Unigine та інші.

У ході пошуку та аналізу як основу для програмної реалізації системи доповненої реальності, що орієнтована на візуалізацію об'єктів в інтер'єрі та ландшафтний дизайн, було обрано середовище розробки Unity. Це високорівнева середовище, орієнтоване на розробки для застосунків та ігор, котре містить потужний редактор із графічним інтерфейсом і графічний двигун, оптимізований для роботи на мобільних пристроях.

Unity є кросплатформним засобом розробки і дозволяє компілювати проект з одним вихідним кодом і ресурсами під ведучі мобільні платформи, такі як iOS, Android, Windows Phone та інші.

Unity використовує формат тривимірних моделей FBX. Більшість сучасних засобів створення тривимірних моделей, таких як 3ds Max, Maya підтримують експорт в цей формат. У більшості випадків моделі переносяться коректно. Користувальницькі скрипти можуть бути написані на будь-якій .NET мові програмування і скомпільовані в звичайні керовані DLL. Є вбудовані компілятори для C#, UnityScript і Boo. При цьому присутня можливість організації інтерфейсу із зовнішнім кодом.

До позитиву також відносяться активна спільнота розробників і безліч готових напрацювань і розширень.

Вибрані методичні та алгоритмічні засоби є основою для розробки методики застосування доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів.

3 МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ’ЄКТІВ

3.1 Загальна схема структури методики застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів

Структура методики застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів має на увазі наявність таких базових компонентів (рисунок 3.1):

- підсистема трекінгу, що забезпечує коректну інтеграцію віртуального об'єкта в реальне оточення;
- сховище тривимірних моделей та іншої інформації про об'єкти;
- підсистема візуалізації, що забезпечує промальовування об'єктів засобами комп'ютерної графіки;
- графічний інтерфейс, що забезпечує взаємодію з користувачем.

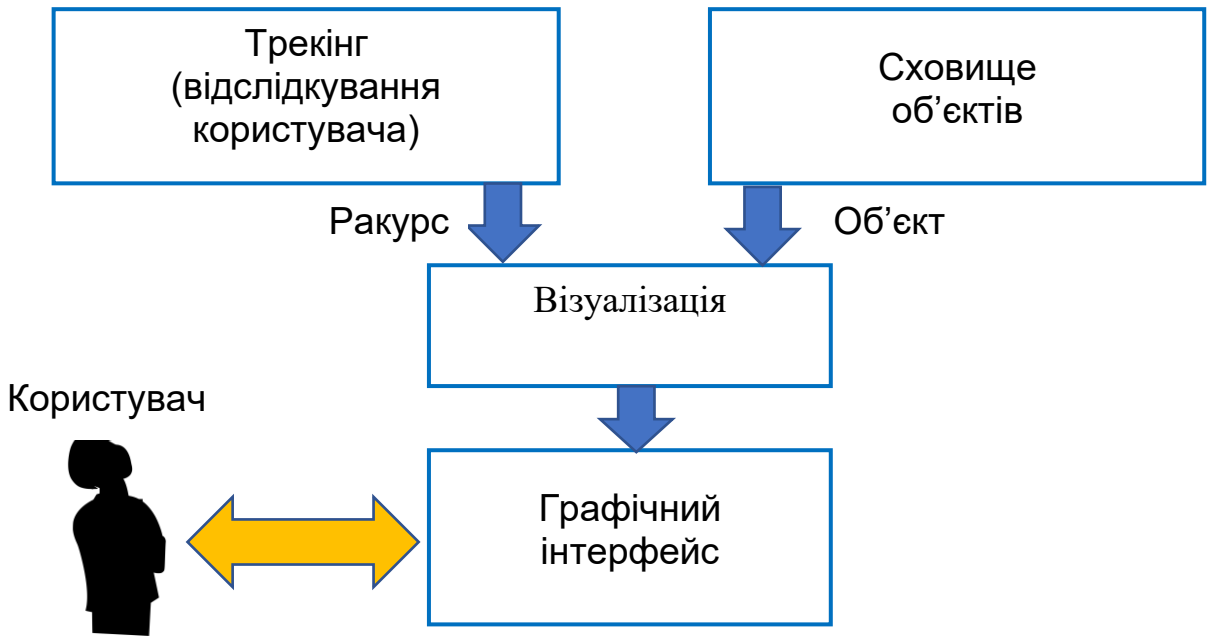


Рисунок 3.1 – Основні елементи методики, що пропонується

При оптичному трекінгу відеопотік з камери надходить в підсистему трекінгу. Виготовляється обробка і аналіз кожного кадру відеопотоку на предмет наявності заданого маркера. При успішному розпізнаванні маркера обчислюється матриця перетворень моделі за допомогою розтягування, повороту та перенесення. Вона дозволяє однозначно поставити становище об'єкта у просторі.

За нульову точку в тривимірному середовищі може бути взята як позиція віртуальної камери, так і центр маркера. При іншому варіанті дані про положення об'єкта перетворюються на дані про положення камери щодо об'єкта. В результаті, положення віртуальної камери щодо об'єкта та реальної камери щодо маркера синхронізуються.

Тривимірний об'єкт витягується зі сховища та його положення та масштаб встановлюються на задані заздалегідь значення щодо маркера. Потім відбувається візуалізація фінального двовимірного зображення. Воно утворюється шляхом накладання віртуального об'єкта зображення реального оточення з відеопотоку. Після цього на верхньому шарі виконується рендеринг графічного інтерфейса користувача.

Окремо зосередимось на значенні і особливості забезпечення реалістичності при візуалізації засобами доповненою реальності. Система комп'ютерної графіки може синтезувати зображення, відповідне лише одному сітчастому зображенню, тобто система здатна відтворити лише умови монокулярного спостереження. Об'ємність зображення, просторове становище об'єктів при цьому сприймаються на синтезованому зображенні завдяки лінійній перспективі, загороджуванню одних об'єктів іншими, характером тіней і змін тону (або колірних відтінків) по полю зображення. Істотне значення для сприйняття обсягу та простору має попередній досвід спостереження, завдяки якому спостерігач мимоволі "добудовує" об'ємну структуру.

Таким чином, синтезоване комп'ютерне зображення може відповідати оригіналу при візуальному спостереженні тільки на психофізичному рівні.

Максимальне наближення до оригіналу можна забезпечити, якщо математична модель сцени точно передає умови освітлення, геометричну форму об'єктів, їх взаємне становище, забезпечує умови енергетичної подоби, передає розмір та положення тіней і інші особливості реальної сцени.

3.2 Питання реалістичного освітлення об'єктів і підходів до реалізації моделі освітлення

Освітлення об'єкта грає найважливішу роль при його візуалізації. Вірне налаштування освітлення вимагає спеціальних професійних навичок та досвіду. При побудові освітлення ставиться завдання максимально точно передати форму предметів і їх об’єм при перегляді на плоскому екрані пристрою.

У живопису і в фотографії при побудові освітлення натюрморту застосовуються різні типи освітлення, такі як заповнюче, малююче, контурне, моделююче світло та інші (рисунок 3.2). У тривимірній комп'ютерній графіці також моделюються відповідні джерела освітлення.

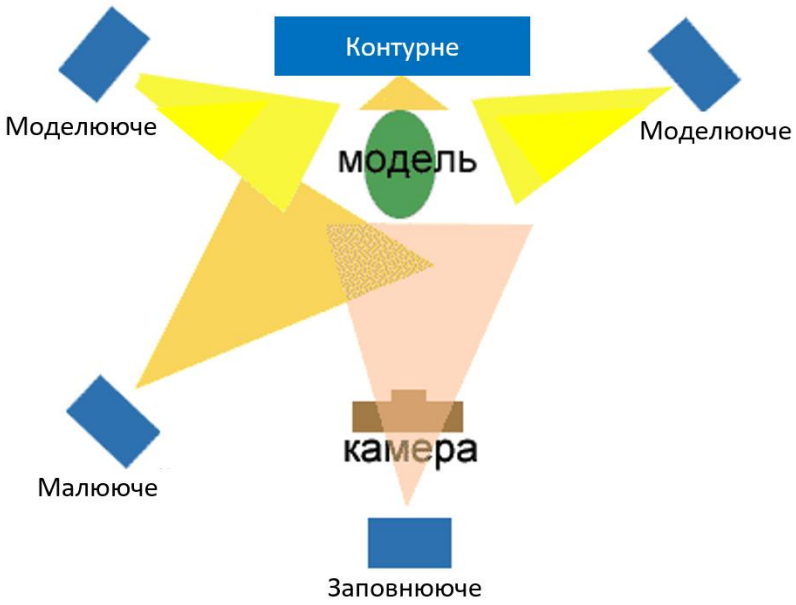


Рисунок 3.2 – Приклад схеми освітлення об'єкта

Об'єкт може бути освітлений за допомогою кількох точкових джерел. Це може служити прикладом схеми динамічного освітлення, що прораховується для кожного кадра. При цьому, в той час як при звичайній візуалізації застосовуються складні ресурсомісткі алгоритми розрахунку освітлення, що дозволяють отримати реалістичне зображення, візуалізація в режимі реального часу вимагає інших підходів.

При реалізації технології доповненою реальності на сучасних споживчих пристроях на сьогоднішній день не завжди можна в реальному часі реалізувати складні алгоритми візуалізації, котрі враховують непряме освітлення, такі як, наприклад, трасування променів. По-перше, обчислювальні ресурси пристроїв можуть не мати належного рівня продуктивності для розрахунку зображень із інтерактивною частотою кадрів. По-друге, проблематично при наявності однієї RGB-камери в реальному часу відновити навколишню обстановку для віртуального об'єкту, що візуалізується.

У таких випадках передбачається використання статичного стану (попередньо розрахованого) освітлення: статичне затінення, відображення та падаючу тінь (рисунок 3.3). Це забезпечує суттєве підвищення реалістичності і знижує складність постійних розрахунків динамічного освітлення.

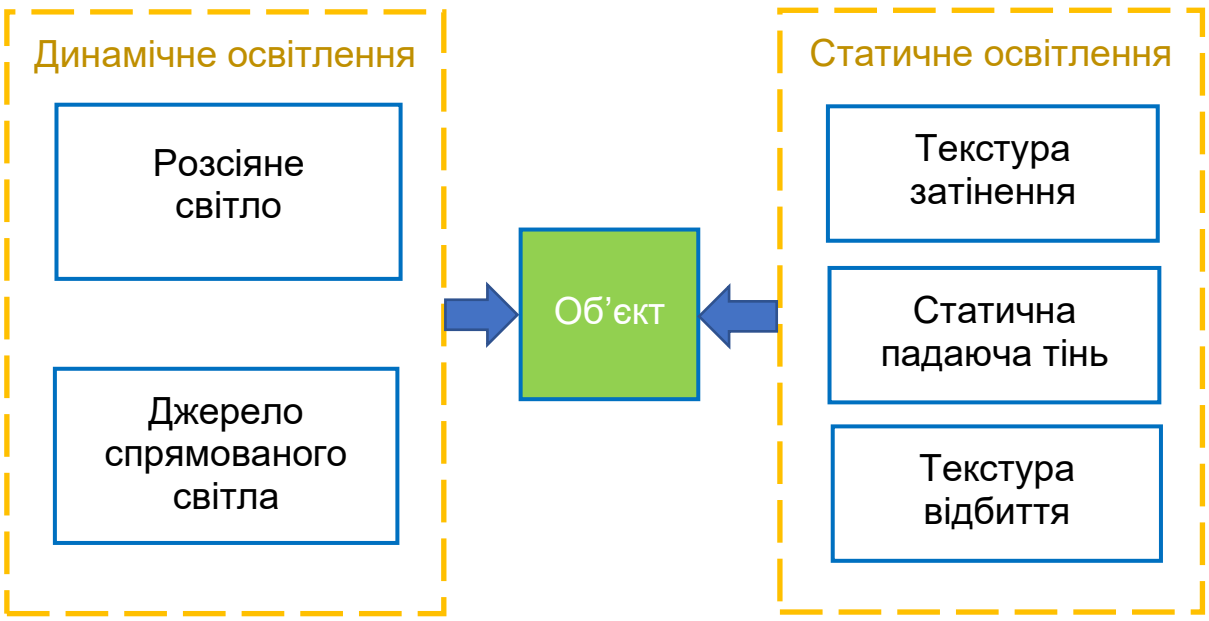


Рисунок 3.3 – Комбінація статичного і динамічного освітлення

Ще однією причиною застосування статичного освітлення є те, що різні об'єкти для найкращого сприйняття можуть вимагати різну кількість джерел освітлення різних типів і характеристик (наприклад, інтенсивності), по-різному розташованих. При статичному освітленні кожен об'єкт може бути налаштований незалежно, і при додаванні одночасно кількох об'єктів індивідуальне освітлення кожного не буде надавати суттєвого впливу на решту.

3.3 Візуалізація незалежної текстури затінення

Можна застосувати підхід, при якому розрахунок і візуалізація освітлення поверхонь об'єкта готуються заздалегідь, на етапі підготовки тривимірної моделі, і при наступній візуалізації в реальному часу не потрібні додаткові ресурси. За такого підходу на етапі розробки тривимірної моделі об'єкта до нього може бути застосованим освітлення будь-якої складності з використанням необмеженого числа джерел світла.

Велике значення має можливість попереднього розрахунку тіней, що утворюються в результаті дії непрямого освітлення (глобального освітлення, global illumination). Це суттєво підвищує реалістичність візуалізації об'єкту. Розрахунок може бути виконаний з застосуванням різних складних методів візуалізації таких як трасування променів, випромінюваність і багатьох інших. Окремо хотілося б зупинитися на методі Ambient Occlusion. Даний метод дозволяє швидко прорахувати затінення об'єкта, використовуючи при цьому тільки інформацію про його геометрію (рисунок 3.4).

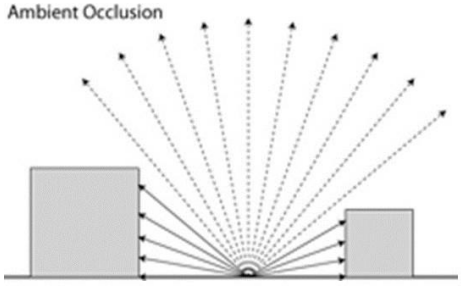


Рисунок 3.4 – Метод Ambient Occlusion

Крім простоти розрахунку перевага даного методу полягає в тому, що він дозволяє виконати завдання складних методів візуалізації – максимально точно змоделювати фізичні процеси освітлення об'єкта, враховуючи відображення світла від навколишніх об'єктів. При цьому оточення зазвичай також змодельовано на комп'ютері: мова йде про повністю віртуальний простір. При візуалізації в доповненій реальності навколо об'єкта немає змодельованого оточення, отже використання складних методів візуалізації непотрібно.

Ambient Occlusion дозволяє отримати базову нейтральну модель затінення, яка підходить до різних типів оточення. Розраховане таким чином затінення об'єкта може бути візуалізовано у текстуру-атлас. Відмінною особливістю застосованого підходу є те, що створюється окрема текстура затінення об'єкта, яка згодом змішується з основною текстурою (рисунок 3.5). Таким чином при створенні кількох колірних рішень об'єкта не потрібна відповідна підготовка для кожної текстури.

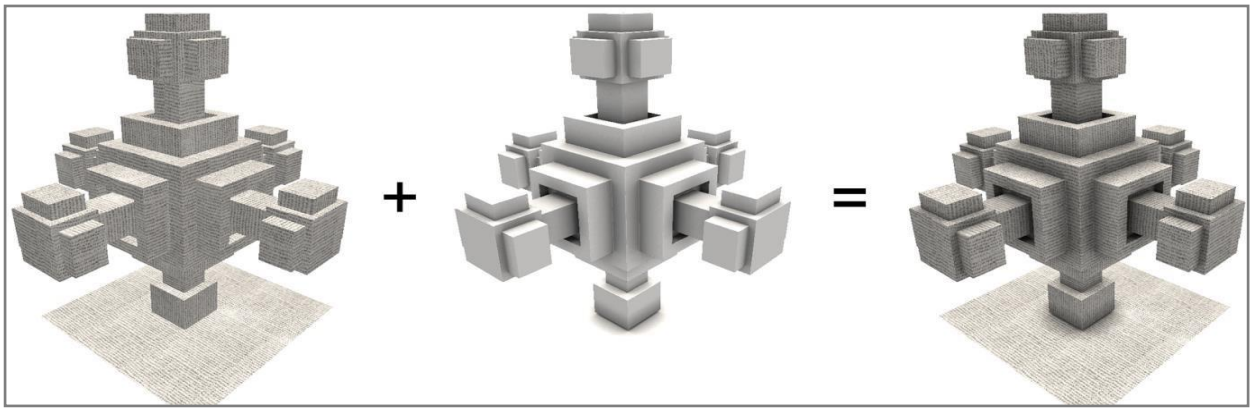


Рисунок 3.8 – Застосування незалежної текстури затінення

Наприклад, об'єкт має *n* різних колірних рішень. За потреби візуалізувати окрему текстуру для кожного колірного рішення було б отримано *n* текстур з повної розгорткою для всього об'єкта. Для забезпечення якісної візуалізації слід було б використовувати текстури розміром 2048 x 2048 пікселів. При запропонованому підході будуть необхідні також *n*

текстур кольорів та додатково карта затінення. Але при використання окремої карти затінення, не буде необхідно дублювати різні ділянки текстури кольору з різним ступенем затіненості. Таким чином текстури кольори можуть мати набагато менший розмір (наприклад, 128 x 128 пікселів). При цьому немає необхідності використовувати карту затінень високої якості. Експериментально встановлено, що допустимі розміри карти затінення можуть бути 512 x 512 пікселів і нижче.

Більше того, основні текстури можуть бути використані для різних об'єктів, що забезпечує додаткову економію ресурсів.

Текстура затінення поєднується з основною текстурою в режимі накладення «Множення» (Multiply) (рисунок 3.6).

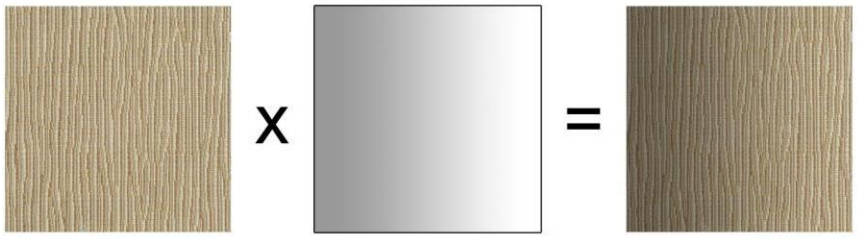


Рисунок 3.6 – Режим накладення «Множення»

Даний режим є оптимальним для накладення напівпрозорої тіні. На відміну від накладання сірих відтінків тіней поверх основної текстури відбувається затінення безпосередньо пікселів основної текстури на основі даних в текстурі затінення. Таким чином текстура затінення не потребує додаткового альфа-каналу, що економить ресурси, які витрачаються її обробку. Також чорно-біла текстура затінення дозволяє більше гнучко проводити налаштування інтенсивностітіней у порівнянні з редагуванням текстури із прозорістю.

Для реалізації даного ефекту можна модифікувати стандартні шейдери Unity додаванням додаткової текстури затінення, яка задається користувачем у графічному середовищі редактора Unity. У поверхневій функції шейдерів

виконується множення параметра Альбедо (Albedo), котрий представляє звичайну трикомпонентну структуру для колірних складових.

3.4 Підходи для відбиваючої і блискучої поверхонь

Відображувальні властивості об'єктів описуються коефіцієнтами відображення, коефіцієнтами яскравості і індикатрисою відображення. Відмінність в типах індикатрис для різних типів відбиваючих поверхонь обумовлена структурою поверхні і ступенем їх шорсткості. Для гладких поверхонь характерно наявність дзеркального відображення. Ідеально відбиваючими є поверхні, що задовольняють критерію Релея.

Моделі, засновані на статистичному описі структури відбиваючих поверхонь, складні, розрахунки на їх основі пов'язані зі значним обсягом обчислень. Це суттєво обмежує їх безпосереднє використання в комп'ютерній графіці. При моделюванні відбитого випромінювання зазвичай обмежуються наближеними моделями, в яких враховуються лише головні особливості розсіяного світлового потоку поверхнею об'єкта Як правило, вважають, що форма індикатриси відображення не залежить від довжини хвилі, а кожну складову відбитого випромінювання можна описати осесиметричною функцією. Для складових дзеркального і зворотного відображень найбільш зручною є степенева функція від косинуса кута між напрямами спостереження і максимуму відображення.

Розглянемо модель визначення яскравості площадки ΔS , на яку під кутом θ падає променистий потік від джерела освітлення (рисунок 3.7).

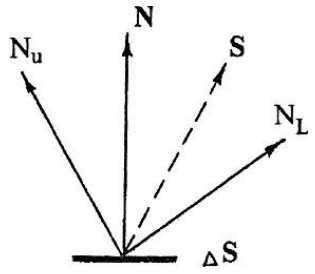


Рисунок 3.7 – Діаграма напряму

Нехай спостереження даної площадки здійснюється в напрямі, визначається одиничним вектором N_L. Яскравість площадки, що спостерігається, визначається прямим випромінюванням джерела та розсіяним випромінюванням навколишньої біля предмета півсфери.

Кожна з компонент яскравості | в свою | черга включає дифузну, дзеркальну і зворотну складові.

Для імітації відбиваючих поверхонь таких матеріалів, як метал, пластик, шкіра (глянцевих, відбиваючих, блискучих) застосовуються спеціальні відбиваючі шейдери. При їх використання задається відповідна текстура відображень (рисунок 3.8).

Рисунок 3.8 – Приклад текстури відображень

Так як для коректною роботи шейдерів відбиваючих, дзеркальних поверхонь необхідно враховувати інформацію про джерела освітлення, то у схемі освітлення поряд із текстурою затінювання можна задіяти одне динамічне джерело спрямованого освітлення для роботи з дзеркальними поверхнями.

Взагалі, імітація глянцевих поверхонь суттєво підвищує сприймаєму реалістичність об'єкта (рисунок 3.9). Особливо ефект проявляється при переміщенні камери щодо об'єкта, коли відбувається «перелив» відблиску по поверхні.

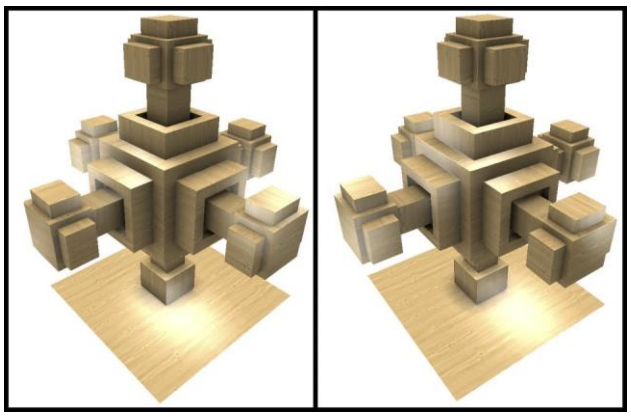


Рисунок 3.9 – Приклад об'єкта з відбиваючим матеріалом

Однак треба звернути увагу на те, що при роботі з доповненою реальністю на ручному пристрої, ефект є набагато менш помітним, ніж це очікувалося.

3.5 Реалізація статичної падаючої тіні об'єктів

Як і карта затінень, падаюча тінь прораховується заздалегідь у високій якості і зберігається у вигляді текстури. Для доповненої реальності у розглядаємих прикладах не потрібно текстура високого дозволу, а достатньо і набагато менших розмірів (наприклад, 128 x 128 точок). Далі текстура застосовується до площини, яка розташована під об'єктом (рисунок 3.15).

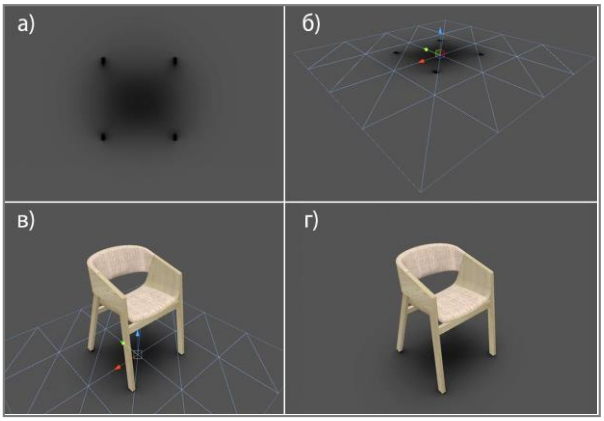


Рисунок 3.9 – Формування затінення: а) текстура тіні; б) площина з текстурою тіні у тривимірному просторі; в) розташування площини тіні під об'єктом; г) підсумкова візуалізація.

Тип шейдера площини використовує значення прозорості текстури і коректно візуалізує напівпрозорі ділянки. У цілях оптимізації шейдер не використовує інформацію про джерела освітлення.

Напівпрозора падаюча тінь робить істотний внесок у реалістичність вбудовування віртуального об'єкта у реальне оточення. Тоді як, наприклад, розрахунок кадрів для фільму може займати значну кількість часу, відмінною особливістю представленого підходу є можливість успішного застосування в завданнях реального часу для доповненої реальності.

3.6 Зміна параметрів об'єкта в реальному часі при візуалізації засобами доповненої реальності

Об'єкти візуалізації можуть мати різні модифікації: різні варіанти кольору, матеріалів виконання, стану, варіанти компонування тощо. Для спрощення взаємодії користувача з системою пропонується введення узагальненого параметра, котрий представляє собою набір змін в об'єкті.

В якості одного з орієнтирів для застосування під час розробки було обрано область візуалізації предметів меблів. У меблевий індустрії є специфіка, що полягає в тому, що до однієї і тієї ж моделі меблів виробником може бути запропоновано деяка кількість варіантів матеріалів: різні сорти деревини, металу, види і фактури тканини оббивки. При цьому в роздрібному магазині внаслідок обмеженої площі немає можливості продемонструвати усі можливі варіанти. Навіть у друкованому чи електронному каталозі найчастіше не надаються зображення моделі во всіх можливих варіантах її виготовлення, так як це вимагає додаткових витрат на створення відповідних тривимірних візуалізацій. Наприклад, в випадку з м'якими меблями завод зазвичай оперує деяким набором оббивок, в котрий може входити кілька десятків варіантів, що можуть бути застосовані до різних моделей меблів, причому в різних комбінаціях. Однак виробник не може продемонструвати потенційному покупцю весь асортимент товару, і таким чином обмежує

потенційний прибуток. Але є ефективний спосіб демонстрації таких моделей потенційному покупцю за рахунок інтерактивного меню вибору варіантів виготовлення моделі. Технологічно це означає, що до однієї і тієї ж геометрії моделі можуть бути динамічно застосовані різні матеріали (рисунок 3.10).

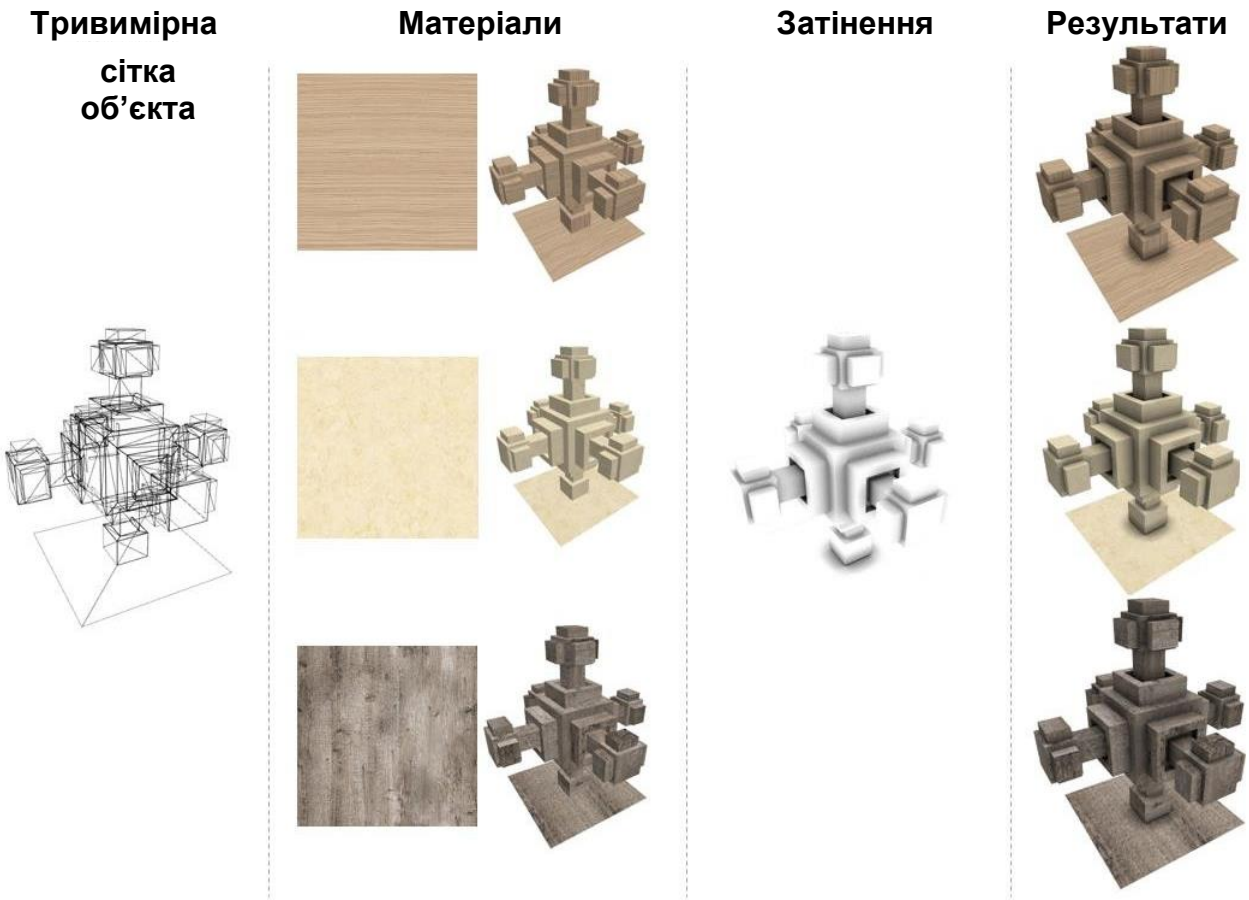


Рисунок 3.10 – Застосування різних матеріалів із однією текстурою затінювання

Моделі можуть включати в себе кілька складових частин, виконаних з різних матеріалів (рисунок 3.11). Наприклад, ніжки стільця можуть бути виготовлені з дерева, а сидіння оббито тканиною. У таких випадках дерев'яна частина і сидіння можуть представляти собою окремі полігональні сітки з різними матеріалами. Варіант повністю індивідуальної зміни матеріалів окремих частин передбачає виготовлення моделі за індивідуальним замовленням і не є масовим. У масовому варіанті меблі може мати різні комбінації матеріалів, але вони заздалегідь підібрані та визначені

спеціалістом дизайнером. Внаслідок цього для спрощення логіки взаємодії вводиться узагальнений параметр – колірне рішення.

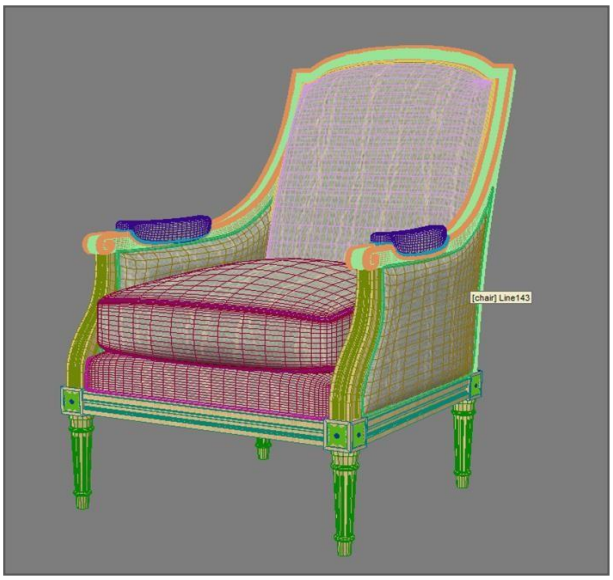


Рисунок 3.11 – Модель, що складається з кількох полігональних сіток

Іншим прикладом може служити візуалізація такого об'єкта як дерево або інше рослина і зміна в якості параметра часу року (рисунок 3.12).

Рисунок 3.12 – Ілюстрація комплексних змін складного об'єкта

Тоді кожна частина рослини в відповідно з заданим параметром змінює стану: розквітає, розпускає листя чи листя жовтіють і опадають, тобто відбувається комплексна зміна об'єкта.

Далі у прикладах, наведених на рисунках 3.13 – 3.16, застосовані всі наведені вище підходи щодо візуалізації об’єктів з використанням доповненої реальності.

Рисунок 3.13 – Вигляд реальної місцевості

а б

Рисунок 3.14 – Варіанти візуалізація об'єктів для різних замовлень:
а) доповнення місцевості елементами для облаштування спортивної зони;
б) варіант для майбутнього відкритого майданчику відпочинку

Рисунок 3.15 – Візуалізація предмета меблів з декількома варіантами оббивки

Рисунок 3.16 – Візуалізація при облаштування дачного будиночка

У даному розділі запропонована методика застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, яка може бути використана для масового використання. Зокрема, у методиці пропонується підхід до підвищення реалістичності при візуалізації тривимірних об'єктів засобами доповненої реальності, що відрізняється від існуючих використанням комбінації статичного і динамічного освітлення з попередньою візуалізацією незалежної текстури затінення і статичної падаючою тіні об'єктів.

Також запропоновано підхід до зміни параметрів об'єктів доповненої реальності при візуалізації, що характеризується введенням блоку узагальненого параметра, який прискорює взаємодію з користувачем, що включає можливість зміни в реальному часі та забезпечує спрощення інтерфейсу користувача.

Наведені приклади реалізації запропонованих підходів для таких сфер використання доповненої реальності, як ландшафтне проектування та дизайн інтер'єру.

ВИСНОВКИ

Сукупність отриманих у кваліфікаційній роботі результатів дозволило вирішити актуальне науково-технічне завдання, спрямоване на розробку підходу до застосування доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів.

В результаті проведених досліджень отримані такі наукові та практичні результати:

1. Проведений аналітичний огляд систем, що використовують технологію доповненої реальності. У ході проведеного огляду були розглянуті можливості вдосконалення користувальницьких інтерфейсів за допомогою доповненої реальності, зокрема увага була звернута на візуалізацію, тригери та візуальні вказівки. Окремо розглянуті питання візуалізації тривимірних об'єктів та розвиток технологій трекінгу. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що поставлене в роботі завдання щодо розробки підходу до застосування доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, є актуальним, а його вирішення дозволить розширити межі застосування технології доповненої реальності.

2. Обґрунтований вибір засобів розробки доповненої реальності. Розглянуто існуючі підходи до реалізації процесу трекінгу та доведені переваги оптичного трекінгу для масових систем, визначені особливості його застосування для спеціалізованих систем. Розглянуто особливості тривимірної візуалізації, зокрема детально обґрунтовані питання формування текстури об’єкту, затінення віртуальних об’єктів на реальному зображенні, використання методу трасування променів. Також обґрунтований вибір середовища розробки тривимірної візуалізації В процесі пошуку і аналізу засобів тривимірної візуалізації були проаналізовані сучасні методи комп'ютерної графіки і обрано середовище розробки Unity.

3. Запропонована методика застосування засобів доповненої реальності для інтерактивної візуалізації тривимірних об’єктів, яка може бути використана для масового використання. Зокрема, у методиці пропонується підхід до підвищення реалістичності при візуалізації тривимірних об'єктів засобами доповненої реальності, що відрізняється від існуючих використанням комбінації статичного і динамічного освітлення з попередньою візуалізацією незалежної текстури затінення і статичної падаючою тіні об'єктів. Також запропоновано підхід до зміни параметрів об'єктів доповненої реальності при візуалізації, що характеризується введенням блоку узагальненого параметра, який прискорює взаємодію з користувачем, що включає можливість зміни в реальному часі та забезпечує спрощення інтерфейсу користувача.

4. Наведені приклади реалізації запропонованих у розробленій методиці підходів для таких сфер використання доповненої реальності, як ландшафтне проектування та дизайн інтер'єру.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Стеблянко Б. О., Ні О. В., Кучук Г. А., Волк Д.М. Метод нечіткої інтерактивної кластеризації. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. Вип. 2(76). С. 149–154.

2. . Feldman S., Kay A. C. A conversation with Alan Kay //ACM Queue. – 2004. – Т. 2. – №. 9. – P. 20-30.

3. . Victor B. A brief rant on the future of interaction design // Worry Dream. com. URL: http://worrydream.com/#!/ ABriefRantOnTheFutureOfInteractionDesign.

4. J., Nagao K. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments //Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology. – ACM, 1995. – P. 29-36.

5. Koumpouros, Y. Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. Smart Learning Environments. – 2023. – 11(1), 2. – P. 1–14.

6. Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays //IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems. – 1994. – Т. 77. – №. 12. – P. 1321- 1329.

7. R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments. vol. 6, no. 4, Aug. 1997, pp. 355-385.

8. Yasumuro Y. et al. Consistent Presentation of Interactive Virtual Objects in Real Space with 3D Markers–Interactive Virtual Interior Design– //Digital Image Computing: Techniques and Applications, Proceedings of the VIIth Biennial Australian Pattern Recognition Society Conference. – 2003. – P. 653-662

9. Cook J. et al. Real-time photo-realistic augmented reality for interior design //ACM SIGGRAPH 2023 Sketches & Applications. – ACM, 2023. – P. 1-8.

10. Siltanen S., Woodward C. Augmented interiors with digital camera

images //Proceedings of the 7th Australasian User interface conference-Volume 50. – Australian Computer Society, Inc., 2006. – P. 33-36.

11. Nóbrega R., Correia N. Design your room: adding virtual objects to a real indoor scenario //CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. – ACM, 2021. – P. 2143-2148.

12. Wagner D., Schmalstieg D. First steps towards handheld augmented reality //2012 16th International Symposium on Wearable Computers. – IEEE Computer Society, 2003. – P. 127-127.

13. Mohring M., Lessig C., Bimber O. Video see-through AR on consumer cellphones //Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – IEEE Computer Society, 2004. – P. 252-253.

14. Henrysson A., Billinghurst M., Ollila M. Face to face collaborative AR on mobile phones //Mixed and Augmented Reality, 2005. Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on. – IEEE, 2005. – P. 80-89.

15. Park J., You S., Neumann U. Natural feature tracking for extendible robust augmented realities //Proc. Int. Workshop on Augmented Reality. – 2018. – P. 1–6.

16. Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display //Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I. – ACM, 1968. – P. 757- 764.