

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти - другий (магістерський)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ AR-ІНТЕРФЕЙСІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЗРУЧНИХ ДОДАТКІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Виконав: студент 2 курсу, групи ІІЗм-19-1

Агарков Є. С.

спеціальності 121- Інженерія програмного забезпечення

Освітньо-наукової програми

Інженерія програмного забезпечення

Керівник доц. Ревенчук І. А.

Допускається до захисту

Зав. кафедри, проф.

З.В.Дудар

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

Рівень вищої освіти - другий (магістерський)

Спеціальність 121-Інженерія програмного забезпечення

Тип програми освітньо-наукова програма

Освітня програма Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« 26 » березня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Агаркову Єгору Сергійовичу

1. Тема роботи Дослідження методів проектування AR-інтерфейсів для розробки зручних додатків доповненої реальності

затверджена наказом університету від «26» березня 2021 р № 385

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 травня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи проектування та розробка зручних AR-інтерфейсів, взаємодія людини з AR, пояснювальна записка.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: аналіз проблем, щодо існуючої взаємодії інтерфейс-людина, аналіз способів розв'язання цих проблем, аналіз методів проектування різноманітних типів інтерфейсу, спираючись на результати дослідження розробити варіанти зручного інтерфейсу

5 Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, слайдів, ілюстрацій Об'єкт та мета дослідження, Постановка задачі, Доповнена реальність, Проблеми взаємодії з доповненою реальністю, Принцип роботи доповненої реальності, Принцип роботи алгоритму відстеження на основі зображень, Сканування тривимірного об'єкту, Методи проектування інтерфейсів, Існуючі типи AR-інтерфейсів, Існуючі типи AR-контенту, Розміщення контенту у просторі, Взаємодія між об'єктами доповненої реальності, Типи прив'язки об'єктів доповненої реальності, Інтерфейс користувача, Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Ревенчук І. А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз предметної галузі	19 лютого 2021р.	виконано
2.	Огляд існуючих методів	26 лютого 2021р.	виконано
3.	Проведення теоретичних досліджень	6 березня 2021р.	виконано
4.	Проведення експериментальних досліджень	10 березня 2021р.	виконано
5.	Оформлення пояснювальної записки	15 березня 2021р.	виконано
6.	Оформлення графічної частини	22 березня 2021р.	виконано
7.	Попередній захист	10 травня 2021р.	виконано
8.	Нормоконтроль, рецензування	10 травня 2021р.	виконано
9.	Занесення диплома в електронний архів	17 травня 2021р.	виконано
10.	Допуск до захисту у зав. кафедри	17 травня 2021р.	виконано

Дата видачі завдання 25 січня 2021 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Ревенчук І. А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 79 сторінок, 34 рисунки, 24 використаних літературних джерел.

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА РОБОТА, ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, AR, ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА, ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА ДОПОВНЕНОЇ, GUI, UI, UX МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК.

У ході науково-дослідницької роботи було проведено огляд наукової і патентної літератури по темі дослідницької роботи, виходячи з цього був проведений аналіз сучасних інтерфейсів користувача доповненої реальності та створено рекомендації по проектуванню інтерфейсів доповненої реальності.

Метою науково-дослідницької роботи є вирішення проблем сучасних програмних систем, які використовують доповнену реальність. Об'єктом дослідження є інтерфейс користувача доповненої реальності. Вирішення проблем дозволить поліпшити взаємодію користувача з доповненою реальністю.

The explanatory note contains 79 pages, 34 figures, 24 used literature sources.

RESEARCH WORK, AUXILIARY REALITY, AR, GRAPHIC USER INTERFACE, USER INTERFACE SUPPLEMENTED, GUX, UI, UI

In the course of research work, a review of scientific and patent literature on the topic of research work was conducted, based on this, an analysis of modern augmented reality user interfaces was conducted and recommendations for designing augmented reality interfaces were created.

The purpose of research is to solve problems of modern software systems that use augmented reality. The object of research is the augmented reality user interface. Solving problems will improve user interaction with augmented reality.

Я, Агарков Єгор Сергійович, студент гр. ПЗМ-19-1, здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні кафедри «Програмна інженерія», заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему «Дослідження методів проектування AR-інтерфейсів для розробки зручних додатків доповненої реальності», що буде представлена в екзаменаційну комісію для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в електронному архіві відкритого доступу EIArKhNURE. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим положенням «Про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ І ПАТЕНТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ, АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Огляд наукової і патентної літератури	10
1.2 Аналіз проблем інтерфейсів доповненої реальності	15
1.3 Постановка задачі дослідження.....	16
2. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
2.1 Принцип роботи доповненої реальності.....	17
2.2 AR-реалізація на основі маркерів.....	22
2.3 Практична AR-реалізація	27
2.4 Сучасні AR-пристрої	30
2.5 Огляд методів оцінки інтерфейсів доповненої реальності	32
2.5.1 Евристична та експертна оцінки	32
2.5.2 Карткове сортування	33
2.5.3 Анкетування	34
2.5.4 Методи швидкої оцінки	36
3. АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ	37
3.1 Існуючі можливості та обмеження при проектуванні інтерфейсів доповненої реальності	37
3.2 Типи контенту доповненої реальності.....	37
3.3 Взаємодія користувача з доповненою реальністю	39

3.4 Розміщення індикаторів, попереджень, направляючих та контенту у просторі	40
3.5 Проектування елементів та зовнішнього вигляду інтерфейсу	44
4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	
ДОСЛІДЖЕННЯ	50
ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	57

ВСТУП

Однією з головних тенденцій, що зазначаються спеціалістами на ринку інформаційних технологій, є поширення технології доповненої і віртуальної реальності, що в свою чергу обумовлює поширенням мобільних пристроїв, особливо в сегменті смартфонів.

Доповнена реальність (AR) - це технологія, яка дозволяє накладати інформацію в формі зображень, тексту, звуків та інших різноманітних об'єктів віртуального світу на об'єкти реального світу в режимі реального часу. Взаємодія обчислювального пристрою з зображенням реального миру є особливістю AR і цим вона відрізняється від віртуальної реальності.

AR має дуже великий потенціал зробити взаємодію людини з інформацією зручнішою. Дані автоматично будуть надаватися користувачеві у необхідному контексті в залежності від типів ситуацій повсякденного життя.

Визначення AR було введено недавно. Спочатку цей термін був запропонований дослідником Томом Коделом в 1990 році, який в той час працював в компанії Boeing. У 1997 році, Рональд Т. Азума в своєму дослідженні, присвяченому різним способам використання доповненої реальності, дав їй досить просте визначення - це система, яка:

- здійснює поєднання віртуального і реального;
- взаємодіє в реальному часі;
- розташовується в тривимірному просторі.

AR, за Азумою, є різновидом віртуальної реальності, але з одним застереженням: доповнена реальність інтегрується і доповнює справжній світ замість того, щоб повністю його замінити, як це робить віртуальна реальність.

Багато аналітичних компаній прогнозують зростання популярності технологій доповненої і віртуальної реальності в сучасній культурі. Дані прогнози цілком виправдані, тому що вже зараз лідери серед ІТ-компаній готові вкладати величезні кошти в розвиток доповненої і віртуальної реальності. Підвищення

інтересу до технологій доповненої і віртуальної реальності спостерігається також серед споживачів. Даний факт можна простежити по динаміці пошукових запитів за допомогою сервісу Google Trends.

Зростання популярності даних технологій пов'язаний з ривком в їх розвитку, які досягли такого рівня, коли уявлення про дані технології стали відповідати очікуванням. Зокрема, Tom's Hardware, широко відоме інтернет-видання, присвячене комп'ютерним технологіям, опублікувало статтю, у котрій був зроблений огляд найбільш явних переваг доповненої і віртуальної реальності на даний момент, в порівнянні з минулими розробками [1].

Метою даної дослідницької роботи є вирішення існуючих, на сьогоднішній день, проблем інтерфейсів доповненої реальності. AR -інтерфейси через, які користувач взаємодіє з доповненою реальністю – це об'єкт дослідження. Результати дослідницької роботи можна використовувати для проектування зручних AR-інтерфейсів, які в свою чергу поліпшать взаємодію людей з доповненою реальністю. У пояснювальній записці дослідницької роботи описані існуючі типи інтерфейсів AR, методи їх проектування, як користувачі взаємодіють з тим або іншим типом інтерфейсу, з якими проблемами зіштовхуються при взаємодії з ними. Також описано реалізовані, у ході роботи, інтерфейси.

Підводячи підсумок, варто сказати, що на сьогоднішній день ринок технологій доповненої реальності тільки починає розвиватися і застосування технологій не обмежується лише сферою розваг та ігор. Уже сьогодні проекти з їх використанням допомагають не тільки створювати концептуально нові ринки, а й розширювати вже існуючі.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Огляд наукової і патентної літератури

AR, якою ми її знаємо зараз, починає історію з розробки віртуальної реальності. Першопроходцем у цьому напрямку вважається Мортон Хейлінг. Першим пристроєм, який отримав патент у сфері віртуальної реальності, був “Sensorama” (рис. 1.1). Це найвідоміший винахід Мортон Хейлінга і причина, по якій його називають батьком віртуальної реальності. Машина “Sensorama” була розроблена в 1957 році і запатентована в 1962 році під номером патенту № 3,050,870 [2]. Це був досить громіздкий прилад, у якому ефект присутності досягався шляхом впливу на всі основні органи чуття одночасно: екран демонстрував запис «від першої особи», сидіння тремтіло, динамік транслював звуки живої вулиці, в камеру надходили відповідні запахи. Хоча “Sensorama” не був пристроєм доповненої реальності, але саме його розробка стала поштовхом для розвитку AR.

У 1968 році Едвард Айвен Сазерленд, американський вчений в області інформатики, разом зі своїм студентом Бобом Спрауллом розробили прилад, котрий отримав назву “Дамоклів Меч” (рис 1.2). Саме це була перша у світі система доповненої реальності, на основі головного дисплею. В окуляри з стереоскопічним дисплеєм транслювалося зображення з комп’ютера. Перспектива спостереження за об’єктами змінювалася залежно від того, як рухав головою користувач, для цього знадобився механізм, що дозволяє відслідковувати напрямок погляду.

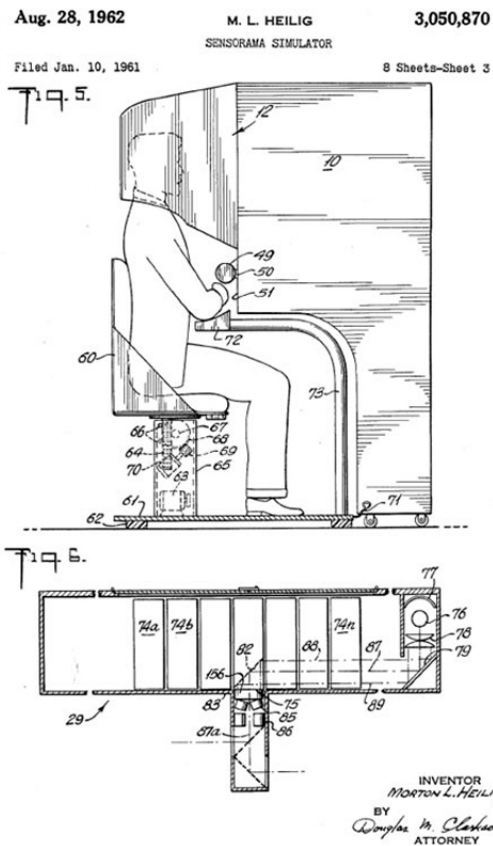


Рисунок 1.1 – Модель пристрою “Sensorama”

Хоча, за словами Івана Сазерленда, “Дамоклів Меч” насправді був назвою механічної системи стеження, а не фактичним НМД, який просто називався «системою відображення на голові». Хоча Мортон Хейлінг створив свій апарат “Sensorama” раніше і запатентував його в 1962 році, але його пристрій не дозволяє відстежувати рухи голови.

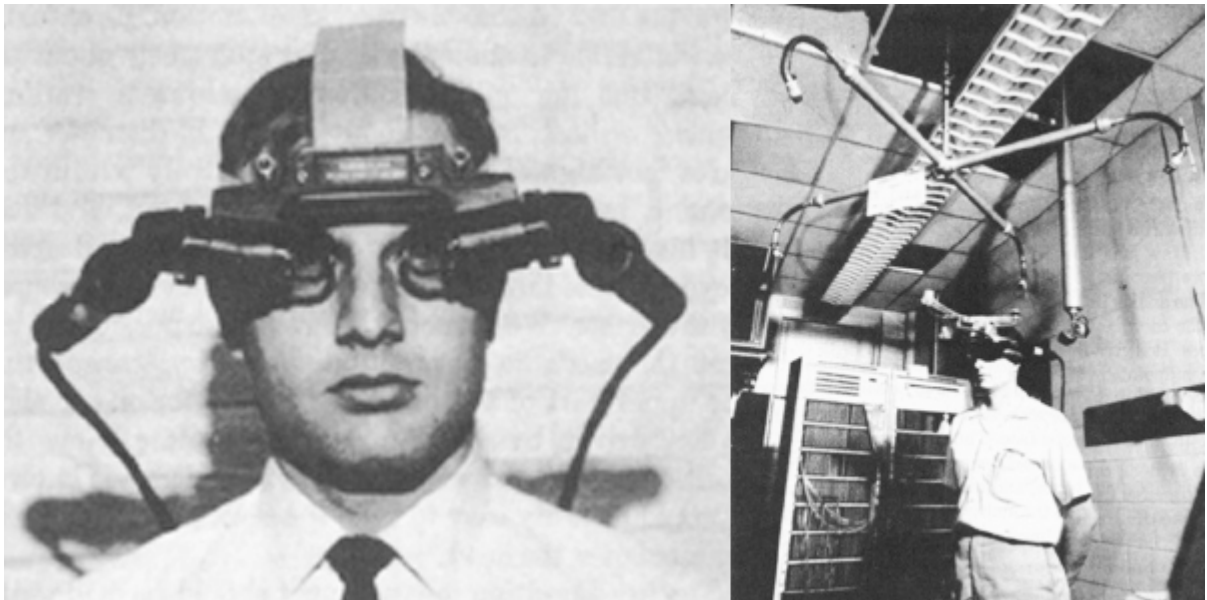


Рисунок 1.2 – Пристрій “Дамоклів Меч”

У 1974 році Майрон Крюгер зробив так, що для взаємодії з доповненою реальністю не потрібно надягати спеціальні шоломи, окуляри та інші пристрої. Для взаємодії використовувалися проектори, відеокамери та інше обладнання. Користувачі, перебуваючи в різних кімнатах, могли взаємодіяти між собою. Рухи, які вони здійснювали, записувалися на відео, аналізувалися і перевелися в штучну реальність. Користувачі бачили, як їх силуети взаємодіють з об'єктами на екрані і це створювало враження, що вони частина штучної реальності.

У 1978 році, Стів Манн розробив перший пристрій для доповненої реальності, який не потрібно було прикріплювати до стелі. У “EyeTap” за допомогою камери і дисплея, середа доповнилася в реальному часі. Цей винахід став прототипом для майбутніх проектів, хоча масово ніколи не використовувався.

Вперше масове застосування AR стало можливим завдяки Дену Рейтону, який в 1982 році використав камери і радари в космосі для того, щоб показати рух циклонів, вітрів та повітряних мас в прогнозах погоди по телебаченню. У цій сфері AR і сьогодні використовується таким чином. У 90 роки минулого століття пошук нових методів використання технології продовжився, а вчений Том Коделл вперше запропонував термін «доповнена реальність».

В університеті штату Колумбія Стів Файнер у 1993 році представив систему KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance, що можна перекласти приблизно як «Інтерактивний помічник з обслуговування»), яка дозволяє користувачу через шолом віртуальної реальності використовувати інструкцію для обслуговування принтера, яка була інтерактивною (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Пристрій KARMA

У 1995 Джун Рекімото створив NaviCam. Цей пристрій був прототипом мобільного пристрою доповненої реальності, якою вона і сьогодні відома користувачам смартфонів (рис. 1.4). NaviCam являв собою портативний дисплей із закріпленою на зворотному боці камерою, відео з котрої обробляється комп'ютером і, при виявленні кольорової мітки, він виводив на дисплей інформацію про об'єкт.



Рисунок 1.4 – Пристрій NaviCam

1998 року НФЛ вперше використала AR, яку розробила компанія Sport Vision, в прямій трансляції спортивних ігор. Під час матчів на зображення з камери, котра показувала ігрове поле, додавалися технічні лінії та інформація про рахунок.

У 1999 NASA застосувала AR в приладовій панелі космічного апарату X-38, який навчився відображати об'єкти на землі незалежно від погодних умов і того, якою була реальна видимість.

І в тому ж 1999 році Хироказу Като створив відкриту бібліотеку для створення програмного забезпечення з AR-функціоналом ARToolKit. У цій бібліотеці використовувалася система розпізнавання положення і орієнтації камери в реальному часі. Це дозволило стикувати зображення реальної і віртуальної камер, що давало можливість рівно накладати шар комп'ютерної графіки на маркери реального світу.

Можна сказати, що з релізом першої версії цієї бібліотеки почався сучасний етап активного розвитку доповненої реальності.

Отже доповнена реальність – це певне середовище, що доповнює наш фізичний світ цифровими даними за допомогою різноманітних пристроїв (смартфонів, планшетів, смарт-окулярів).

1.2 Аналіз проблем AR-інтерфейсів

Серед графічних AR-інтерфейсів існують певні проблеми. Для графічних AR-систем основною проблемою є розпізнавання образів на зображенні. Це необхідно для ідентифікації навколишнього середовища, в залежності від якої будуються віртуальні об'єкти. Людина мислить категоріями - певними збірними образами, з якими вона зіставляє видимі об'єкти. Те ж саме необхідно зробити і для систем доповненої реальності. В даний час не існує систем, здатних безпомилково розпізнати будь-який об'єкт. Кожна конкретна система здатного ідентифікувати тільки певну групу об'єктів, яка визначається призначенням системи. Процес ідентифікації зводиться до наступних етапів:

- побудова контуру (форми) об'єкта;
- побудова одновимірної функції з двовимірної форми об'єкта;
- порівняння отриманої функції з еталоном для її ідентифікації.

Однак тут виникає і ще одна проблема - класифікація об'єктів для завдання еталонів. Наприклад, візьмемо такий об'єкт, як будинок. До цієї категорії можна віднести і невеликий одноповерховий склад, і хмарочос. При цьому зразки таких об'єктів будуть значно відрізнятися.

Також існує ряд проблем, характерних для всіх систем доповненої реальності. Це проблеми, пов'язані з побудовою віртуальних об'єктів:

- організація сховища віртуальних об'єктів і засобів доступу до нього;
- забезпечення необхідного ступеня реалістичності віртуальних об'єктів;

- узгодження віртуальних об'єктів зі сценою.

Система AR може оперувати цілим набором віртуальних об'єктів, які відтворюються в залежності від конкретної ситуації. Тому необхідно організувати це сховище об'єктів таким чином, щоб система могла отримати до них швидкий доступ. Об'єкт може зберігатися в будь-якій формі, що придатна для наступної інтерпретації: функція або опис методу побудови, список полігонів для графічних об'єктів, зображення, звуковий файл. Спосіб представлення об'єктів багато в чому залежить від призначення системи і її обмежень. Вибір або розробка способу уявлення також є однією з проблем систем доповненої реальності [3]. Також однією з проблем доповненої реальності є взаємодія користувача з нею.

1.3 Постановка задачі дослідження

Предметом дослідження є методи проектування AR-інтерфейсів для розробки зручних додатків доповненої реальності.

Об'єктом дослідження - є AR-інтерфейси користувача д), проаналізувавши які, можна буде поліпшити взаємодію людини з AR.

Основними задачами роботи є:

- аналіз проблем, щодо існуючої взаємодії інтерфейс-людина;
- аналіз способів розв'язання цих проблем;
- аналіз методів проектування різноманітних типів інтерфейсу;
- спираючись на результати дослідження розробити варіанти зручного інтерфейсу.

Використання запропонованого підходу дозволяє поліпшити взаємодію людей з AR та збільшити кількість користувачів додатків, які використовують цю технологію.

2 МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ AR

2.1 Принцип роботи AR

Основними методами реалізації доповненої реальності - це розпізнавання образів та розпізнавання маркерів. Для розпізнавання образу розробник повинен додати фотографії об'єкта і позначити загальні параметри для об'єкта, найрозповсюдженішим додатком можна назвати розпізнавання рис обличчя людини, на яке додається маска або інші косметичні предмети. Для відстеження маркеру необхідно надрукувати зображення або створити мітку, по якій система визначає положення і розміщує об'єкт на площині. Також варто відмітити технологію SLAM (Simulation Localization and Mapping), метод одночасної локалізації і побудови карти, при якому зображення розподіляється на геометричні об'єкти і лінії, а потім система виділяє ключові точки і запам'ятовує їх (рис 2.1). Завдяки цій технології, система доповненої реальності, набагато краще орієнтується в просторі [4].

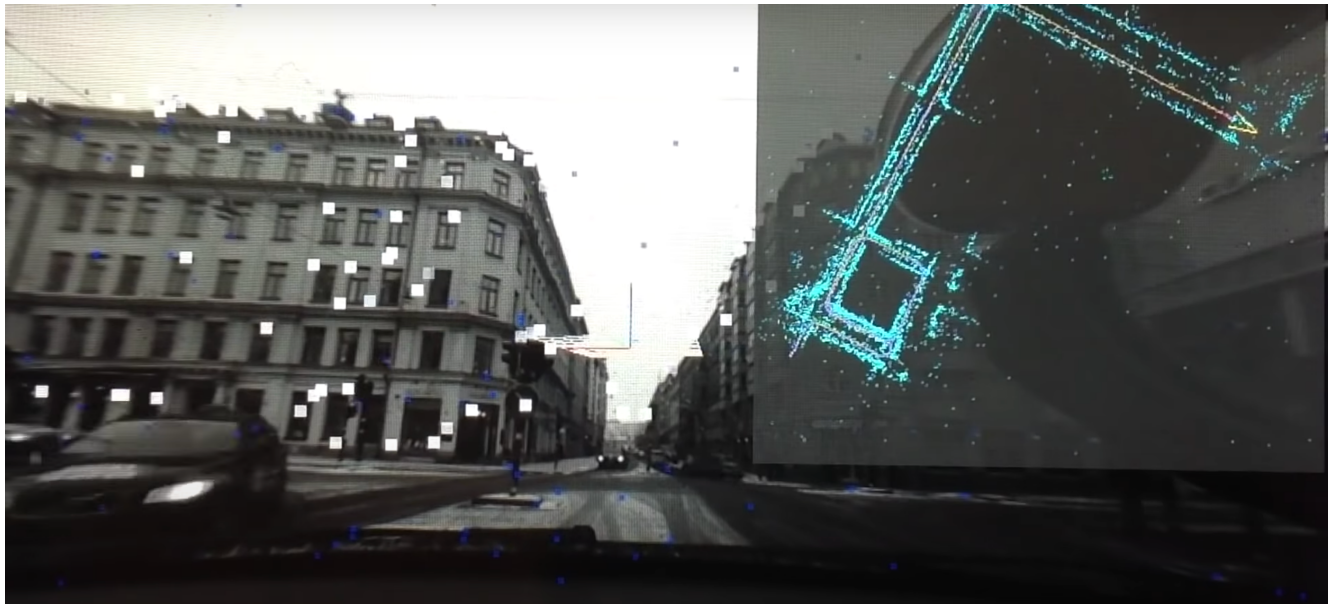


Рисунок 2.1 – Демонстрація дії методу SLAM

У зв'язку з величезною кількістю високотехнологічних смартфонів, варто відзначити вплив найбільших компаній, таких як Google, Apple на AR-технологію, тим самим з'явилася можливість використання цієї технології кожним, без покупки іншого дорогого обладнання. Так, наприклад, компанія Apple представила середу для розробників ARKit (рис. 2.2), в якій є можливість створювати об'єкти з прив'язкою до конкретних місць, розпізнавання об'єктів і відстежуванням зображень, спільна робота і взаємодія з віртуальними елементами [5]. У Google є своє середовище ARCore, яке: використовує камеру смартфона і гіроскоп для визначення смартфона у просторі, тим самим при переміщенні приладу об'єкт залишається нерухомим; є можливість розпізнавання горизонтальних поверхонь без міток; оцінка освітлення і освітлення об'єкта відповідно до навколишнім оточенням, завдяки цьому об'єкт виходить найбільш реалістичним.



Рисунок 2.2 – Демонстрація ARKit на конференції WWDC 2018

На сьогоднішній день існує декілька видів алгоритмів розпізнавання об'єктів і зображень, які застосовуватимуться для створення AR. AR досягається двома

принципами побудови: на основі координат місцеположення користувача, на основі маркера. У першому варіанті все досить просто і застосовується на мобільних пристроях, використовуючи дані з акселерометра, гіроскопа, GPS-приймача, створюється ефект присутності. Куди ж більш цікавий і складний принцип на основі маркерів. Під маркером слід розуміти об'єкт, розташований в доступному для огляду просторі, який, за допомогою спеціального програмного забезпечення, знаходиться і аналізується для подальшої постановки віртуальних об'єктів. Отримана інформація про стан маркера в просторі, програма використовує для досить точного проектування віртуального об'єкта, в слід чого і виникає ефект фізичної присутності в навколишньому просторі [6].

Один з найпростіших алгоритмів розпізнавання в AR - це генетичний алгоритм. Генетичні алгоритми - це евристичні алгоритми пошуку, які використовуються для вирішення завдань оптимізації та моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, які нагадують біологічну еволюцію.

Даний алгоритм спочатку вимагає навчання, для коректного розпізнавання заданих маркерів. Навчання будуються на порівнянні двох зображень, коректного, з шуканим об'єктом, і некоректного, на якому відсутній шуканий об'єкт. Чим більше даних навчаючих зображень, тим краще працює алгоритм. Можна привести такий приклад використання даного підходу: алгоритм розпізнавання очей та осіб на відео. Якщо постійно навчати даний алгоритм, можливо домогтися гарних результатів знаходження певного класу об'єктів.

Також існує і більш складний і якісний метод. "Feature detection", цей метод націлений на обчислення абстракцій зображення і виділення на ньому ключових особливостей. Найчастіше для визначення маркерів на зображенні використовуються алгоритми, які виконують пошук і порівняння отриманих зображень по ключовим точкам. Ключова точка - це певна ділянка зображення, яка є характерною для заданого зображення. Для їх знаходження і подальшого порівняння використовується три складові:

- детектор - здійснює пошук ключових точок на зображенні;

- дескриптор - виробляє опис знайдених ключових точок;
- матчер - здійснює побудову відповідностей між двома наборами точок.

Яким чином працює доповнена реальність? Для цього необхідно використовувати вже готову бібліотеку OpenCV (або аналогічні бібліотеки), вона допоможе з пошуком маркера на відео з подальшим відображенням віртуального об'єкта. Для побудови тривимірного простору треба знайти дві матриці: внутрішню (intrinsic matrix) та зовнішню (extrinsic matrix). Після цього, використавши методи OpenGL, можна нарисувати віртуальний об'єкт поверх маркера.

Матриця проєкції або внутрішня матриця (рис. 2.3) складається з параметрів використовуваної камери: фокальної відстані по двох осях (f_x, f_y) і координат центру фокуса (c_x, c_y).

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Рисунок 2.3 – Внутрішня матриця

Матриця моделі або зовнішня матриця - це матриця перетворень моделі за допомогою розтягування, повороту і перенесення (рис. 2.4). Вона дозволить однозначно задати положення об'єкта в просторі.

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix}$$

Рисунок 2.4 – Зовнішня матриця

За розтягнення моделі відповідають діагональні елементи. За поворот об'єкту в просторі відповідають елементи r . Елементи t відповідатимуть за перенесення.

Її обчислення виконується шляхом визначення чотирьох пар точок об'єкта та відповідного його положення в кадрі. Точки положення в кадрі - це вершини чотирикутника, що описує (обмежує) об'єкт в кадрі. Отримати дані точки можна, якщо подіяти на крайні точки шаблону гомографією. Сконструйовані матриці потім використовуються для обчислення вектору повороту і перенесення з подальшим занесенням в матрицю моделі [7].

Процес зображення для автоматичного виявлення маркера зображено на рис. 2.5 [8], де:

- (а) - початкове зображення,
- (б) - результат застосування локального порогового значення,
- (в) - виявлення контуру,
- (г) - полігональна апроксимація і видалення непотрібних контурів,
- (д) - приклад маркера після перетворення перспективи,
- (є) - призначення бітів для кожного осередку.

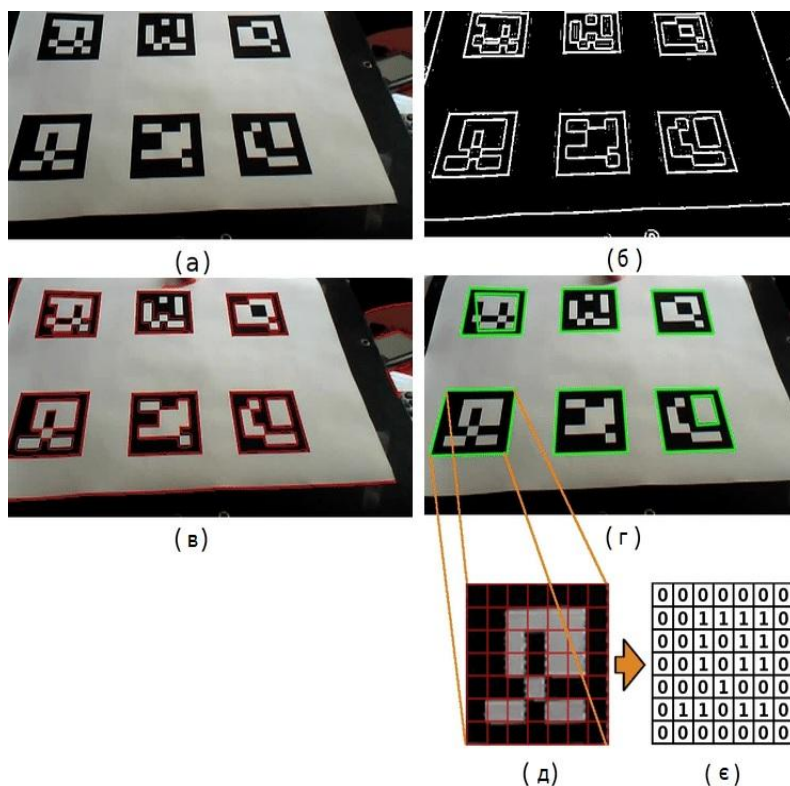


Рисунок 2.5 - Процес зображення для автоматичного виявлення маркера

Для розрахунку системи просторових координат сцени по довільному набору точок слід розрахунки проводити в динамічній системі (а не в статистиці) з використанням алгоритму розпізнавання особливих точок, де аналіз ряду зображень і характеру руху веб-камери дасть відсутню інформацію про сцену.

2.2 AR-Реалізація на основі маркерів

Ключовою особливістю AR у порівнянні з іншими інструментами обробки зображень є те, що віртуальні об'єкти переміщуються та обертаються у 3D-координатах замість 2D-координат зображення.

Основними цілями AR є аналіз змін у захоплених кадрах камери та правильне вирівнювання віртуальних даних у сцені камери на основі результатів відстеження. У свою чергу, підхід, заснований на маркерах, забезпечує точне відстеження за допомогою візуальних маркерів, наприклад, двійкових маркерів (ARUCO, METAIO тощо) або з фотографією реальних площинних об'єктів у кадрі камери. Спрощена схема AR системи представлена на рис. 2.6.

Давайте детально розглянемо блок-схему AR-системи. Спочатку нам потрібно мати маркерне зображення та витягти послідовні кадри камери. Модуль відстеження на блок-схемі (рис. 2.6) є ядром системи доповненої реальності. Він обчислює відносну позицію (pose) камери на основі правильно виявленого та розпізнаного маркера в сцені.

Термін "pose" означає позицію шести ступенів свободи (DOF), тобто 3D-розташування та 3D-орієнтацію об'єкта. Модуль відстеження дозволяє системі додавати віртуальні компоненти як частину реальної сцени. Оскільки ми маємо справу з кадрами камери в 2D-системі координат, необхідно використовувати проєктивну геометрію для віртуального збільшення об'єктів 3D.

Виявлення та розпізнавання. У разі відстеження за допомогою двійкового маркера першим необхідним є надрукувати потрібний маркер і поставити його перед камерою. Ця вимога є очевидним недоліком алгоритму відстеження.

Алгоритм виявлення дуже простий і базується на природі маркера:

- застосування адаптивного порогового значення для вилучення країв;
- вилучення замкнених контурів з двійкового зображення;
- фільтрація контурів;
- наближення контурів та виявлення контурів чотиригранної форми.

Після вищевказаних кроків кандидати на маркери зберігаються для подальшого розпізнавання маркера.

Кожен кандидат перекошений у фронтальний вид і розділений на блоки. Завдання алгоритму розпізнавання - витягти двійковий код у кандидата на маркер та порівняти його з кодом справжнього маркера. Найбільш схожий кандидат розглядається як відповідний маркер.



Рисунок 2.6 - Спрощена схема AR-системи

На рис. 2.7 представлений приклад сцени та те, як здійснюється виявлення та розпізнавання двійкового маркера.



Рисунок 2.7 - Сцена з двійковим маркером (ліворуч) та виявленим маркером (праворуч)

Досконаліший алгоритм відстеження за допомогою фото-маркера дозволяє позбутися розміщення синтетичних двійкових маркерів на сцені. Досить просто сфотографувати площинний об'єкт у реальній сцені та використовувати його як маркер.

Методи, засновані на локальних особливостях, є найбільш загальними для цього завдання. Хорошими кандидатами для таких завдань є надійні дескриптори SURF [9] або один із двійкових дескрипторів: ORB [10], FREAK [11], BRIEF [12], BRISK [13] або LATCH [14]. Зіставлення локальних дескрипторів, як правило, здійснюється за допомогою звичайного збігу Brute Force або з більш ефективним алгоритмом FLANN. Як результат, після узгодження даних може бути здійснено збільшення даних. Схема такого рівня наведена на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 - Алгоритм відстеження на основі зображень

Приклад збільшення віртуального об'єкта за допомогою реального плоского маркера в сцені представлений на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 - Приклад збільшення віртуального об'єкта за допомогою реального плоского маркера

Цей спосіб також має деякі недоліки. Це досить велика кількість обчислень на етапах виявлення ознак, обчислення дескрипторів та відповідності ознак.

2.3 Практична AR-реалізація

Віртуальні та цифрові лабораторії є дуже цінним середовищем для залучення учнів до науки. Це особливо важливо для отримання лабораторного досвіду майбутніми інженерами в галузі науки, техніки, техніки та математики [15]. Віртуальна лабораторія містить віртуальні лабораторні роботи (VLW). У більшості випадків VLW - це спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє користувачам експериментувати з віртуальними пристроями.

Інтерактивний дизайн віртуальних пристроїв був описаний у VLW, що передбачає математичне моделювання, можна вважати віртуальним симулятором. Машинне забезпечення педагогічного процесу дає можливості для самостійного досвіду тих, хто навчається, та їх виконання в класах та лабораторіях [16, 17].

Віртуальна лабораторія електронної мікроскопії для вимірювань представлена на рис. 2.10.



Рисунок 2.10 - Вид віртуальної лабораторії

Студент також має можливість не лише взаємодіяти з пристроями, а й пересуватися по віртуальній лабораторії [18]. Панелі інструментів та кнопки виділяються, коли учні, які наводять курсор на них, наводять курсор, що забезпечує інтерактивну поведінку програми. Основним двигуном Unity 3D був обраний для розвитку віртуальної лабораторії [19-20]. Він досить доступний для того, щоб стати чудовим місцем для початку розробки вмісту VR, але це професійний механізм, що використовується великою частиною студій VR, який може досягти багатьох найвищих графічних ефектів. Веб-сайт Unity дозволяє завантажувати єдність (особисте видання безкоштовне). У цій лабораторній роботі студент має справу з установкою віртуального електронного мікроскопа [21]. Всі прилади, що працюють у віртуальній лабораторії, за дизайном схожі на реальне обладнання. Перед виконанням лабораторних робіт необхідно передати контрольний список на віртуальному планшеті [22]. Панель управління відеооператора показана на рис. 2.11.

Зображення поверхні, отримане електронним мікроскопом, відображається на відеоекрані. Подібно до реального пристрою, віртуальний відеооператор може працювати із зображенням.

Керуючись завданням, студент робить необхідні процедури із зображенням. Здійснено інтерактивну зміну масштабу, яскравості та контрастності зразкового зображення. У VLW використовуються зображення реальних поверхонь зразків. Процес віртуальних вимірювань довжини піраміди на поверхні зразка кремнієвих сонячних елементів представлений на рис. 2.11.

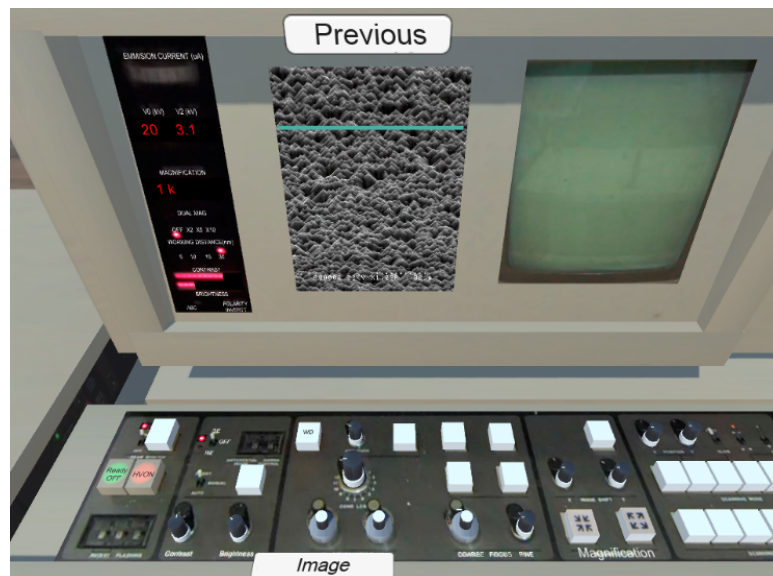


Рисунок 2.11 - Панель управління відеооператора

Оскільки масштаб зображення та кут нахилу зразка пластини добре відомі, поверхню можна точно дослідити. Ці операції дуже важливі, оскільки вони в основному використовуються в промисловості для контролю якості зразків [23-25].

Відповідно, за допомогою цього програмного забезпечення користувач може модифікувати та вдосконалити продукт, або навіть використовувати існуючі елементи, спеціально розроблені для цієї роботи, та створити нові лабораторні роботи.

2.4 Сучасні AR-пристрої

AR -технологія дозволяє в реальному часі накласти на зображення , досить складні й деталізовані віртуальні об'єкти, які сприймаються як реальні. Перша AR-система була розроблена військовими США в 1992 році.

Хоча поняття і концепції доповненої реальності не зазнали радикальних змін за останні 30 років, цього не можна сказати про самі технології. AR технології пройшли значний еволюційний шлях, як в плані удосконалення пристроїв і програмного забезпечення, так і контенту.

Першим сучасним пристроєм доповненої реальності можна назвати Microsoft Hololens, обробка інформації відбувається за допомогою вбудованого процесору, можливості якого здатні обробляти гігабайти даних на самому пристрої (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Microsoft Hololens

Також ці окуляри є найпопулярнішими при згадках AR, але, на жаль, цей пристрій до цих пір знаходиться на доопрацюванні і використовують його лише журналісти і розробники. Більшість відгуків про Hololens позитивні і описують як незабутній досвід використання (рис. 2.13). Ще одним пристроєм, який є результатом прогресу в області доповненої реальності є Magic Leap. На відміну від Hololens, ці окуляри підключаються до невеликого комп'ютера, який, як запевняє автор, по потужності дорівнює потужному комп'ютеру. За словами розробника,

окуляри можна використовувати для ігор, інтернет-серфінгу, онлайн покупок, відображення різної інформації, віртуального спілкування і творчості.

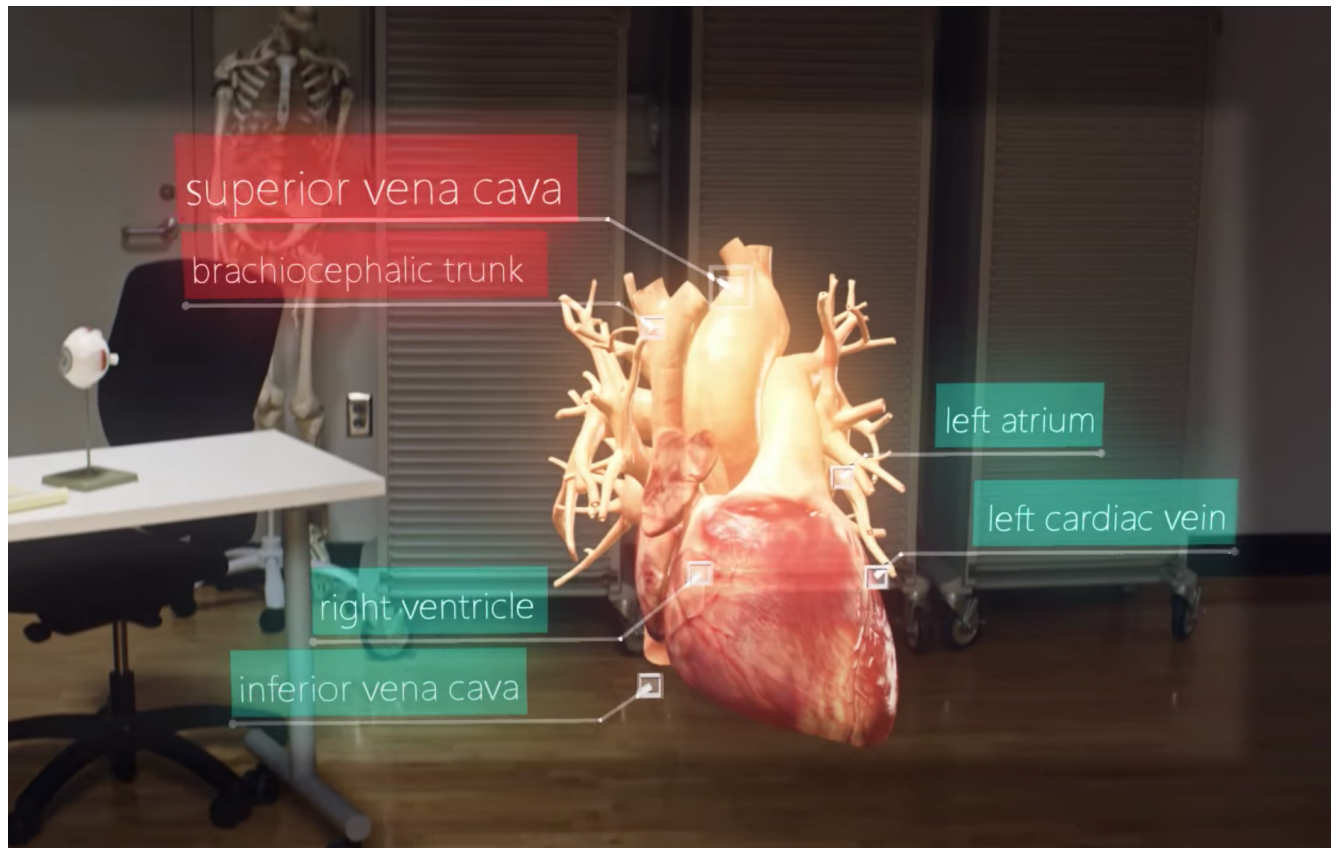


Рисунок 2.13 – Графічний інтерфейс користувача Microsoft HoloLens

Сьогодні на ринку є такі AR-пристрої:

- розумні окуляри;
- шоломи.

За допомогою технології комп'ютерного зору автономні і компактні пристрої з вбудованими датчиками і камерами дозволяють аналізувати простір навколо користувача, формувати карту простору для орієнтування в ній. Більшість окулярів мають функцією розпізнавання голосу і рухів, ними можна управляти, без допомоги рук. Зображення проєктуються на лінзи окулярів або спеціальні міні-дисплеї, немає необхідності в додаткових мітках для генерації контенту.

Бінокулярні моделі окулярів і шоломів:

- HoloLens;
- DAQRISmartGlasses;

- Meta 2.

Монокулярні моделі окулярів і шоломів:

- GoogleGlass;

- Vuzix M3000.

Мобільні пристрої. Практично будь-який сучасний смартфон або планшет може стати пристроєм доповненої реальності, досить лише встановити відповідну програму. Для розпізнавання об'єктів найчастіше застосовуються маркерна технологія, маркерами можуть виступати QR-коди, згенеровані точки, логотипи, комп'ютерний зір і розпізнавання осіб.

Інтерактивні стенди і кіоски, що проектуються в доповненій реальності. Ці інструменти широко використовуються в сфері продажів, на різних виставках. Стенди та кіоски представляють собою широкоформатні екрани, котрі дозволяють відображати різноманітні візуальні об'єкти в певному контексті (наприклад, демонстрація певних функцій продукту), переглядати інформацію в інтерактивному режимі. Зображення накладається на будь-яку поверхню або об'єкт.

2.5 Огляд методів оцінки AR інтерфейсів

2.5.1 Евристична та експертна оцінки

Метод оцінки інтерфейсів із залученням експертів дуже популярний: згідно з дослідженнями, він займає друге місце після юзабіліті-тестувань. Дуже часто ці два методи використовуються разом: експертна оцінка - для формування гіпотез проблем, а юзабіліті-тестування - для їх перевірки. Між евристичної і експертною оцінкою є різниця: у першому випадку фахівці оцінюють інтерфейс за певними заданими списками - евристикам (по суті, це набір параметрів для оцінки, простіше кажучи, чек-лист). Існує дуже багато вже готових евристик і готових чек-листів, які можна використовувати, для проведення евристичної оцінки.

При використанні експертної оцінки, дослідник спирається тільки на свій досвід. Більш якісні результати можна отримати, якщо залучити кілька фахівців, так як різні люди зазвичай можуть знайти різні проблеми. Експертну оцінку інтерфейсу повинен проводити досвідчений фахівець з юзабіліті, а евристична може бути проведена і непрофесіоналами при використанні складених чек-листів. В процесі всі залучені експерти працюють окремо, кожному з них пропонується оглянути інтерфейс і записати виявлені проблеми. Після того як всі експерти проведуть аналіз, вони можуть разом обговорити знайдені ними проблеми. Від експертів ми отримуємо список проблем, для кожної з яких фахівець встановлює ступінь критичності: висока, середня, низька. У свою чергу розробникам програмної системи надається список рішень для оцінки трудовитрат. У підсумку можна отримати таблицю, що дає уявлення про те, що потрібно перш за все виправити.

При уявній простоті така оцінка є недосконалою: багато виявлених проблем не є такими, а являють собою результат суб'єктивної думки певного експерта. Однак чим досвідченіший експерт, тим менше неіснуючих недоліків буде виявлено.

2.5.2 Карткове сортування

Цей метод, зазвичай, допомагає виявити існуючі проблеми з навігацією. Якщо інтерфейс користувача погано продуманий, це веде до того, що користувачам важко зрозуміти, як користуватися програмним продуктом. В результаті чого людина, перестає використовувати даний програмний продукт.

Суть карткового сортування: представникам цільової аудиторії видається набір паперових карток з назвами пунктів існуючого каталогу, а також кілька порожніх карток на випадок, якщо опитуванні забажають вписати щось своє. Потім

учасникам сортування пропонують розкласти картки в групи і дати кожній групі загальну назву. Такий метод називається відкритим картковим сортуванням.

При закритому картковому сортуванні учасники отримують картки з назвами пунктів меню або матеріалів і готовий список основних груп, в які потрібно помістити ці картки. Цей метод часто використовується, коли в інтерфейсі з'явилася нова інформація і її треба вписати в існуючу структуру.

В результаті сортування ми отримуємо ієрархічну організаційну схему, яка показує, яким чином користувачі представляють програмну систему, яким чином користувачі групують інформацію. Корисно попросити учасників сортування в кінці тесту знайти інформацію в тій структурі, яку вони самі створили: так можна перевірити, чи уважно вони ставилися до виконання завдання. Також можна попросити учасників виділити ті матеріали на картках, до яких вони б зверталися найчастіше при використанні подібного програмного продукту. Таким чином можливо дізнатися, до якої інформації користувачі будуть звертатися найчастіше і надати найпростіший доступ до неї.

Найголовніший плюс цього методу – можливість спроектувати досить зручну структуру інтерфейсу програмного продукту, яку спроектували самі користувачі, а не менеджер проекту або дизайнер на підставі своїх здогадок. Головний недолік методу в тому, що використовувати його для великих, складних програмних продуктів, специфічної тематики досить важко. Цей спосіб оптимальний для однорідних по структурі програмних систем.

2.5.3 Анкетування

Анкети використовуються на багатьох етапах життя програмної системи: починаючи від стадії створення з метою дізнатися потреби цільової аудиторії, закінчуючи доповненням до юзабіліті-тестування. Розглянемо деякі види анкет.

Анкета прикметників - являє собою список прикметників і їх антонімів, якими ми можемо описати дизайн інтерфейсу.

Процес анкетування виглядає таким чином: демонструємо цільовій аудиторії різноманітні варіанти дизайну інтерфейсу і просимо підкреслити ті прикметники, якими вони б охарактеризували своє враження від ресурсу. Для такого тесту досить опитати 7-10 представників цільової аудиторії і на підставі результатів вибрати той варіант дизайну, який найбільшою мірою викликає «цільові» емоції у користувачів.

Формальна анкета являє собою список тверджень, які користувачі повинні оцінити стосовно себе за десятибальною (або іншою) шкалою. Існує багато готових формальних анкет, наприклад, QUIS (Questionnaire for User Interface Satisfaction), CSUQ (Computer System Usability Questionnaire) або PUEU (Perceived Usefulness and Ease of Use) від компанії IBM. Далі наведено приклад, таких тверджень:

- використання системи в моїй роботі дозволить мені виконувати завдання швидше;
- почати роботу було легко, я не зіткнувся з будь-якими труднощами;
- для мене буде просто стати досвідченим у використанні цієї системи;
- під час виконання тестових завдань я помилявся;
- система працює досить швидко;
- мені подобається зовнішній вигляд інтерфейсу;
- систему можна легко налаштувати під мої потреби;
- у будь-який момент часу я розумів, що повинен зробити далі;
- система дає повідомлення про помилки, які ясно говорять мені, як виправляти проблеми.

Такі опитування найчастіше використовуються в завершенні юзабіліті-тестування і дозволяють з'ясувати задоволеність користувача програмної системи. Перелік запитань необхідно адаптувати під свою програмну систему.

2.5.4 Методи швидкої оцінки

Наступні два методи оцінки інтерфейсу програмного продукту відносяться до швидких методів оцінки. Перший - коридорний тест. Він виглядає наступним чином: потрібно роздрукувати або малювати на папері макет інтерфейсу користувача зі змінами і підходити з ним до колег по роботі. Якщо є можливість розробити працюючий прототип, то підходити до співробітників можна і зі смартфоном або планшетом. При цьому, показуючи макет колезі, необхідно задавати питання стосовно цього макету: «Що ти очікуєш побачити, якщо виконаєш певну дію?» або «Щоб знайти інформацію / вирішити задачу, де б ви шукали?». Такі питання на тестування очікувань надають можливість зрозуміти, чи однозначно інші люди розуміють ідеї і логіку, які були закладені в інтерфейс.

Найголовніший мінус подібного методу - опитування невеликої кількості нецільових користувачів, на не реальній програмній системі. Однак якщо для прийняття рішення важлива швидкість і потрібен терміновий зворотній зв'язок, то можна використовувати даний метод.

Суть методу п'яти секунд закладена в його назві: ви пропонуєте людині протягом п'яти секунд подивитися на макет, потім забираєте цей макет і питаєте, що вона побачила або запам'ятала. Цей тест дозволяє дізнатися, які елементи інтерфейсу найбільше подобаються користувачам і на що вони звертають увагу в першу чергу [26].

3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТИПІВ AR-ІНТЕРФЕЙСІВ ТА МЕТОДІВ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ

3.1 Існуючі можливості та обмеження при проектуванні AR-інтерфейсів

AR - це цифрове розширення дизайну сучасних пристроїв. У випадку з AR, застосовуються ті ж принципи проектування інтерфейсу користувача, як і в інших користувацьких інтерфейсах, лише з деякими змінами. Замість того, щоб мати фізичні обмеження, користувач тепер має технологічні обмеження і можливості. Тобто, це означає, що реальний світ більше не пов'язує користувачів, однак у ньому все ще існують матеріальні обмеження, обумовлені технологіями. Чудовим прикладом є старі моделі смартфонів і планшетів, без датчиків руху і глибини в порівнянні з більш новими моделями, що мають ці технології. Моделі, які більш старі, не можуть обчислити дані глибини, необхідні для плавного досвіду, тому це обмеження. Однак, є можливість використовувати дані камери для імітації або розрахунку площини.

Хоча це навіть не близько до тієї точності, яку має датчик, це відмінний приклад того, як мислення виходить за рамки сучасних технологічних можливостей. Апаратне забезпечення, як правило, легше оцінити і прогнозувати, на відміну від поведінку користувачів. Для проектування інтерфейсів користувача вкрай важливо виходити за рамки існуючих технологічних обмежень, щоб вони могли допомогти просувати технологію вперед.

3.2 Типи AR контенту

Взаємодія відіграє важливу роль при визначенні досвіду користувача. Основні типи AR- контенту наведені на рисунку 3.1.:

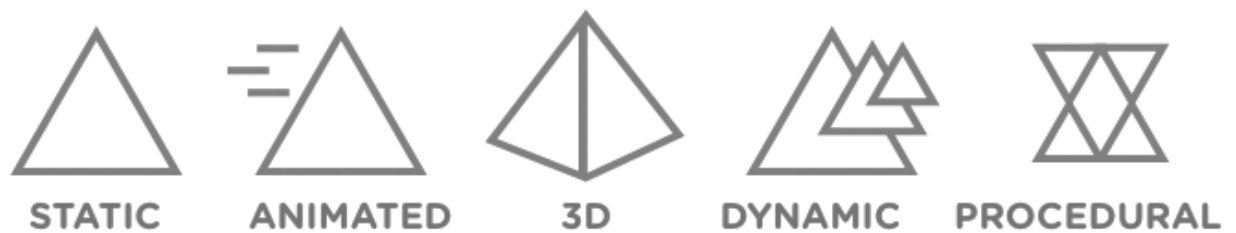


Рисунок 3.1 – Типи контенту доповненої реальності

А саме:

- статичний: цей тип контенту, який залишається без руху і взаємодії;
- анімований: контент, який переміщається по часовій шкалі або слідує послідовності;
- тривимірний: контент, що має ширину, висоту і глибину або даними з координатами x , y , z ;
- динамічний: адаптивний тип контенту, який змінюється при взаємодії або в часі;
- процедурний: цей тип контенту, створений автоматично або алгоритмічно.

Всі ці типи контенту, можуть використовуватися самостійно і також можуть по-різному комбінуватися між собою. Однак важливо розуміти всі ці формати, для того щоб було можливо спроектувати зручний інтерфейс для взаємодії з доповненою реальністю. Наприклад, для інтерфейсу, який вимагає, щоб товар відображав ціну при натисканні: товар представляє собою динамічний 3D-об'єкт, який надає статичний тег. Якщо інтерфейс включає в себе клік по тегу і здійснення покупки, тоді цей тег стає динамічним об'єктом[27].

3.3 Взаємодія користувача з AR

При відображенні поведінки і відносин в AR потрібно вказати, де і як обробляти контент (рис. 3.2). Опис типів AR-контенту та взаємодії з ними включає:

- статичний і фіксований на екрані - цей тип контенту має постійне графічне накладення, закріплене на екрані весь час. Цей метод корисний для постійних елементів, які повинні бути весь час доступні користувачеві. Прикладом цього є меню або підказка повернення;
- статичний і заблокований в просторі - хоча елементи подібного типу контенту заблоковані в просторі, однак вони можуть мати динамічну функцію, коли вони стикаються з користувачем. Цей метод корисний для матеріалів і міток, які повинні бути поряд в просторі з об'єктом або маркером;
- динамічний - в цьому випадку статичний контент стає динамічним. Цей метод дозволяє користувачам розміщувати елементи в певних областях. Це корисно, коли потрібно перемістити певні елементи на будь-яке місце;
- динамічний тримірний – досить зручний спосіб для взаємодії з 3D-моделями і розумінням їх компонентів. Найчастіше використовується для освітніх цілей і розуміння складових частин об'єкта;
- динамічний тримірний і пропорційний в просторі – подібний тип контенту використовує 3D-моделі, котрі вписуються в навколишній простір. Корисно, коли користувач може бачити об'єкт в реальному середовищі з урахуванням освітлення і вимірювань. Часто використовується в комерційних платформах.



Рисунок 3.2 – Типи AR- інтерфейсу

Існує емпіричне правило - вказувати місце розташування (наприклад: екран, простір, об'єкт), тип контенту (наприклад: статичний, тримірний) і стан вмісту (наприклад: фіксований, заблокований, гнучкий).

3.4 Розміщення індикаторів, попереджень, направляючих та контенту у просторі

Як об'єкт додається в простір, може визначити подальший досвід для користувача (рис. 3.3), для цього важливо знати: Чи повинен існуючий контент автоматично розміщуватися в середовищі? Або користувач повинен розміщувати контент власноруч?

- автоматично вставляти контент (наприклад, під час запуску програми об'єкт, з'являється на певній площині (рис. 3.4));
- взаємодія з об'єктом / простором визначає, де буде розміщуватися контент (наприклад, натискання на певний простір, розміщує на ньому об'єкт);
- користувач визначає включення інформації, визначаючи, куди його помістити (наприклад, перетягнути об'єкт у просторі).



Рисунок 3.3 – Розміщення контенту у просторі



Рисунок 3.4 – Приклад додавання об'єкта на площину

Потрібно використовувати індикатори, для того щоб виділити області, в яких користувач може розміщувати контент. Те, яким чином буде відображатися індикатор, також може допомогти вирішити відразу кілька завдань (рис. 3.5). Наприклад, індикатор квадратної форми може бути важливим елементом інтерфейсу, оскільки він вказує на кут і перспективу предметної площині. Він також може вказувати на масштаб контенту відносно простору. Індикатор також може використовувати анімацію або мати послідовність, яка робить взаємодію більш значущою для користувача (наприклад, об'єкт з'являється або об'єкт розгортається з коробки).



Рисунок 3.5 – Схема типів індикаторів

Певні “винагороди” мотивують користувачів продовжувати використання програмного додатку, перейти до наступного кроку або завершити використання. Попередження можуть привернути увагу користувачів програмного додатку, коли вони виконують, певні невірні дії. Потрібно, щоб важливі моменти і дії відображалися з урахуванням всього середовища (наприклад, програвання певної анімації, після досягнення).

Необхідно підготувати і вказати способи оповіщення користувача, якщо об'єкт переміщується або виходить за межі того місця, де знаходиться пристрій. Відеоігри часто використовують умовний знак, який найчастіше має вигляд динамічної стрілки на краю екрану або компаса, що вказує в сторону прихованого вмісту.

Оскільки на даний момент мобільна доповнена реальність включає дотик скляного екрану смартфона, у користувачів може виникати певна невідповідність між тим, що вони хочуть робити, і тим, що вони можуть робити. Немає ніяких гарантій того, що всі користувачі відразу зрозуміють, як взаємодіяти в тримірному просторі на мобільних пристроях. Нижче наведено кілька патернів, які допомагають інформувати користувачів і давати їм підказки протягом усього використання мобільного додатку.

Прив'язка відноситься до автоматичного вирівнювання або посиланням на напрямні (рис. 3.6). Це схоже на магніт, який посилюється з наближенням до іншого магніту (рис. 3.7).



Рисунок 3.6 – Схема взаємодії між AR об'єктами



Рисунок 3.7 – Типи прив'язки об'єктів доповненої реальності

Якщо ви розміщуєте один об'єкт біля іншого в реальному світі, гравітація і фізика створюють обмеження, що перешкоджають проходженню одного об'єкта через інший. В доповненій реальності правила трохи відрізняються, так як проектувальник повинен розроблювати ці обмеження і цю логіку[28].

Нижче наведені приклади:

- прив'язка до об'єкта;
- прив'язати до навколишнього середовища;
- прив'язка до направляючої.

Розглянемо візуалізацію клітин або напрямних, тіней, щоб показати властивості об'єкта (рис. 3.8):

- клітина - двомірна або тримірна межа, яка посилається на обсяг, масштаб і форму об'єкта;
- тінь - являє дистанцію і наскільки далеко чи близько розташований об'єкт у просторі відносно інших об'єктів;
- напрямна - лінії або сигнали, що представляють вирівнювання і дистанцію;
- гізмо - візуальний індикатор руху, обертання або масштабу, він корисний, коли користувач може виконати тільки одну дію;

- параметр - посилання на градус і значення зміни.



Рисунок 3.8 – Схема різних типів напрямних

Описавши, як користувач взаємодіє з доповненою реальністю і яким чином слід розміщувати елементи інтерфейсу у просторі можна перейти до проектування зовнішнього вигляду інтерфейсу.

3.5 Проектування елементів та зовнішнього вигляду інтерфейсу

AR управляється поведінкою і взаємодією. Розглянемо досвід та поширені патерни проектування і стилі, що застосовуються в сучасних AR-додатках. Раннє визначення цього досвіду дозволить легко виділити той тип контенту, який необхідно буде створити. Тестування, також, є важливою частиною процесу проектування, і розуміння фокуса кожного досвіду дозволить розробляти плани тестування на ранній стадії проектування.

При першому досвіді в реальному часі успіх залежить від взаємодії користувача з двомірним або тримірним контентом. Приклад: додаток Ikea Place.

Цей тип досвіду найбільш поширений в комерційних додатках, які використовують доповнену реальність. Користувачам часто необхідно попередньо переглянути продукт, щоб краще зрозуміти його. Вони можуть розміщувати, маніпулювати або переглядати контент.

У першому досвіді використання успіх залежить від користувача, що виконує послідовність дій для досягнення кінцевої мети. Приклад: додаток Pokemon GO.

Подібний підхід найчастіше використовується для ігор і історій, що ґрунтуються на досвіді. Він також багато в чому покладається на орієнтацію пристрою, місце розташування і карти.

У першому досвіді захоплення моменту успіх залежить від користувача, який в кінцевому підсумку знімає відео або фотографію. Він є основою більшості сучасних додатків для обміну файлами. Подібний досвід включає в себе розшарування даних по реальному світу і, зазвичай, прикріплення і відстеження реального місця або об'єкту.

Розробники повинні створювати елементи, що не залежать від навколишнього середовища і працюють з усіма відтінками і рівнями контрасту.

В доповненій реальності розробники, по суті, мають дані в режимі запису з камери. Розробники не контролюють те, що показує камера, і повинні проектувати урахуванням цього. Доброю практикою є попередній перегляд і тестування інтерфейсу з різними фоновими зображеннями і відео по мірі розробки інтерфейсу.

Використання кольорів (рис. 3.9).

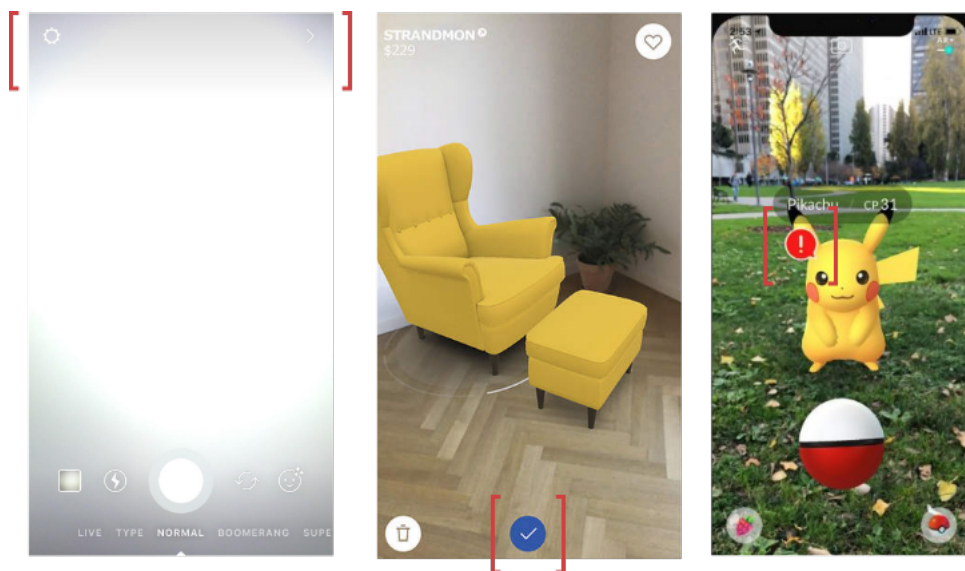


Рисунок 3.9 – Приклад використання різних кольорів для різних елементів інтерфейсу

Які кольори слід використовувати при проектуванні інтерфейсу доповненої реальності описано нижче:

- білий колір - найбільш поширений колір тексту, іконок і напрямних;
- деякі додатки мають додаткові віньетки або градієнти в верхньому і нижньому колонтитулах, щоб зробити фіксовані елементи чіткіше на їх фоні;
- кольори брендів використовуються дуже рідко або взагалі не відображаються в режимі камери;
- кольори системи за межами кольорів бренду можуть використовуватися для вказівки на помилки, попередження або завершення певної дії. Наприклад, попередження, червоного кольору, при дуже близькому наближенні до об'єкту;
- непрозорі кольори зазвичай зарезервовані для кнопок заклику до дії, таких як тригери, які можуть бути приховані рукою користувача.

Положення різноманітних елементів інтерфейсу у просторі (рис. 3.10):

- фіксовані елементи інтерфейсу зазвичай розташовуються зверху і / або знизу екрану. Це дозволяє користувачеві сфокусуватися на центрі камери і композиції;
- додаткові підказки та елементи, що не фокусуються на утриманні, залишаються ближче до низу (наприклад, прокрутка та додаткові опції).

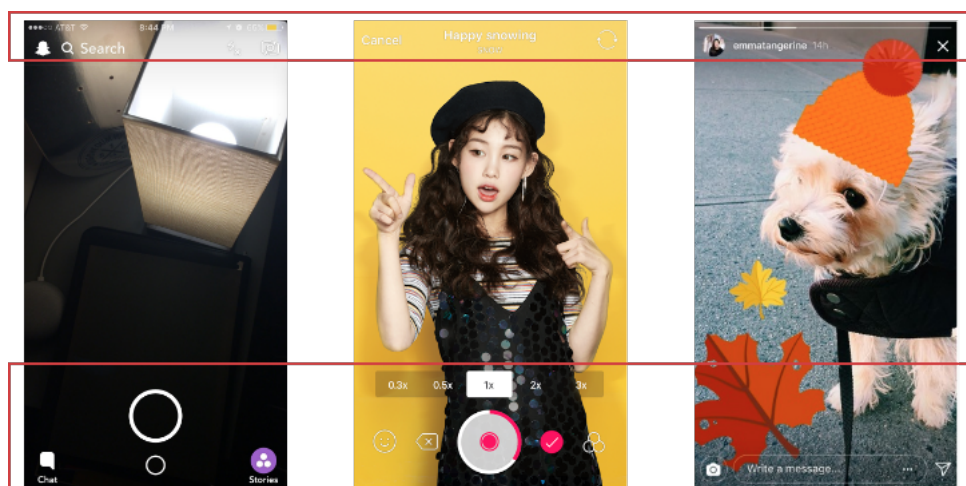


Рисунок 3.10 – Положення різноманітних елементів інтерфейсу у просторі

Опишемо порядок оформлення тексту інтерфейсу:

- текст, зазвичай, використовується як підпис або ярлик, написаний шрифтом без зарубок, оскільки його легше читати та сприймати;
- текст найчастіше білого або жовтого кольору, у випадку, якщо це не колір фону;
- текст зазвичай має непрозорий або напівпрозорий контейнер для поліпшення зручності читання;
- текст без контейнерів обробляється м'якими тінями і / або тонким штрихом.

Рекомендації щодо використання іконок при проектуванні AR-інтерфейсу

(рис. 3.11):

- обробка іконок варіюється між деталізованими, заповненими і обведеними;
- деталізовані іконки часто мають контейнери, щоб відрізнити їх від зображення з камери в фоновому режимі;
- іконки, зазвичай, не використовуються, як текст;
- іконки, зазвичай, мають контури або тіні для виділення.

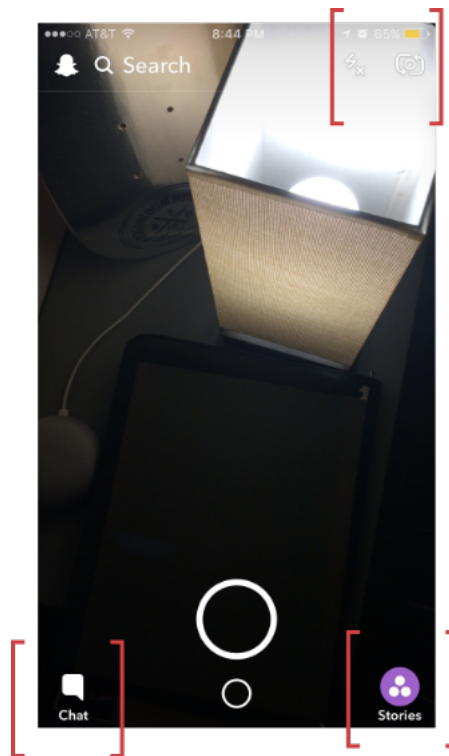


Рисунок 3.11 – Приклад розміщення і оформлення іконок

Рекомендації щодо використання індикаторів при проектуванні інтерфейсу:

- індикатори варіюються від досить простих до складних і анімованих;
- індикатори найчастіше бувають білого, жовтого, синього або чорного кольору з низькою непрозорістю;
- індикатори динамічні і відповідно коригуються, вони також не зберігаються і зникають, коли певна дія була виконана.

AR може використовувати різні типи інтерфейсу (рис. 3.12). Нижче перераховані загальні аббревіатури для деяких типів інтерфейсу:

- GUI (графічний інтерфейс користувача) - взаємодія з даними через графічні і візуальні індикатори (наприклад, натискання для скасування);
- HUD (heads up display) - взаємодія з даними, розташованими на фіксованому прозорому дисплеї (наприклад, напрямні на камері заднього виду);
- VUI (голосовий інтерфейс користувача) - взаємодія з даними за допомогою голосу або мови (наприклад, прохання Siri встановити будильник);

- TUI (матеріальний інтерфейс користувача) - вплив на дані за допомогою взаємодії з фізичним світом (наприклад, відстеження пройденої відстані за допомогою мобільних додатків)[29].



Рисунок 3.12 – Аббревіатури для типів інтерфейсу

В останньому розділі буде описана практична реалізація різних типів інтерфейсу та яким чином їх можна використовувати у реальному житті.

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході роботи, проаналізувавши існуючі типи AR-інтерфейсів та методи їх розробки, були розроблені програмні системи з використанням різних типів інтерфейсу.

Перший тип інтерфейсу використаний у програмній системі сканування та розпізнавання тривимірних об'єктів. Спочатку за допомогою камери смартфона або планшета захоплюється положення об'єкту (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Захоплення положення тривимірного об'єкту

На наступному етапі на об'єкті виділяються та запам'ятовуються ключові точки на тривимірному об'єкті (рис. 4.2).

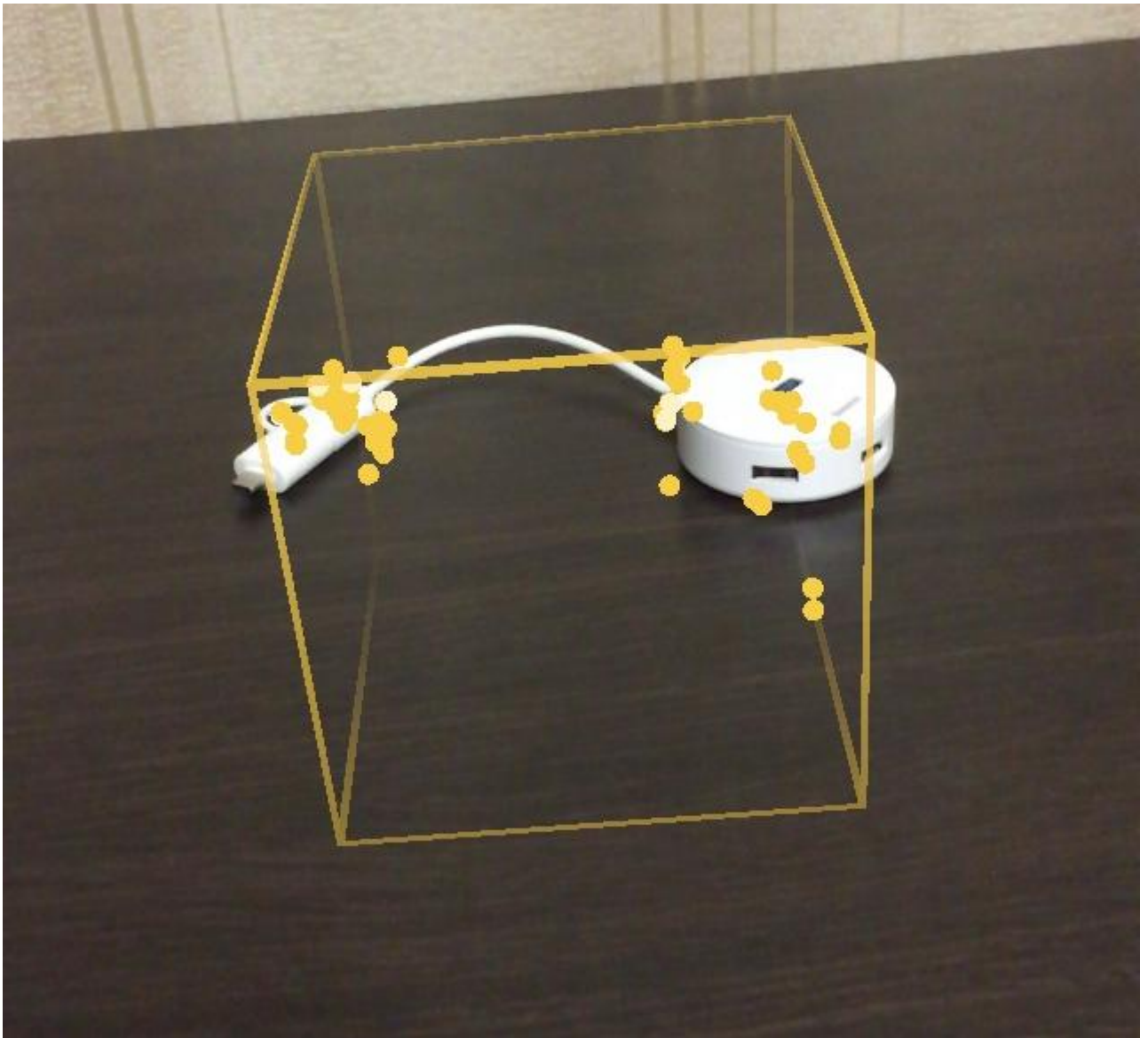


Рисунок 4.2 - Виділення ключових точок тривимірного об'єкту

Захопивши кадр та виділивши ключові точки на наступному етапі виконується сканування тривимірного об'єкту (рис. 4.3).

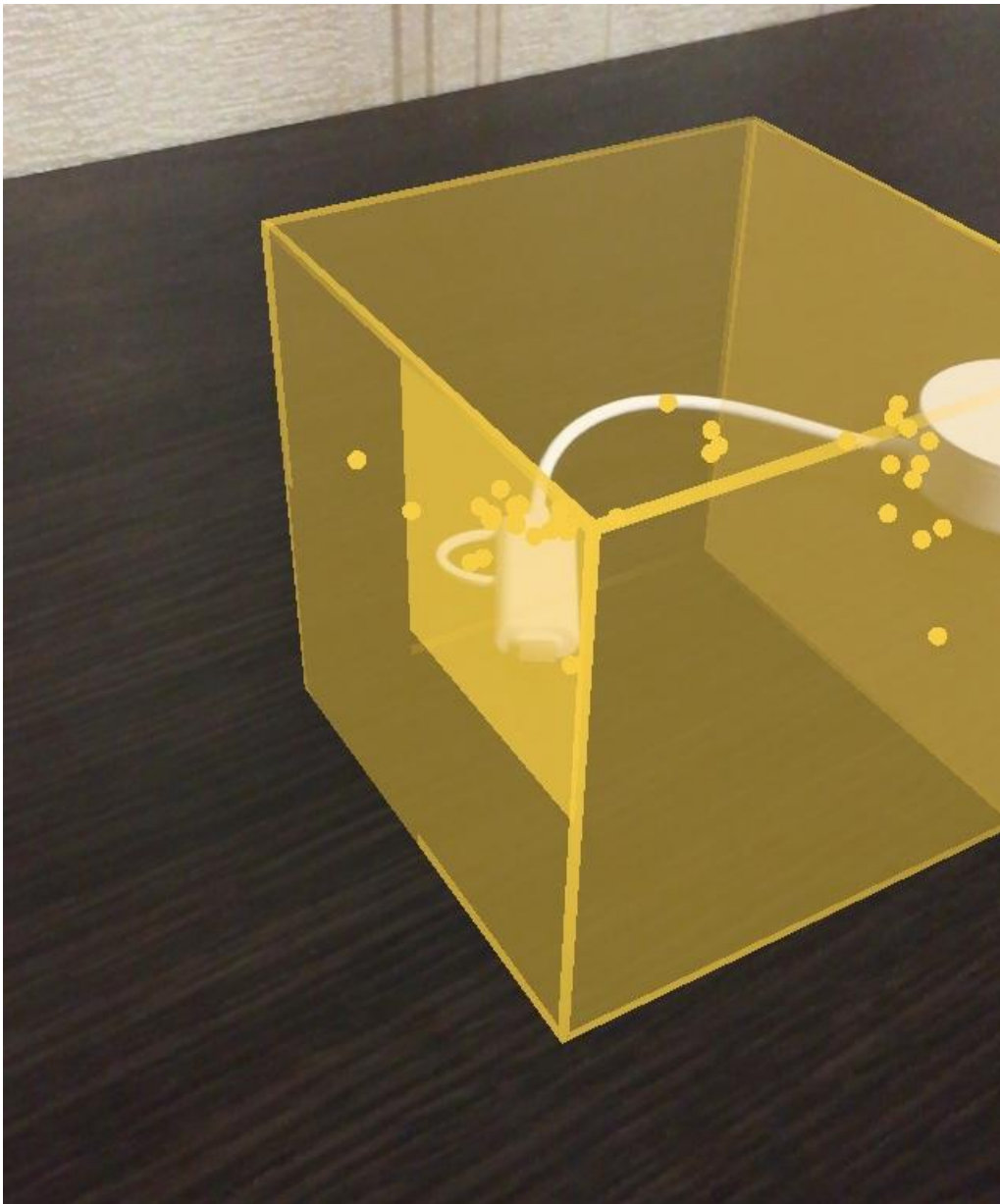


Рисунок 4.3 - Сканування об'єкту

Після сканування система запам'ятовує об'єкт і при розпізнаванні відсканованих об'єктів з'являється інтерактивне меню з описання об'єкту (рис. 4.4). Використовуючи результати дослідження інтерфейс для цієї системи був реалізований динамічний, двовимірний інтерфейс. Подібні типи інтерфейсу досить часто використовують у комерції. При наближенні чи віддаленні камери смартфона відносно об'єкту елементи інтерфейсу починають збільшуватися або зменшуватися, як предмети реального світу. Використовується прив'язка до об'єкту, тому при переміщенні об'єкту у просторі меню переміщується разом з ним.



Рисунок 4.4 - інтерактивне меню з описанням об'єкту

Розроблений тип інтерфейсу можна використовувати, наприклад, у сфері продаж. Подібний інтерфейс дозволить клієнтові легко та наглядному вигляді дізнаватися інформацію про товар у разі потреби. Також подібний інтерфейс можна використовувати в музеях, надаючи інформацію в інтерактивному вигляді про певні зразки мистецтва. Цей інтерфейс також можливо використовувати у навчальних цілях.

Наступна система використовує відстеження зображення (рис. 4.5). На відміну від першого випадку вона використовує динамічний-тривимірний тип інтерфейсу. У цій системі також реалізована прив'язка до розпізнаного зображення об'єкту та взаємодія між віртуальними об'єктами.



Рисунок 4.5 - Прив'язка тривимірних моделей до зображення

Такий тип інтерфейсу можна використовувати, наприклад, для інтерактивних бізнес-карток, що дозволить отримати потрібну інформацію про певну людину. Також цей тип інтерфейсу досить широко розповсюджений у торгівлі (як вже описувалося раніше, наприклад, додаток Ikea Place).

Використовуючи результати даного дослідження можна розробляти зручні додатки доповненої реальності, що поліпшить взаємодію користувачів з технологією доповненої реальності.

Технологія доповненої реальності є досить перспективною і прогнози експертів говорять про, що її популярність тільки зростає, але деякі фактори заважають масовому поширенню серед користувачів. Масовому поширенню технологій доповненої реальності перешкоджає ряд факторів, в основному вони пов'язані з недоліками технологічного характеру, а також з невірними очікуваннями користувачів від використання цієї технології. Дуже важливо, щоб компанії в різних галузях ділилися своїм досвідом впровадження технологій доповненої реальності.

Основними драйверами розвитку ринку доповненої реальності в цілому будуть знання, розуміння і компетенції, накопичені в процесі розробки споживчих програмних систем, які використовують доповнену реальність. Саме тому в області доповненої реальності дуже важлива розробка програмних систем з простим та зрозумілим інтерфейсом користувача. Технології доповненої реальності, навіть зараз використовуються у багатьох сферах, наприклад: для мобільних пристроїв і head-up дисплеїв, а також в сфері охорони здоров'я, продажів і електронної комерції. Отже розроблена програмна система, у будь-якій з цих сфер, повинна мати простий та зрозумілий інтерфейс користувача. Подібний інтерфейс дозволяє поліпшити взаємодію з доповненою реальністю, що в свою чергу дозволить підвищити продуктивність у цих сферах. За умови грамотного використання потенціалу даних технологій компаніям вдасться домогтися збільшення прибутку завдяки зростанню продуктивності праці співробітників, оптимізації робочих і виробничих процесів, залучення нових споживачів і клієнтів, поглиблення професійних компетенцій своїх співробітників.

ВИСНОВКИ

У ході науково-дослідницької роботи було проведено огляд наукової та патентної літератури по темі дослідження, був проведений аналіз теми дослідження, виявлені існуючі проблеми.

Був проведений аналіз існуючих проблем по темі дослідження, проведено огляд існуючих пристроїв доповненої реальності, було сформульовано мету науково-дослідницької роботи. Метою науково-дослідницької роботи є вирішення існуючих проблем інтерфейсів доповненої реальності. Об'єктом дослідження є інтерфейси програмних систем, які використовують технологію доповненої реальності. Предметом дослідження є взаємодія користувача з доповненою реальністю.

У результаті дослідження були проаналізовані різні типи інтерфейсів AR та методи їх проектування. Використовуючи отримані результати дослідження можна проектувати зручні додатки, які використовують доповнену реальність. Спираючись на дані отримані в ході дослідження були розроблені декілька типів інтерфейсу для різних типів програм. Проектування зручних додатки дозволить поліпшити взаємодію користувачів з доповненою реальністю.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Schneider N. Virtual Reality Basics // Tom's Hardware URL: [http://www.tomshardware.com/reviews/virtual-reality-basics, 4220.html](http://www.tomshardware.com/reviews/virtual-reality-basics,4220.html) (дата звернення 14.02.2021).
2. INVENTOR IN THE FIELD OF VIRTUAL REALITY URL: <https://www.uschefnerarchive.com/morton-heilig-inventor-vr/> (дата звернення 14.02.2021).
3. Бойченко І.В., Лежанкін А.В. Доповнена реальність: стан, проблеми і шляхи їх рішення. 2010.
4. Огляд методів і технологій відстеження положення для віртуальної реальності URL: <https://habr.com/ru/post/397757/> (дата звернення 16.02.2021).
5. ARKit - Augmented Reality – Apple Developer URL: <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/> (дата звернення 17.02.2021).
6. AR – Доповнена Реальність URL: <https://habr.com/ru/post/419437/> (дата звернення 20.02.2021).
7. Технології та алгоритми доповненої реальності URL: <https://arealidea.ru/articles/stati-i-publikatsii/tekhnologii-i-algoritmy-dlya-sozdaniya-dopolnennoy-realnosti/> (дата звернення 25.02.2021)
8. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion URL: https://www.researchgate.net/publication/260251570_Automatic_generation_and_detection_of_highly_reliable_fiducial_markers_under_occlusion
9. Bay, H., A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool. “SURF: Speeded Up Robust Features.” Computer Vision and Image Understanding (CVIU). Vol. 110, No. 3, pp. 346–359, 2008.

- 10 Rublee, Ethan, et al. "ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF." *Computer Vision (ICCV)*, 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.
11. Alahi, Alexandre, Raphael Ortiz, and Pierre Vandergheynst. "Freak: Fast retina keypoint." *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2012 IEEE Conference on. IEEE, 2012.
12. Calonder, Michael, et al. "Brief: Binary robust independent elementary features." *Computer Vision–ECCV 2010*. Springer Berlin Heidelberg, 2010. 778-792.
13. Leutenegger, Stefan, Margarita Chli, and Roland Y. Siegwart. "BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints." *Computer Vision (ICCV)*, 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.
14. Gil Levi and Tal Hassner, LATCH: Learned Arrangements of Three Patch Codes, *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, Lake Placid, NY, USA, March, 2016.
15. Sus, B., Tmienova, N., Revenchuk, I., Vialkova, V. Development of virtual laboratory works for technical and computer sciences. -*Communications in Computer and Information Science*, 2019, 1078 CCIS, pp. 383–394.
16. Sus, B., Tmienova, N., Revenchuk, I., Bauzha, O., Stirenko, S. Gamification approach to the creation of virtual laboratory works and educational courses.- *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, 2711, P. 68–78.
17. Julie Jebeile. *Explaining with Simulations: Why Visual Representations Matter*, 2018-*Perspectives on Science* 26 (2): 213-238.
18. Chodos, D., Stroulia, E., & King, S. (2011). Developing a virtual-world simulation. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Software Engineering in Health Care* (pp. 71–78). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1987993.1988007.
19. U. Technologies, "Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Visualizations." <https://unity.com/>, last accessed 2020/01/28
20. Sus, B., Revenchuk, I., Tmienova, N., Bauzha, O., Chaikivskyi, T. Software System for Virtual Laboratory Works.- 2020 *IEEE 15th International Scientific and*

Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2020 - Proceedings, 2020, 1, pp. 396–399.

21. Sus, B., Revenchuk, I., Bauzha, O., Zagorodnyuk, S. Virtual laboratory as custom e-learning implementation and design solution.- CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2833, pp. 177–187.

22. Bohdan Sus, Nataliia Tmienova, Ilona Revenchuk, Vira Vialkova. Development of Virtual Laboratory Works for Technical and Computer Sciences //ICIST - International Conference on Information and Software Technologies.- Vilnius, 10-12 October, 2019.- P. 383-394

23. Bohdan Sus, Nataliia Tmienova, Ilona Revenchuk, Oleksandr Bauzha, Sergii Stirenko. Principles of gamification for Virtual laboratory works and educational courses// Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи і технології» (ІУСТ-ОДЕСА-2020).-23-25 September, 2020.-С. 63-65.

24. Bohdan Sus, Nataliia Tmienova, Ilona Revenchuk, Oleksandr Bauzha, Taras Chaikivskiyi. Software System for Virtual Laboratory Works // XV International Scientific and Technical Conference Computer Science and Information Technologies - CSIT-2020, Zbarazh Castle, Ukraine.- 23-26 September, 2020.-P.396-400.

25. Sergiy Zagorodnyuk, Bohdan Sus, Ilona Revenchuk, Oleksandr Bauzha Information Security of Users Rights Assignment via the Software Solutions Based on LDAP // Problem of Infocommunications. Science and Technolpgy (PIC S&T'2020), Kharkiv, Ukraine- 6-9 October 2020

26. Доступні методи оцінки інтерфейсу користувача URL: <https://prozhector.ru/publications/vypusk-53/dostupnye-metody-otsenki-polzovatelskogo-interfeysa/>(дата звернення 02.03.2021).

27. Керівництво по проектуванню доповненої реальності на мобільних пристроях URL: <https://ux.pub/rukovodstvo-po-proektirovaniyu-dopolnennoj-realnosti-na-mobilnyx-ustrojstvax-chast-1/> (дата звернення 05.03.2021).

28. Керівництво по проектуванню доповненої реальності на мобільних пристроях URL:<https://ux.pub/rukovodstvo-po-proektirovaniyu-dopolnennoj-realnosti-na-mobilnyx-ustrojstвах-chast-2/> (дата звернення 06.03.2021).

29. Керівництво по проектуванню доповненої реальності на мобільних пристроях URL: <https://ux.pub/rukovodstvo-po-proektirovaniyu-dopolnennoj-realnosti-na-mobilnyx-ustrojstвах-chast-3/> (дата звернення 07.03.2021).