

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра інформаційних технологій

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

“Застосування технології Augmented Reality для розробки автоматизованої
системи візуалізації ювелірних виробів”

Заболотний Віталій Олегович

(прізвище, ім'я та по батькові здобувача повністю)

Київ 2024 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТ

Тетяна ГОНЧАРЕНКО

„29” листопада 2024 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Застосування технології Augmented Reality для розробки автоматизованої
системи візуалізації ювелірних виробів

(назва)

Виконав

Заболотний Віталій Олегович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

122 “Комп’ютерні науки”

(спеціальність)

ОП “Комп’ютерні науки”

(освітня програма)

Групи КНМ-23

Керівник Вацкель В. Ю.

(прізвище та ініціали)

асистент

(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Випускова кафедра інформаційних технологій
Освітній ступінь: магістр
Спеціальність: 122 “Комп’ютерні науки”
Освітня програма: ОП “Комп’ютерні науки”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІТ
Тетяна ГОНЧАРЕНКО
„29” листопада 2024 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Заболотний Віталій Олегович

(прізвище, ім’я та по батькові здобувача)

1. Тема роботи Застосування технології Augmented Reality для розробки автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів затверджена наказом ректора КНУБА № 2213/2 від «08» жовтня 2024 року.
2. Керівник роботи Вацкель Володимир Юрійович, асистент
(прізвище, ім’я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання Здобувачем роботи до захисту _____
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
 - P.1 Аналіз предметної області
 - P.2 Аналіз технологій та концептуальне проектування інформаційної системи з використанням AR
 - P.3 Проектування та розробка інформаційної системи для візуалізації ювелірних виробів
 - P.4 Реалізація та інтеграція AR-рішень у візуалізації ювелірних виробів
5. Графічний матеріал за розділами:
 - P.1 Вступ
 - P.2 Актуальність розробки
 - P.3 Об’єкт, предмет і методи дослідження
 - P.4 Аналіз предметної області
 - P.5 Аналіз технологій та концептуальне проектування
 - P.6 Концептуальна модель
 - P.7 Розробка архітектури
 - P.8 Проектування структури бази даних

Р.9- Р.13 Реалізація AR-рішень у візуалізації ювелірних виробів

Р.14- Р.15 Візуалізація виробів в реальному часі

Р.16 Висновки

6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р.1 Аналіз предметної області	07.07.2024
Р.2 Аналіз технологій та концептуальне проєктування інформаційної системи з використанням AR	03.08.2024
Р.3 Проєктування та розробка інформаційної системи для візуалізації ювелірних виробів	15.09.2024
Р.4 Реалізація та інтеграція AR-рішень у візуалізації ювелірних виробів	09.10.2024
Остаточне оформлення роботи	25.11.2024
Направлення роботи для перевірки на плагіат	25.11.2024
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	28.11.2024
Направлення роботи на рецензування	28.11.2024

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1	Вацкель В. Ю.	07.07.2024	
Розділ 2	Вацкель В. Ю.	03.08.2024	
Розділ 3	Вацкель В. Ю.	15.09.2024	
Розділ 4	Вацкель В. Ю.	09.10.2024	
Розділ 5	Гончаренко Т. А.		

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____
(підпис)

Гончаренко Т. А.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис)

Вацкель В. Ю.
(прізвище та ініціали)

Здобувач _____
(підпис)

Заболотний В. О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Обсяг роботи 102 сторінки, 43 ілюстрацій, 1 таблиця, 21 джерел посилань.
ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ЮВЕЛІРНІ ВИРОБИ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ,
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ТРИВИМІРНІ МОДЕЛІ, ІНТЕРФЕЙС
КОРИСТУВАЧА, ТЕХНОЛОГІЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ, AR-ДОДАТОК.

Об'єктом роботи є автоматизована система візуалізації ювелірних виробів із використанням технології доповненої реальності (AR).

Предметом роботи є методи та інструменти розробки AR-додатку для реалістичної демонстрації ювелірних прикрас на основі тривимірних моделей.

Метою роботи є створення інтерактивної системи, що дозволяє користувачам візуалізувати та налаштовувати ювелірні вироби в реальному часі за допомогою AR-технологій, що спрощує процес вибору і налаштування ювелірних виробів.

Новизна розробки полягає в інтеграції технологій AR і 3D-моделювання, що дозволяє поєднувати віртуальне з реальним середовищем у зручному для користувача форматі. Це створює новий рівень взаємодії з ювелірними виробами, підвищуючи інтерес до товарів, що особливо важливо для сфери електронної комерції, де віртуальна примірка стає суттєвою конкурентною перевагою.

Методи дослідження включають моделювання тривимірних об'єктів, трекінг рухів, обробку зображень та розробку інтерфейсу користувача.

Інструменти розробки включають такі технології, як Three.js для рендерингу 3D-моделей, qrcode.js для генерації QR-кодів, та MediaPipe Hands для визначення положення руки в кадрі.

Результати роботи: розроблена система надає користувачам можливість інтерактивно переглядати ювелірні вироби за допомогою доповненої реальності (AR), що дозволяє в реальному часі візуалізувати прикраси на руці користувача, забезпечуючи точне розташування та реалістичне відображення виробу. Система підтримує використання QR-кодів для швидкого доступу до перегляду 3D-моделей на мобільних пристроях, що спрощує процес використання і робить його доступним для широкого кола користувачів.

Систему можна застосовувати в онлайн-магазинах ювелірних виробів для покращення користувацького досвіду та підвищення зручності вибору. Рекомендації щодо використання результатів включають можливість інтеграції системи в електронну комерцію для підвищення взаємодії з клієнтами. Значимість роботи полягає у впровадженні новітніх технологій для візуалізації ювелірних виробів.

ANNOTATION

The volume of the work is 102 pages, 43 illustrations, 1 table, 21 sources of references. AUGMENTED REALITY, JEWELRY, VISUALIZATION, AUTOMATED SYSTEM, THREE-DIMENSIONAL MODELS, USER INTERFACE, VISUALIZATION TECHNOLOGIES, AR-APPLICATION.

The object of the work is an automated jewelry visualization system using augmented reality (AR) technology.

The subject of the work is methods and tools for developing an AR-application for realistic demonstration of jewelry based on three-dimensional models.

The purpose of the work is to create an interactive system that allows users to visualize and customize jewelry in real time using AR-technologies, which simplifies the process of selecting and customizing jewelry.

The novelty of the development lies in the integration of AR and 3D modeling technologies, which allows you to combine the virtual with the real environment in a user-friendly format. This creates a new level of interaction with jewelry, increasing interest in products, which is especially important for the field of e-commerce, where virtual fitting becomes a significant competitive advantage.

Research methods include three-dimensional object modeling, motion tracking, image processing, and user interface development.

Development tools include technologies such as Three.js for rendering 3D models, qrcode.js for generating QR codes, and MediaPipe Hands for determining the position of the hand in the frame.

Results: the developed system provides users with the opportunity to interactively view jewelry using augmented reality (AR), which allows you to visualize jewelry on the

user's hand in real time, ensuring accurate location and realistic display of the product. The system supports the use of QR codes for quick access to viewing 3D models on mobile devices, which simplifies the process of use and makes it accessible to a wide range of users.

The system can be used in online jewelry stores to improve the user experience and increase the convenience of choice. Recommendations for using the results include the possibility of integrating the system into e-commerce to increase interaction with customers. The significance of the work lies in the introduction of the latest technologies for jewelry visualization.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	13
1.1 Augmented Reality: Визначення та основні концепції	13
1.1.1 Визначення AR та її основні принципи	13
1.1.2. Історія розвитку AR та основні досягнення	17
1.1.3 Технологічні компоненти AR систем.....	19
1.2. Застосування AR у різних галузях.....	23
1.3 Проблеми та виклики у впровадженні AR для ювелірної візуалізації	26
1.3.1 Вимоги до якості візуалізації ювелірних виробів.....	26
1.3.2 Проблеми інтерактивності та користувацького досвіду	28
1.3.3 Виклики, пов'язані з точністю відображення об'єктів.....	31
1.4. Аналіз потреб ювелірної індустрії щодо інтерактивної візуалізації виробів.	33
1.5 Постановка задачі.....	36
Висновки до розділу 1	37
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ AR.....	40
2.1 Аналіз сучасних технологій AR.....	40
2.1.1 Методи відображення 3D моделей у реальному часі.....	40
2.1.2 Платформи та інструменти для розробки AR додатків (Unity, ARKit, ARCore)	42
2.1.3 Використання машинного навчання для покращення візуалізації в AR.....	44
2.2 Концептуальна модель використання інформаційної системи	46
2.3. Специфікація функціональних та нефункціональних вимог до системи.....	50
2.4 Технічне завдання	52
Висновки до розділу 2	56
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ	58
3.1 Опис вихідних і вхідних даних.....	58

3.2 Розробка архітектури	60
3.3 Засоби розробки.....	62
3.4 Проектування структури бази даних.....	65
Висновки до розділу 3	67
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ІНТЕГРАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ	
ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ.....	69
4.1 Вибір технологій для рендерингу 3D-моделей	69
4.2 Візуалізація 3D-моделей при натисканні на зображення.....	71
4.3. QR-коди як інструмент активації AR-сценаріїв.....	75
4.4 Інтеграція системи з API для визначення руки чи пальців.....	79
4.5. Компоненти сайту та їх стани	87
Висновки до розділу 4	96
ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	101
ДОДАТОК А.....	103
ДОДАТОК Б.....	109

ВСТУП

Оцінка сучасного стану об'єкта дослідження. Сьогодні технологія доповненої реальності (AR) стала важливим інструментом, який активно впроваджується в різних галузях, зокрема у промисловості, роздрібній торгівлі, освіті та медицині. В ювелірній сфері AR відкриває нові можливості для взаємодії клієнта з виробами ще до їх фізичного виготовлення, що дозволяє полегшити вибір, візуалізувати кінцевий результат і уникнути можливих невдоволень клієнта. У світовій практиці провідні компанії вже використовують AR для презентації продукції, що дозволяє підвищити інтерес клієнтів та покращити показники продажів. Попри активне використання AR у різних сферах, впровадження цієї технології для візуалізації ювелірних виробів залишається обмеженим і потребує подальших досліджень та оптимізації для досягнення високої точності відображення деталей. Розвиток мобільних пристроїв та їх камер значно розширює можливості AR, зокрема, дозволяючи створювати детальні візуалізації в режимі реального часу. Однак поточний стан розвитку технології також вказує на певні обмеження: для досягнення високої якості відображення та інтерактивності потребується оптимізація ресурсів і використання спеціалізованих інструментів, таких як графічні процесори та програми для роботи з 3D-моделями.

Актуальність теми та підстави для її виконання. З розвитком сучасних технологій доповненої реальності (AR) змінюються підходи до демонстрації товарів у сфері ювелірного мистецтва. Ринок все більше орієнтується на зручні та інноваційні способи ознайомлення покупців з товарами, що дозволяють клієнтам оцінити вигляд прикрас на собі, не виходячи з дому. Використання технології AR для створення віртуальної примірки ювелірних виробів є відповіддю на запити сучасних споживачів, які шукають інтерактивні й візуально насичені способи вибору прикрас. Це особливо актуально в умовах онлайн-торгівлі, де відсутність фізичного контакту з товаром може стримувати рішення про покупку. З огляду на це, дослідження і розробка системи автоматизованої візуалізації ювелірних виробів з використанням AR є важливим етапом для розширення можливостей онлайн-

продажів, забезпечуючи клієнтам більш якісний досвід взаємодії з продукцією й підвищуючи їхню зацікавленість у придбанні.

Мета й завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розробка автоматизованої системи для створення ювелірних виробів із використанням технології доповненої реальності, що забезпечує користувачам можливість переглядати та приміряти прикраси в реальному часі. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати сучасні методи застосування AR у сфері ювелірних виробів;
- визначити вимоги до якості візуалізації та функціоналу системи;
- дослідити принципи інтеграції 3D-моделей ювелірних виробів у AR-додаток;
- спроектувати архітектуру системи з інтеграцією QR-кодів для швидкого доступу до AR-елементів;
- забезпечити інтерактивність системи, зокрема, функціонал "примірки" прикрас у режимі реального часу;
- реалізувати алгоритми для коректного відображення моделей на основі відстеження положення руки користувача.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процес взаємодії користувачів з віртуальними моделями ювелірних виробів за допомогою AR.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є технології та методи, які забезпечують можливість точного відображення та налаштування 3D-моделей ювелірних виробів у доповненій реальності.

Методи дослідження. Для розробки автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів із застосуванням доповненої реальності використовуються кілька ключових технологій. Основою веб-застосунку є HTML, CSS та JavaScript, що формують структуру сторінки, її стиль та забезпечують динамічну взаємодію з користувачем. Для відображення 3D-моделей у браузері використовується бібліотека Three.js, яка дозволяє створювати реалістичні 3D-об'єкти та інтегрувати їх з AR.

Для віртуальної презентації виробів в реальному світі застосовано AR.js, що дозволяє відображати моделі ювелірних виробів через камеру пристрою. qrcode.js використовується для генерації унікальних QR-кодів для кожного виробу, що дає можливість швидко відкрити відповідну модель у AR через сканування коду.

Для зберігання даних використовується MongoDB з Mongoose, що дозволяє зберігати інформацію про вироби. На серверній стороні працює Node.js, що забезпечує ефективну обробку запитів.

Особливу роль відіграє MediaPipe Hands, технологія для відстеження рухів рук в реальному часі, яка дозволяє точно позиціонувати 3D-моделі на руках користувачів. Це дає змогу створити зручну та точну систему для візуалізації ювелірних виробів за допомогою AR.

Можливі сфери застосування. Розроблену систему можна використовувати не тільки в ювелірній галузі, але і в інших сферах, де важливий візуальний огляд товару на клієнті ще до покупки. Це можуть бути аксесуари, годинники та інші подібні продукти. Додатково, систему можна адаптувати для використання в галузі освіти, надаючи можливість створювати інтерактивні навчальні платформи для вивчення матеріалів з моделювання, дизайну та виготовлення

Взаємозв'язок з іншими роботами. Дослідження є частиною загальної тенденції розвитку AR-технологій у електронній комерції, базується на сучасних дослідженнях у сфері віртуальної реальності, а також має спільні риси з інноваційними розробками в області інтерактивної презентації товарів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Augmented Reality: Визначення та основні концепції

1.1.1 Визначення AR та її основні принципи

Augmented Reality (AR), або доповнена реальність, — це сучасна технологія, яка дозволяє інтегрувати цифрові елементи в реальний світ за допомогою спеціальних пристроїв, таких як смартфони, окуляри доповненої реальності, планшети та інші портативні гаджети. На відміну від віртуальної реальності (VR), яка створює повністю штучне середовище, AR накладає віртуальні об'єкти на реальний світ, дозволяючи користувачам одночасно бачити і взаємодіяти як з реальними, так і з віртуальними об'єктами. Це створює ефект доповнення реального середовища, яке збагачується цифровими компонентами, такими як зображення, моделі, текст або відео.

Визначення поняття AR можна сформулювати як технологію, що об'єднує реальний і віртуальний світи у вигляді інтерактивної системи, де користувач може не тільки бачити, але й взаємодіяти з віртуальними об'єктами, які фізично не існують. У контексті розвитку інформаційних технологій AR стала важливим інструментом для багатьох галузей, таких як медицина, освіта, маркетинг, виробництво і розваги. Основою ефективного використання AR є три ключові принципи: комбінація реального та віртуального середовищ, взаємодія в реальному часі, а також тривимірна реєстрація і точне накладення віртуальних об'єктів на реальні.

Перший принцип — комбінація реального та віртуального середовищ. Технологія AR забезпечує можливість накладати цифрові елементи на реальне середовище так, щоб вони виглядали органічно і природно в цьому середовищі. Це означає, що система AR використовує камери та інші сенсори для сканування навколишнього простору і накладення на нього віртуальних об'єктів. Наприклад, такі елементи можуть бути 3D-моделями, зображеннями, відео чи текстом. Важливо, щоб ці віртуальні об'єкти виглядали так, ніби вони дійсно знаходяться в реальному світі, і щоб взаємодія з ними виглядала природно для користувача. Для

прикладу, у сфері ювелірного бізнесу технологія AR дозволяє клієнтам "приміряти" віртуальні прикраси, накладаючи 3D-модель кільця на палець користувача в реальному часі. Це дає можливість покупцям оцінити зовнішній вигляд прикраси з різних ракурсів та прийняти обґрунтоване рішення щодо покупки, зменшуючи потребу в фізичній примірці.

Другий важливий аспект AR — взаємодія з користувачем у реальному часі. Це означає, що система повинна безперервно оновлювати інформацію про навколишнє середовище і змінювати віртуальні об'єкти залежно від дій користувача. Наприклад, коли користувач переміщує камеру смартфона, система AR повинна миттєво коригувати положення віртуальних об'єктів відповідно до нової точки огляду, створюючи ілюзію, що об'єкти фіксовані в реальному просторі. Така взаємодія є критично важливою у тих сферах, де потрібна висока точність і реалістичність, наприклад, у медицині для візуалізації анатомічних структур під час операцій або в архітектурі для проектування будівель безпосередньо в реальному середовищі.

Третім принципом є тривимірна реєстрація і точне накладення. AR-системи використовують тривимірну реєстрацію та технології відстеження, щоб точно розташувати віртуальні об'єкти у фізичному просторі. Це дозволяє забезпечити коректне співвідношення масштабу, перспективи та положення віртуальних об'єктів щодо реальних. Для досягнення цього система використовує спеціальні алгоритми, що аналізують вхідні дані з камер та сенсорів, і на основі цієї інформації визначають точні координати для розташування об'єктів. Наприклад, у сфері ювелірних виробів система повинна вміти точно розпізнавати форму і розміри руки або пальця клієнта, щоб накласти віртуальну модель прикраси в правильному місці та з правильним масштабом. Це досягається завдяки використанню алгоритмів комп'ютерного зору, які аналізують зображення з камери та визначають ключові точки для відстеження. [1]

Ці три аспекти є основою будь-якої системи AR, незалежно від галузі застосування. Вони визначають, наскільки ефективно система зможе інтегрувати віртуальний контент в реальний світ і зробити цей досвід максимально

реалістичним для користувача.

Доповнена реальність передбачає поєднання фізичного світу з цифровими елементами, такими як зображення, текст, відео, тривимірні моделі, анімація тощо. Цей процес можливий завдяки використанню камер, датчиків руху та спеціальних алгоритмів комп'ютерного зору, які аналізують навколишнє середовище, ідентифікують об'єкти та розташування в просторі і, відповідно, накладають віртуальні об'єкти, дотримуючись правильних координат.

Однією з основних характеристик AR є можливість безперервної взаємодії з користувачем в режимі реального часу. Це означає, що система має здатність швидко оновлювати дані і коригувати віртуальні об'єкти на основі змін у навколишньому середовищі або дій користувача. Наприклад, якщо користувач переміщує камеру смартфона або планшета, система AR повинна миттєво адаптувати положення віртуальних елементів, щоб вони відповідали новій перспективі, створюючи ілюзію, що об'єкти знаходяться на своєму місці в реальному світі.

Цей аспект особливо важливий у тих випадках, де необхідна висока точність і реалістичність візуалізації, наприклад, в хірургії, де AR використовується для накладення зображень внутрішніх органів на тіло пацієнта, що допомагає лікарям орієнтуватися під час операцій. У сфері роздрібної торгівлі AR дозволяє створювати інтерактивні каталоги, де покупці можуть «приміряти» одяг або аксесуари, не виходячи з дому, тим самим забезпечуючи новий рівень комфорту і персоналізації для клієнтів.

Для того, щоб віртуальні об'єкти точно розміщувались на реальних поверхнях і виглядали як частина навколишнього середовища, AR-системи використовують тривимірну реєстрацію та технології відстеження. Це дозволяє визначати точні координати та орієнтацію віртуальних об'єктів відносно реальних об'єктів. Використання алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання дає змогу системі розпізнавати форми, визначати розміри та оцінювати відстані, що дозволяє досягати високої точності при накладанні віртуальних об'єктів.

Наприклад, при віртуальній примірці ювелірних виробів важливо, щоб віртуальний об'єкт точно співпадав із формою і розміром пальця клієнта. Це досягається шляхом трекінгу ключових точок на зображенні з камери і створення відповідного 3D-моделювання. Використання таких технологій дозволяє досягти реалістичного вигляду віртуальних прикрас, що виглядають так, ніби вони дійсно розташовані на пальці користувача.

AR-системи також мають властивість адаптивності, яка полягає у зміні віртуальних елементів відповідно до контексту навколишнього середовища. Це означає, що віртуальні об'єкти можуть бути модифіковані в залежності від таких факторів, як освітлення, колірна гама, погодні умови або інші змінні. Наприклад, AR-додаток може змінювати кольори або текстури віртуальних прикрас у відповідь на зміни освітлення, щоб забезпечити більш точне відображення того, як виглядатимуть прикраси у реальних умовах.

Ця властивість дозволяє створювати гнучкі та персоналізовані рішення для користувачів, що підвищує загальний рівень взаємодії та задоволеності клієнтів. Для ювелірних магазинів це особливо важливо, оскільки клієнти можуть оцінити, як виглядає прикраса не тільки в умовах магазину, але і при природному освітленні, що полегшує процес вибору.

Для ефективної роботи AR-систем потрібні потужні апаратні засоби, здатні обробляти великі обсяги даних і забезпечувати високу точність візуалізації у реальному часі. Здебільшого такі системи базуються на спеціальних процесорах, графічних адаптерах, датчиках руху та камер, які використовують для збору та обробки інформації про навколишнє середовище. Мобільні пристрої, такі як смартфони та планшети, також оснащені датчиками і камерами, що робить їх зручними платформами для роботи з AR-додатками.

Одним з основних викликів є забезпечення достатньої потужності обробки даних при мінімальному енергоспоживанні, щоб пристрої могли працювати автономно протягом тривалого часу. Крім того, існують обмеження, пов'язані з умовами освітлення та складністю об'єктів у реальному середовищі, що можуть вплинути на якість відстеження та візуалізації. Наприклад, при недостатньому

освітленні або на складних текстурах поверхонь, таких як скло або вода, система може стикатися з труднощами при розпізнаванні об'єктів.

Важливим аспектом є також зручність використання: мобільні пристрої повинні бути достатньо легкими і автономними, щоб користувачі могли вільно переміщуватися з ними. Це робить пристрої доповненої реальності привабливими для широкого кола користувачів, адже вони не обмежують мобільність і дозволяють легко взаємодіяти з віртуальними об'єктами.

Таким чином, доповнена реальність — це технологія, яка базується на інтеграції віртуальних об'єктів у реальний світ, взаємодії з користувачем у реальному часі, тривимірній реєстрації та точному накладенні об'єктів, а також контекстуальній адаптивності. Вона відкриває нові можливості для різних сфер, від розваг і маркетингу до медицини та виробництва, включаючи ювелірну індустрію, де AR допомагає створити більш інтерактивний і персоналізований досвід для покупців. Однак, для успішної реалізації таких систем необхідно враховувати їхні технічні вимоги та обмеження, щоб забезпечити якісний та реалістичний результат.

1.1.2. Історія розвитку AR та основні досягнення

Технологія доповненої реальності (AR) має тривалу і захоплюючу історію, яка розпочалася в середині XX століття, коли вчені почали досліджувати можливості інтеграції віртуальних об'єктів у реальний світ. Це дослідження стало основою для розвитку сучасних AR-технологій.

У 1968 році Айван Сазерленд, видатний дослідник у сфері комп'ютерної графіки, створив одну з перших систем головного дисплея, відому як "Дамоклів меч" (The Sword of Damocles). Ця система, що представляла собою важкий шолом з вбудованим дисплеєм, стала першим кроком у візуалізації віртуальних об'єктів. Сазерленд і його команда зуміли проектувати прості віртуальні форми у реальному часі, що відкривало нові горизонти для подальших досліджень. Незважаючи на технічні обмеження, ця система заклала основи для подальшого розвитку AR, адже вперше продемонструвала можливість змішування віртуальної і реальної реальності. [2]

На початку 1970-х років Джон Андерсон, досліджуючи можливості суперімпозиційних дисплеїв, запропонував нові методи для накладання віртуальних зображень на реальні об'єкти. Цей розвиток відкрив двері для використання AR у наукових та промислових програмах. Андерсон показав, як віртуальні елементи можуть бути використані для підвищення ефективності навчання та поліпшення виробничих процесів. Його дослідження стали важливим етапом у розвитку AR, заклавши основи для створення інтерактивних систем, що інтегрують віртуальну інформацію в реальний світ.

У 1990-ті роки AR почала знайти своє місце в практичних додатках. Одним з перших значних досягнень стала розробка AR-системи для компанії Boeing, що дозволяла технічним працівникам бачити віртуальні інструкції по обслуговуванню літаків, накладені на реальні деталі. Томас Коделл, працюючи над цією системою, розробив методи, які підвищували точність та ефективність обслуговування. Завдяки системі "Augmented Reality for Aircraft Assembly", працівники могли візуалізувати інструкції у реальному часі, що суттєво зменшило ймовірність помилок і підвищило продуктивність. [3]

У цей же період Едвард Деме працював над AR-системами для навчання. Його інноваційні рішення використовували AR для інтерактивного навчання, дозволяючи студентам взаємодіяти з віртуальними моделями, що були інтегровані в реальне середовище. Це сприяло глибшому розумінню складних концепцій, а також розвитку нових методів навчання, які поєднували традиційні підходи з новітніми технологіями.

З початком XXI століття AR-технології почали швидко розвиватися завдяки новим технічним рішенням та комерційним продуктам. Випуск Google Glass у 2013 році став знаковим моментом. Цей носимий пристрій із мініатюрним дисплеєм, розташованим біля ока, дозволяв користувачам переглядати інформацію і взаємодіяти з додатками у реальному часі. Хоча Google Glass не досяг комерційного успіху через технічні обмеження та питання конфіденційності, він продемонстрував потенціал носимих технологій для інтеграції віртуальних елементів у повсякденне життя. Цей пристрій став каталізатором для подальших

розробок у сфері AR, спонукнувши інші компанії досліджувати можливості, які AR може запропонувати.

Важливим досягненням стало впровадження ARKit від Apple у 2017 році та ARCore від Google у 2018 році. Ці платформи стали революційними інструментами для розробників, надаючи можливість створювати AR-додатки для мобільних пристроїв на базі iOS і Android. ARKit і ARCore забезпечили потужні інструменти для інтеграції віртуальних об'єктів у різні сфери життя, від ігор і розваг до освіти і маркетингу. Вони дозволили розробникам використовувати AR для створення нових форм взаємодії з користувачами, візуалізації даних та покращення користувацького досвіду. [4]

Сьогодні AR продовжує розвиватися, інтегруючись з новими технологіями і платформами. Наприклад, розвиток вдосконалених систем головного дисплея, таких як Microsoft HoloLens і Magic Leap, надає ще більше можливостей для реалізації реалістичних і інтерактивних AR-додатків. Ці системи забезпечують високий рівень точності і деталізації при відображенні віртуальних елементів у реальному світі, що відкриває нові горизонти для застосування AR у різних професійних і побутових сферах.

Завдяки раннім досягненням і концепціям AR, сучасні технології і комерційні продукти демонструють безмежний потенціал для подальшої інтеграції в повсякденне життя і професійні сфери. Наприклад, в медицині AR вже активно використовується для візуалізації складних хірургічних процедур, що дозволяє лікарям отримувати додаткову інформацію безпосередньо під час операцій. В промисловості AR допомагає у навчанні працівників, надаючи їм можливість вивчати нові техніки та технології у візуальному та інтерактивному форматі.

Також важливим є застосування AR у розвагах. Відомі ігри, такі як Pokémon GO, показали, як AR може змінити підходи до ігор, залучаючи гравців у змішане середовище, де вони можуть взаємодіяти з віртуальними істотами в реальному світі.

1.1.3 Технологічні компоненти AR систем

Розвиток і впровадження технологій доповненої реальності (AR) стали можливими завдяки інтеграції кількох ключових технологічних компонентів. Сучасні AR системи базуються на широкому спектрі апаратних і програмних засобів, які створюють та підтримують високоякісний досвід взаємодії з віртуальним середовищем, що органічно поєднується з реальним світом. Кожен із цих компонентів виконує свою унікальну роль у забезпеченні функціонування AR систем, створюючи ефективний механізм для інтерактивної візуалізації. Нижче наведено детальний опис основних технологічних компонентів AR систем, які виконують ключову роль у їх функціонуванні.

Графічні процесори (GPU) є одним із найважливіших елементів будь-якої AR системи. Вони виконують функції обробки та виведення графічної інформації, зокрема, відповідають за рендеринг 3D моделей та візуальних ефектів у реальному часі. Ці процесори надають обчислювальну потужність, необхідну для швидкого відображення складних графічних сцен, що дозволяє віртуальним об'єктам природно інтегруватися в навколишнє середовище. Завдяки використанню сучасних GPU з високою продуктивністю можна досягти плавності та реалістичності графіки, які є критично важливими для створення переконливого AR досвіду.

Наприклад, новітні технології, такі як архітектура NVIDIA RTX або AMD RDNA, дозволяють AR системам реалізовувати складні візуальні ефекти, зокрема, трасування променів у реальному часі, що значно покращує загальну якість зображення. Це забезпечує не лише більш точне відображення освітлення, а й покращує текстури, тіні та відблиски, створюючи більш вражаючий та правдоподібний AR досвід для користувачів. Завдяки такому прогресу користувачі можуть отримати більш реалістичні віртуальні об'єкти, що підвищує їх залучення та задоволення від використання AR технологій.

Камери також є невід'ємною частиною AR систем, оскільки вони забезпечують захоплення реального світу, на основі якого здійснюється накладення віртуальних об'єктів. Вони фіксують зображення або відеопотік реального

середовища, що дозволяє системі визначати позицію та орієнтацію користувача, а також розпізнавати об'єкти та поверхні в навколишньому просторі.

Для забезпечення максимальної точності AR додатків використовуються різні типи камер, включаючи RGB, стереоскопічні камери та камери глибини, такі як LiDAR. Наприклад, стереоскопічні камери здатні визначати глибину сцени, що дозволяє більш точно розміщувати віртуальні об'єкти у тривимірному просторі. Камери з сенсорами глибини, наприклад, LiDAR, можуть сканувати тривимірну структуру простору, що надає можливість системі точно розміщувати віртуальні об'єкти на реальних поверхнях та взаємодіяти з оточуючими об'єктами. Завдяки цим технологіям AR системи можуть бути адаптовані для різних умов освітлення та обставин, що значно покращує їх універсальність і надійність. [5]

Датчики руху, до яких входять акселерометри, гіроскопи та магнітометри, відіграють критичну роль у визначенні положення та орієнтації пристрою в просторі. Акселерометри вимірюють лінійні прискорення, гіроскопи надають інформацію про кутову швидкість, а магнітометри визначають орієнтацію пристрою відносно магнітного поля Землі. Ці датчики забезпечують AR системам можливість точно відслідковувати рухи користувача, коригуючи відповідно положення віртуальних об'єктів.

Комбінація даних з кількох датчиків, відома як ф'южн сенсорів, дозволяє досягти вищої точності та плавності візуалізації AR контенту. Наприклад, сучасні смартфони та AR гарнітури використовують інерційні вимірювальні одиниці (IMU), що поєднують функції акселерометрів, гіроскопів та магнітометрів, забезпечуючи високу точність у відслідковуванні рухів в реальному часі. Крім того, ці датчики дозволяють AR системам адаптуватися до динамічних змін навколишнього середовища, що робить взаємодію більш інтуїтивною та природною.

Процесори обробки зображень (ISP) також відіграють важливу роль у AR системах. Вони відповідають за обробку сигналів, отриманих з камер, та оптимізацію зображень для подальшої обробки графічними процесорами. ISP дозволяють коригувати якість зображення, зменшувати шум, покращувати чіткість,

а також забезпечують ефективне кодування та декодування відеопотоків у реальному часі. Це сприяє швидкій та ефективній інтеграції віртуальних об'єктів у відеопотік, що передається з камер.

У сучасних AR системах ISP також можуть виконувати складні алгоритми обробки зображень, які підвищують якість та деталізацію візуалізації. Наприклад, алгоритми шумоподавлення та розширення динамічного діапазону можуть значно поліпшити візуалізацію в умовах низького освітлення, дозволяючи користувачам отримувати чіткі та якісні зображення в різних обставинах.

Дисплеї, які використовуються в AR системах, також є важливими компонентами, оскільки вони відповідають за візуалізацію накладених віртуальних об'єктів для користувача. Сучасні AR дисплеї можуть бути представлені у вигляді прозорих екранів, які накладають графіку на реальний світ (оптичні дисплеї), або звичайних дисплеїв смартфонів та планшетів, які демонструють зображення, зняте камерою, разом із віртуальними елементами (відео-дисплеї).

Наприклад, такі гарнітури, як Microsoft HoloLens, використовують прозорі дисплеї з високою роздільною здатністю, що дозволяє користувачам бачити як реальний світ, так і інтегровані в нього віртуальні об'єкти з відмінною якістю зображення. Окрім цього, AR дисплеї можуть бути оснащені сенсорами, що реагують на дотик, що дозволяє користувачам взаємодіяти з віртуальними елементами прямо у їхньому полі зору, підвищуючи загальний користувацький досвід.

Окрім вищезазначених компонентів, значну роль у AR системах відіграють програмні алгоритми та штучний інтелект. Наприклад, алгоритми комп'ютерного зору використовуються для розпізнавання та трекінгу об'єктів у реальному середовищі. Це дозволяє AR системам точно визначати місце розташування та рух користувача, а також ідентифікувати поверхні, на які можуть бути накладені віртуальні об'єкти.

Штучний інтелект, зокрема методи машинного навчання, також відіграє важливу роль у підвищенні точності та ефективності цих алгоритмів, дозволяючи системам адаптуватися до змін у реальному середовищі та надавати користувачам

більш природний та інтуїтивно зрозумілий AR досвід. Завдяки постійному розвитку алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання, AR технології стають дедалі більш доступними та ефективними, відкриваючи нові можливості для використання у різних галузях, таких як медицина, освіта, розваги та промисловість.

1.2. Застосування AR у різних галузях

Доповнена реальність (AR) сьогодні знаходить широке застосування у різних галузях, надаючи нові можливості для покращення робочих процесів, створення інноваційних продуктів та підвищення ефективності взаємодії з користувачами. Її здатність інтегрувати віртуальні елементи у реальний світ дозволяє значно розширити можливості традиційних технологій, створюючи нові методи навчання, роботи та розваг. Розглянемо детальніше використання AR у кількох ключових галузях, таких як освіта, охорона здоров'я, промисловість, роздрібна торгівля, розваги та туризм.

В галузі освіти AR стає потужним інструментом для створення інтерактивного та захоплюючого навчального середовища. З її допомогою можна забезпечити учням доступ до складних концепцій і теоретичних знань у візуально зрозумілій та інтуїтивній формі. Наприклад, вивчення анатомії людини може бути значно спрощене за допомогою AR-додатків, які дозволяють візуалізувати різні органи і системи у вигляді тривимірних моделей, які студенти можуть досліджувати та взаємодіяти з ними в реальному часі. Це робить процес навчання не лише більш цікавим, але й ефективнішим, оскільки дозволяє учням краще зрозуміти складні теми. Крім того, AR-технології можуть бути використані для створення навчальних симуляцій, де учні можуть практикуватися у вирішенні реальних завдань у безпечному середовищі. Це особливо корисно у професійній освіті, де практичні навички мають вирішальне значення, наприклад, у підготовці медичних працівників або інженерів.

У сфері охорони здоров'я AR відкриває нові горизонти для діагностики, лікування та навчання медичних фахівців. Одним із найважливіших застосувань AR є створення хірургічних навігаційних систем, які дозволяють хірургам бачити

тривимірні зображення внутрішніх структур пацієнта безпосередньо під час операції. Це може значно підвищити точність і безпеку хірургічних втручань, зменшуючи ризик помилок і скорочуючи час операцій. AR також використовується для навчання медичних працівників, надаючи можливість практикуватися на віртуальних пацієнтах або брати участь у симуляціях складних медичних ситуацій. Це дозволяє лікарям і медсестрам вдосконалювати свої навички без необхідності використовувати реальних пацієнтів, що знижує ризик помилок у реальних умовах.

Крім того, AR може бути використана для поліпшення комунікації між лікарем і пацієнтом, надаючи візуальні пояснення щодо стану здоров'я пацієнта або процесу лікування, що допомагає пацієнтам краще зрозуміти свій діагноз і лікування. [6]

У промисловості AR знаходить застосування в оптимізації виробничих процесів, технічному обслуговуванні та навчанні персоналу. Наприклад, у виробничих цехах AR може бути використана для надання працівникам інструкцій у реальному часі, проектуючи на дисплей окулярів або планшета інформацію про те, як виконувати певні операції або збирати складні компоненти. Це може значно зменшити кількість помилок і підвищити продуктивність працівників, особливо коли йдеться про нових співробітників або складні завдання. AR також корисна у технічному обслуговуванні обладнання, де вона може надавати працівникам вказівки щодо діагностики та ремонту, спрощуючи процеси і скорочуючи час простоїв. У деяких випадках AR може навіть дозволити віддаленим експертам надавати консультації технічним працівникам у реальному часі, переглядаючи те, що бачить працівник, і надаючи рекомендації щодо вирішення проблем. Також AR активно використовується для навчання працівників, забезпечуючи можливість створення реалістичних симуляцій робочих процесів або небезпечних ситуацій, що дозволяє персоналу тренуватися у безпечних умовах.

У роздрібній торгівлі AR відкриває нові можливості для покращення взаємодії з клієнтами та підвищення продажів. Завдяки AR, покупці можуть візуалізувати, як виглядатимуть товари у їхньому будинку чи на них самих ще до покупки. Це особливо актуально для товарів, які важко оцінити в традиційному

інтернет-магазині, таких як меблі, одяг або косметика. Наприклад, клієнти можуть використовувати AR-додатки для віртуальної примірки одягу або макіяжу, що допомагає їм приймати більш обґрунтовані рішення щодо покупок і зменшує кількість повернень. AR також використовується для створення інтерактивних вітрин і маркетингових кампаній, які привертають увагу покупців і роблять процес покупок більш захоплюючим і цікавим. У роздрібній торгівлі AR допомагає зменшити розрив між фізичними і цифровими каналами продажів, створюючи нові можливості для омніканальної взаємодії з клієнтами. [7]

У сфері розваг AR відкриває нові можливості для створення захоплюючих і інтерактивних ігор, фільмів і заходів. Ігрові додатки на базі AR, такі як Pokémon Go, продемонстрували потенціал цієї технології для залучення мільйонів користувачів і створення нових форм соціальної взаємодії. Завдяки AR, користувачі можуть взаємодіяти з віртуальними персонажами і об'єктами, які інтегровані у реальний світ, що створює унікальні ігрові досвіди, які неможливо досягти з традиційними відеоіграми. AR також використовується у кіноіндустрії для створення інтерактивних трейлерів або рекламних кампаній, де глядачі можуть використовувати свої мобільні пристрої для взаємодії з віртуальними об'єктами або персонажами. Крім того, AR може бути використана для покращення досвіду відвідування культурних заходів або музеїв, надаючи додаткову інформацію або візуальні ефекти, що доповнюють реальні експонати або вистави.

Туризм також активно використовує можливості AR для покращення досвіду відвідувачів. За допомогою AR-додатків туристи можуть отримувати додаткову інформацію про визначні пам'ятки, історичні місця або музеї, проектуючи на екран свого пристрою віртуальні підказки, анотації або тривимірні реконструкції. Це дозволяє відвідувачам краще розуміти історичний контекст і культурну значимість об'єктів, які вони оглядають. AR також може використовуватися для створення віртуальних турів, що дозволяє користувачам досліджувати туристичні місця навіть перед поїздкою або під час планування маршруту. У деяких випадках AR може навіть замінити традиційних екскурсоводів, надаючи користувачам індивідуалізовані екскурсії та рекомендації в реальному часі, що робить процес

подорожі більш зручним і персоналізованим.

Отже, доповнена реальність активно інтегрується у різні галузі, надаючи нові інструменти та можливості для покращення взаємодії з користувачами, оптимізації робочих процесів та створення інноваційних продуктів і послуг. Завдяки своїй здатності інтегрувати віртуальний контент у реальний світ, AR стає ключовою технологією майбутнього, яка змінює підходи до роботи, навчання, розваг та споживання.

1.3 Проблеми та виклики у впровадженні AR для ювелірної візуалізації

1.3.1 Вимоги до якості візуалізації ювелірних виробів

Візуалізація ювелірних виробів у середовищі доповненої реальності (AR) ставить перед розробниками численні вимоги, які повинні забезпечити високу точність і реалістичність відображення віртуальних моделей. Якість візуалізації визначає загальне враження користувача від взаємодії з продуктом, а також його рішення щодо покупки. Отже, під час розробки та впровадження AR-технологій у ювелірну сферу необхідно враховувати кілька ключових аспектів, таких як реалістичність тривимірних моделей, точність передачі матеріалів, оптимізація освітлення, текстур та анімації.

Для створення високоякісної візуалізації ювелірних виробів, необхідно забезпечити максимальну реалістичність тривимірних моделей. Це включає детальне відтворення форми, пропорцій, фактури, а також особливостей дизайну кожного виробу. Унікальність ювелірних виробів, таких як складна огранка дорогоцінних каменів або вигадливі декоративні елементи, потребує особливої уваги під час моделювання, щоб передати їх унікальний вигляд. Кожна деталь має бути ретельно опрацьована, оскільки навіть найдрібніші відхилення від реальної форми можуть негативно вплинути на сприйняття виробу користувачем.

Наприклад, огранка діаманта має велике значення для його оптичних властивостей і візуальної привабливості. У реальному світі кожен кут огранки впливає на те, як камінь заломлює і відбиває світло, створюючи характерний блиск. Тому у віртуальній моделі необхідно максимально точно передати ці особливості, щоб споживачі могли оцінити ювелірний виріб у повній мірі.

Відображення матеріалів у AR-середовищі є надзвичайно важливим, оскільки кожен матеріал має свої унікальні властивості, які визначають його зовнішній вигляд. У ювелірних виробках зазвичай використовуються дорогоцінні метали, такі як золото, платина, срібло, а також різноманітні дорогоцінні та напівдорогоцінні камені. Кожен з цих матеріалів має специфічну текстуру, блиск, прозорість та здатність відображати світло.

При візуалізації золота необхідно передати його характерний теплий відтінок і металевий блиск, який варіюється залежно від типу освітлення і кута огляду. Це вимагає використання складних шейдерів та алгоритмів обробки матеріалів, які можуть точно передати оптичні властивості металу. Подібним чином, для відтворення діамантів та інших каменів необхідно враховувати їхню здатність до рефракції, дисперсії та багатоколірного відображення світла.

Важливим аспектом є також відображення текстури матеріалів. Наприклад, матові поверхні потребують іншого підходу до візуалізації, ніж глянцеві. Матові матеріали зазвичай не відображають світло так яскраво, як глянцеві, але їхня текстура повинна бути чітко передана, щоб користувач міг відчути різницю між цими двома типами поверхонь.

Освітлення є ключовим фактором у візуалізації ювелірних виробів, оскільки правильне освітлення допомагає підкреслити деталі та надати виробу більш реалістичний вигляд. У середовищі доповненої реальності освітлення повинно адаптуватися до умов реального світу, що вимагає застосування динамічного освітлення, яке змінюється відповідно до положення камери та джерел світла в реальному просторі.

Динамічне освітлення включає в себе відтворення тіней, відблисків та рефлексій, які є важливими для створення глибини та об'єму в тривимірній моделі. Наприклад, при перегляді ювелірного виробу під різними кутами освітлення, відблиски на поверхні дорогоцінних каменів мають змінюватися, створюючи ефект мерехтіння, який притаманний реальним каменям.

Крім того, візуалізація повинна враховувати взаємодію світла з різними матеріалами. Наприклад, прозорі камені, такі як діаманти або сапфіри, повинні

відображати та переломлювати світло, створюючи ефект світлових променів, які проходять через камінь і розбиваються на кольорові відблиски. Це значно підвищує реалістичність і привабливість віртуального ювелірного виробу. Текстури відіграють вирішальну роль у створенні реалістичного вигляду ювелірних виробів у AR-середовищі. Використання високоякісних текстур дозволяє досягти більшої деталізації та реалістичності, що є особливо важливим для ювелірних виробів, які зазвичай розглядаються на близькій відстані. Високоякісні текстури дозволяють передати найдрібніші деталі, такі як нерівності поверхні, фактура металу, глибина кольору каменів та інші особливості, що додають виробу унікальності.

Одним з важливих аспектів є правильне застосування текстур на тривимірні моделі. Наприклад, текстури металу повинні відповідати його властивостям, таким як глянцевість або матовість, а текстури дорогоцінних каменів повинні відображати їхню прозорість та багатокольоровість. Неправильне застосування текстур може призвести до того, що виріб виглядатиме штучно або нереалістично, що може негативно вплинути на загальне враження від AR-додатка.

Однак, створення реалістичної анімації потребує ретельного підходу до розробки. Наприклад, при обертанні ювелірного виробу у AR-додатку необхідно забезпечити, щоб всі елементи виробу правильно відображалися під різними кутами, а світло реагувало на зміни положення об'єкта відповідно до законів фізики. Це потребує використання складних алгоритмів обробки графіки, які можуть забезпечити високий рівень реалістичності навіть при динамічній взаємодії.

Таким чином, вимоги до якості візуалізації ювелірних виробів у AR-додатках є складними і багатогранними. Вони включають створення реалістичних тривимірних моделей, точне відображення матеріалів, використання динамічного освітлення, високоякісних текстур та реалістичної анімації. Врахування всіх цих аспектів дозволяє забезпечити високий рівень візуалізації, що є критично важливим для досягнення позитивного користувацького досвіду та успішної інтеграції AR-технологій у ювелірну індустрію.

1.3.2 Проблеми інтерактивності та користувацького досвіду

Інтерактивність та користувацький досвід у додатках доповненої реальності для ювелірної візуалізації є ключовими аспектами, які визначають ефективність та привабливість цих технологій для споживачів. Однак, забезпечення високого рівня інтерактивності та позитивного користувацького досвіду пов'язане з низкою викликів та проблем, які необхідно враховувати при розробці та впровадженні AR-додатків.

Один з основних викликів полягає в розробці інтуїтивного та зручного інтерфейсу користувача. Ювелірні вироби, за своєю природою, є складними об'єктами з безліччю деталей, і користувачі повинні мати можливість легко взаємодіяти з ними у віртуальному середовищі. Це включає можливість повертати, масштабувати, переміщувати та взаємодіяти з виробом у різних ракурсах та умовах освітлення.

Незручний або складний для розуміння інтерфейс може призвести до розчарування користувачів та зниження їхньої зацікавленості у використанні додатку. Наприклад, якщо користувач не може легко зрозуміти, як змінити масштаб або поворот виробу, це може викликати негативні емоції та змусити його припинити використання додатку. Тому важливо забезпечити простоту та логічність у використанні інструментів взаємодії з віртуальними об'єктами.

Ще одним важливим аспектом є забезпечення реалістичної взаємодії з віртуальними об'єктами у доповненій реальності. Наприклад, користувачі можуть бажати приміряти ювелірний виріб на своєму тілі, що вимагає точного трекінгу рухів та коректного накладання віртуального об'єкта на реальне зображення. Це завдання ускладнюється в умовах непередбачуваних змін у навколишньому середовищі, таких як різке освітлення або незвичайні кути зйомки. [8]

Точний трекінг є критичним для забезпечення реалістичності візуалізації. Якщо система трекінгу працює ненадійно, це може призвести до неправильного позиціонування об'єктів або до їхнього переміщення у просторі в невідповідності до реальних рухів користувача. Наприклад, якщо користувач рухає рукою, а віртуальна прикраса не рухається синхронно з нею, це може значно знизити рівень задоволення від використання додатку.

Сучасні користувачі можуть використовувати широкий спектр пристроїв для доступу до AR-додатків, включаючи смартфони, планшети та інші мобільні пристрої. Кожен з цих пристроїв має свої особливості, такі як розмір екрану, продуктивність процесора, якість камери та інші технічні характеристики, які можуть вплинути на роботу додатку.

Оптимізація AR-додатку для роботи на всіх цих пристроях є серйозним викликом для розробників. Наприклад, на пристроях з меншою потужністю можуть виникати проблеми з продуктивністю, що призводить до затримок в обробці зображень або зниження якості візуалізації. Крім того, різні розміри екранів можуть вимагати різних підходів до дизайну інтерфейсу, щоб забезпечити зручність використання на будь-якому пристрої.

Ще одним викликом, пов'язаним з інтерактивністю та користувацьким досвідом, є обмеження апаратного забезпечення користувацьких пристроїв. Наприклад, якість камери та сенсорів, що використовуються для трекінгу, може значно вплинути на точність та реалістичність візуалізації. Також важливо враховувати продуктивність процесора, оскільки обробка віртуальних об'єктів у реальному часі є вимогливою до ресурсів завданням.

Користувацькі пристрої також можуть мати обмеження у можливості відображення високоякісної графіки або підтримки складних анімацій. Наприклад, пристрої з низькою роздільною здатністю екрану можуть не передавати всі деталі текстур та матеріалів, що призводить до втрати реалістичності. Це може негативно вплинути на загальний користувацький досвід, знижуючи візуальну привабливість додатку.

Користувачі мають високі очікування щодо якості та реалістичності AR-додатків, особливо коли мова йде про візуалізацію ювелірних виробів. Вони очікують, що віртуальний об'єкт буде виглядати так само, як і в реальному житті, і що взаємодія з ним буде простою та інтуїтивною. Якщо ці очікування не виправдовуються, це може призвести до негативних відгуків і зниження попиту на продукт.

Тому важливо враховувати потреби та очікування користувачів на всіх етапах розробки AR-додатку. Це може включати проведення користувацьких тестувань, збір зворотного зв'язку та постійне вдосконалення інтерфейсу та функціональності додатку. Забезпечення високого рівня користувацького досвіду є ключем до успішної інтеграції AR-технологій у ювелірну індустрію.

Таким чином, проблеми інтерактивності та користувацького досвіду у доповненій реальності для ювелірної візуалізації є багатогранними і вимагають комплексного підходу до їхнього вирішення. Це включає розробку інтуїтивного інтерфейсу, забезпечення реалістичної взаємодії з віртуальними об'єктами, адаптацію до різних пристроїв та платформ, а також врахування користувацьких очікувань. Лише за умови успішного подолання цих викликів можна досягти високого рівня задоволення користувачів та успіху у впровадженні AR-технологій у сфері ювелірної візуалізації.

1.3.3 Виклики, пов'язані з точністю відображення об'єктів

Точність відображення об'єктів у доповненій реальності є надзвичайно важливим аспектом для забезпечення реалістичності та надійності віртуальної візуалізації ювелірних виробів. Однак, цей аспект технології стикається з численними викликами, які можуть вплинути на загальну якість та ефективність відображення об'єктів у AR-середовищі.

Один з головних викликів, пов'язаних з точністю відображення об'єктів, полягає у забезпеченні точного трекінгу та реєстрації віртуальних об'єктів у реальному середовищі. Для того щоб ювелірні вироби правильно накладалися на зображення реальних об'єктів, система AR повинна точно визначати положення та орієнтацію камери відносно об'єкта. Це завдання ускладнюється в умовах недостатнього освітлення, відблисків або інших перешкод, які можуть завадити камері точно зчитувати інформацію про навколишнє середовище.

Недостатня точність трекінгу може призвести до того, що віртуальний ювелірний виріб буде неправильно позиціонований або не відповідатиме реальним пропорціям. Це може створити ефект "плавання" об'єктів або їх неправильної орієнтації у просторі, що значно знижує рівень реалістичності та довіри до

технології. Наприклад, якщо віртуальна каблучка буде некоректно відображена на пальці користувача, це може створити хибне враження про її розмір або дизайн.

Ще одним важливим викликом є відображення дрібних деталей та текстур ювелірних виробів. Ювелірні вироби, як правило, мають складну структуру з безліччю дрібних елементів, таких як гравірування, інкрустація або різноманітні декоративні вставки. Відображення цих деталей у AR-середовищі потребує високої роздільної здатності та точності при обробці зображень.

Однак, не всі пристрої підтримують необхідний рівень деталізації, що може призвести до спрощення текстур або втрати дрібних елементів у візуалізації. Це особливо помітно на пристроях з низькою роздільною здатністю екрану або обмеженими можливостями графічного процесора. Крім того, в умовах динамічного освітлення або при зміні кута огляду можуть виникати проблеми з відображенням тіней та відблисків, що ще більше ускладнює задачу реалістичного відтворення об'єктів.

Відображення оптичних властивостей матеріалів, таких як прозорість, рефракція, відбиття світла та дисперсія, є критично важливим для точності візуалізації ювелірних виробів у AR. Кожен матеріал має свої унікальні властивості, які визначають його зовнішній вигляд, і ці властивості повинні бути точно передані у віртуальному середовищі. [9]

Наприклад, діаманти мають високу здатність до рефракції світла, що створює характерний ефект мерехтіння, коли світло проходить через камінь. У AR-середовищі необхідно забезпечити, щоб цей ефект був точно відтворений, що вимагає складних обчислень та використання передових графічних алгоритмів.

Якщо ці властивості не враховані належним чином, віртуальний об'єкт може виглядати неприродно або неправильно відображати властивості матеріалу, що вплине на загальне враження від візуалізації.

Інтеграція віртуальних об'єктів у реальне середовище також є важливим аспектом точності відображення. Віртуальні ювелірні вироби повинні гармонійно поєднуватися з реальним світом, не викликаючи відчуття штучності або

неправдоподібності. Це вимагає точного врахування таких факторів, як освітлення, перспективи, тіні та відображення.

Наприклад, якщо віртуальний об'єкт не реагує на зміни освітлення у реальному світі, це може призвести до того, що він виглядатиме "вбудованим" у картинку, а не частиною реального середовища. Аналогічно, якщо перспективи або пропорції віртуального об'єкта не відповідають реальним, це може створити ефект "випадання" об'єкта з оточення, що знижує реалістичність і загальну якість візуалізації.

Для подолання викликів, пов'язаних з точністю відображення об'єктів у AR, необхідно використовувати передові технології та алгоритми, які забезпечують високу точність і реалістичність. Це може включати використання сучасних методів трекінгу, таких як комп'ютерний зір або машинне навчання, які дозволяють точніше визначати положення та орієнтацію віртуальних об'єктів у просторі.

Крім того, використання складних графічних шейдерів та алгоритмів рендерингу може допомогти точніше відтворювати оптичні властивості матеріалів, таких як рефракція, відбиття та розсіювання світла. Це дозволяє досягти більш високої якості візуалізації та створити більш реалістичне зображення, що відповідає очікуванням користувачів.

Таким чином, точність відображення об'єктів у доповненій реальності є складним і багатогранним завданням, яке вимагає врахування численних технічних аспектів. Виклики, пов'язані з трекінгом, відображенням деталей, оптичними властивостями матеріалів та інтеграцією віртуальних об'єктів у реальне середовище, можуть бути успішно подолані за допомогою використання передових технологій та алгоритмів. Забезпечення високої точності є ключем до створення реалістичних та переконливих AR-додатків для ювелірної візуалізації.

1.4. Аналіз потреб ювелірної індустрії щодо інтерактивної візуалізації виробів.

Ювелірна індустрія є однією з тих галузей, де естетика, індивідуальність та якість відіграють ключову роль. Тому інтерактивна візуалізація ювелірних виробів стала важливим інструментом для продажу та маркетингу, оскільки вона дозволяє

наочно демонструвати всі переваги продукції та створювати унікальний користувацький досвід. Основні потреби ювелірної галузі в інтерактивній візуалізації можна розділити на кілька ключових аспектів, які визначають сучасні тенденції та запити клієнтів і бізнесу.

Перш за все, інтерактивна візуалізація ювелірних виробів має задовольняти потребу у високій якості та реалістичності. Успіх ювелірного виробу багато в чому залежить від його естетичного вигляду, тому критично важливо, щоб 3D-моделі прикрас були максимально реалістичними, з точним відтворенням кольору, текстури та відблисків матеріалів. Ювелірні вироби, як правило, мають безліч дрібних деталей, які повинні бути правильно відображені в інтерактивній візуалізації. Важливим є не лише загальний вигляд виробу, а й здатність передати текстури та структури матеріалів, таких як дорогоцінні метали, діаманти чи інші камені. Дрібні відтінки кольору, гра світла і тіні, відблиски на металевих поверхнях — усе це повинно бути точно відтворено, щоб покупці могли оцінити красу виробу так, як вони зробили б це у звичайному магазині.

Сучасний ринок диктує тенденцію до персоналізації, і ювелірна індустрія не є винятком. Покупці очікують, що прикраси можуть бути налаштовані відповідно до їхніх індивідуальних смаків і вподобань. Це означає, що система інтерактивної візуалізації повинна надавати можливість покупцям змінювати характеристики виробу в режимі реального часу. Наприклад, вони можуть вибирати різні матеріали, змінювати кольори каменів, додавати або видаляти певні елементи дизайну. Така функціональність створює ефект "спільної творчості" між клієнтом та брендом, що сприяє створенню більш глибокого емоційного зв'язку з продуктом. Це також дозволяє клієнтам краще розуміти, як виглядатиме кінцевий виріб, що зменшує ймовірність невдоволення після покупки.

Ще одна важлива потреба ювелірної індустрії — це можливість віртуальної примірки прикрас за допомогою технологій доповненої реальності (AR). У сучасному світі, коли багато покупок здійснюється онлайн, покупцям важливо мати можливість візуально уявити, як виріб виглядатиме на їхній руці, шиї чи вухах. Інтерактивні системи з підтримкою AR дозволяють покупцям "приміряти"

прикрасу в режимі реального часу, що допомагає прийняти рішення про покупку. Це особливо важливо для таких виробів, як каблучки або сережки, де важливо правильно підібрати розмір і оцінити, як виріб виглядатиме на певній частині тіла. Технології AR допомагають подолати бар'єр, пов'язаний з відсутністю фізичного контакту з товаром, і дають покупцям можливість отримати аналогічний досвід, як у звичайному магазині.

Зручність використання також є важливим аспектом інтерактивної візуалізації в ювелірній індустрії. Сучасні користувачі звикли до швидких, простих і інтуїтивно зрозумілих рішень, тому система візуалізації має бути максимально зручною та доступною. Покупці повинні мати змогу легко змінювати параметри виробу, переглядати його з різних ракурсів, збільшувати зображення для перегляду дрібних деталей і перемикатися між різними варіантами дизайну. Усе це повинно відбуватися плавно і швидко, без затримок і проблем з відображенням. Крім того, зручність використання системи означає, що вона повинна бути доступною на різних платформах — мобільних пристроях, планшетах, комп'ютерах, щоб клієнти могли використовувати її в будь-який зручний для них момент.

Інтерактивна візуалізація також має потребу у простій інтеграції з наявними системами електронної комерції. Ювелірні бренди повинні мати можливість легко додавати візуалізацію до своїх онлайн-магазинів, щоб покупці могли одразу перейти від перегляду виробу до оформлення замовлення. Це передбачає інтеграцію з системами оплати, управління складськими залишками, логістикою тощо. Наявність інтерактивної візуалізації, що легко інтегрується з іншими платформами, допомагає створити безшовний користувацький досвід, коли всі етапи процесу — від перегляду виробу до його замовлення — відбуваються плавно і зручно для покупця.

Інша важлива потреба — це можливість використання аналітичних даних для підвищення якості обслуговування клієнтів. Інтерактивні системи можуть збирати дані про те, як клієнти взаємодіють з візуалізацією, які параметри вони частіше змінюють, які дизайни їм більше подобаються. На основі цих даних можна створювати персоналізовані рекомендації, пропонувати акційні пропозиції, що

збільшує ймовірність продажу. Аналітика допомагає бізнесу краще розуміти потреби своїх клієнтів і створювати продукцію, яка відповідає їхнім очікуванням.

Таким чином, інтерактивна візуалізація в ювелірній індустрії має відповідати ряду важливих потреб, включаючи високу якість зображення, можливість персоналізації та інтерактивності, зручність використання, доступність для різних пристроїв, легку інтеграцію з іншими системами і можливість використання аналітики. Усе це допомагає створити інноваційний продукт, який підвищує зацікавленість покупців, сприяє прийняттю рішень і збільшує продажі, одночасно покращуючи загальний користувацький досвід і сприяючи розвитку бренду.

1.5 Постановка задачі

Розвиток технологій доповненої реальності (AR) відкриває нові можливості для автоматизації процесів у різних галузях, включаючи ювелірну індустрію.

Створення автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів на основі AR технологій є складним і багатогранним завданням, яке вимагає ретельного аналізу потреб користувачів, технічних вимог, а також можливостей і обмежень існуючих технологій. Постановка задачі в цьому контексті полягає в визначенні ключових аспектів, які необхідно враховувати при розробці такої системи, а також в аналізі потенційних викликів та шляхів їх вирішення.

Однією з головних задач є створення системи, яка дозволяє споживачам в реальному часі взаємодіяти з віртуальними моделями ювелірних виробів, що відображаються на екранах їхніх пристроїв. Для цього необхідно забезпечити точну іреалістичну візуалізацію виробів, яка б відповідала високим стандартам якості та реалістичності. Окрім того, важливо забезпечити користувачам можливість змінювати ракурс, масштаб, освітлення та інші параметри, що дозволить їм більш точно оцінити виріб.

Другим важливим аспектом є інтеграція системи з існуючими базами даних та інструментами управління асортиментом. Це передбачає розробку механізмів автоматичного оновлення інформації про вироби, додавання нових моделей, а також можливість інтеграції з платформами електронної комерції. Автоматизація цих процесів дозволить значно скоротити час на оновлення асортименту та

забезпечить актуальність інформації, що надається користувачам.

Третя задача полягає у забезпеченні доступності системи на різних платформах і пристроях. З огляду на різноманітність пристроїв, які використовуються споживачами, важливо, щоб розроблена система могла без проблем функціонувати на смартфонах, планшетах, а також на стаціонарних комп'ютерах. Це потребує розробки адаптивного дизайну інтерфейсу та оптимізації продуктивності додатка для різних конфігурацій обладнання.

Наступним важливим питанням є забезпечення безпеки і конфіденційності даних користувачів. Оскільки система працює з персональними даними, включаючи фотографії та інші особисті дані користувачів, необхідно розробити надійні механізми захисту інформації від несанкціонованого доступу та витоку. Це може включати використання шифрування, автентифікації користувачів, а також інших засобів захисту даних.

Розглядаючи задачі в контексті застосування AR для візуалізації ювелірних виробів, важливо також враховувати аспекти економічної ефективності розробки і впровадження системи. Це включає оцінку вартості розробки, технічного обслуговування, а також потенційних прибутків від використання системи.

Врахування економічних факторів дозволить розробити стратегію, яка забезпечить фінансову доцільність проекту.

Нарешті, важливою задачею є тестування та вдосконалення системи на основі зворотного зв'язку від користувачів. Це передбачає проведення користувацьких тестувань на різних етапах розробки, збір даних про досвід використання системи, а також впровадження змін, спрямованих на покращення якості візуалізації та зручності використання додатка.

Таким чином, постановка задачі розробки автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів на основі AR технологій охоплює широкий спектр технічних, економічних та користувацьких аспектів. Успішне вирішення цих задач дозволить створити ефективну, зручну та економічно вигідну систему, яка відповідатиме сучасним вимогам та очікуванням споживачів у ювелірній індустрії.

Висновки до розділу 1

Перший розділ роботи присвячено комплексному огляду та аналізу основних аспектів технології доповненої реальності (Augmented Reality, AR) у контексті її використання для візуалізації ювелірних виробів. На початку розділу було визначено фундаментальні принципи AR, що полягають у можливості інтеграції віртуальних елементів у реальний світ. Ці елементи можуть відображатися у реальному часі, забезпечуючи повноцінну взаємодію користувача з віртуальними об'єктами у тривимірному просторі. Визначальні принципи, такі як точність розпізнавання об'єктів і їхня реєстрація у просторі, дозволяють створити реалістичне поєднання фізичного і віртуального середовищ.

Дослідження історії розвитку AR продемонструвало, як технологія пройшла шлях від експериментальних прототипів до високофункціональних систем, що наразі активно використовуються у різних сферах. Досягнення останніх десятиліть, зокрема зростання обчислювальних можливостей та розвиток інструментів ARKit та ARCore, значно розширили практичні можливості AR і дозволили адаптувати її для широкого кола завдань, включно з роздрібною торгівлею, освітою та іншими галузями.

Розгляд технологічних компонентів AR-систем, таких як графічні процесори, камери, датчики руху та алгоритми машинного навчання, показав, що ці елементи є критичними для забезпечення високоякісної візуалізації у реальному часі. Вони створюють умови для точного відображення об'єктів, сприяючи інтерактивності та реалістичності віртуального досвіду. Використання сучасних методів машинного навчання дозволяє покращити точність позиціонування та візуалізації об'єктів, що є надзвичайно важливим для ювелірної індустрії.

Окрім того, проведений аналіз підтвердив широке застосування AR у різних галузях, зокрема в медицині, туризмі, роздрібній торгівлі, промисловості й освіті, що ілюструє універсальність і перспективність AR. Цей огляд підкреслив великий потенціал AR для створення нових користувацьких сценаріїв та форм взаємодії з інформацією і об'єктами у реальному середовищі.

Особливу увагу було приділено викликам, що виникають при впровадженні AR у сферу ювелірної візуалізації. Вимоги до високої якості зображень, точності

відображення деталей та інтерактивності висувають специфічні завдання для розробників, що потребують вдосконалення технологій та підходів. Це підтверджує необхідність розробки адаптованих рішень, які здатні забезпечити реалістичне відображення ювелірних виробів та відповідати високим стандартам користувацького досвіду.

Загалом, у першому розділі окреслено коло завдань для подальшого дослідження і розробки автоматизованої системи AR, яка задовольнятиме потреби ювелірної галузі у якісній інтерактивній візуалізації виробів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ AR

2.1 Аналіз сучасних технологій AR

2.1.1 Методи відображення 3D моделей у реальному часі

Методи відображення 3D моделей у реальному часі є критично важливим аспектом для розвитку систем доповненої реальності (AR). Вони забезпечують можливість інтеграції віртуальних об'єктів у реальний світ таким чином, щоб користувачі сприймали їх як частину навколишнього середовища. Цей процес вимагає застосування ряду технологій та алгоритмів, що дозволяють досягати високої швидкості рендерингу та реалістичності зображень, при цьому забезпечуючи збереження продуктивності на пристроях із обмеженими ресурсами, таких як смартфони та планшети.

Основним методом відображення 3D моделей у реальному часі є растровий рендеринг, який широко використовується у графічних процесорах (GPU). Він полягає в перетворенні тривимірних об'єктів у двовимірне зображення шляхом розбиття їх на полігони, переважно трикутники, які потім проєктуються на екран. Кожен трикутник заповнюється пікселями відповідно до його кольору, текстури та параметрів освітлення. Растровий рендеринг забезпечує високу швидкість обробки зображень, що є критично важливим для реального часу, але може мати певні обмеження щодо відображення складних світлових ефектів, таких як тіні, відбиття та заломлення світла.

З розвитком технологій стало можливим застосування трасування променів у реальному часі, що дозволяє значно підвищити якість рендерингу завдяки більш точному моделюванню світлових взаємодій. Трасування променів полягає у відслідковуванні шляху кожного променя світла, що проходить через сцену, та визначенні його взаємодії з об'єктами. Це дозволяє створювати реалістичні тіні, відбиття та заломлення, але потребує значних обчислювальних ресурсів.

Використання трасування променів у реальному часі стало можливим завдяки появі спеціалізованих графічних процесорів, таких як NVIDIA RTX, які

мають апаратну підтримку цього методу.

Рендеринг на основі фізичних властивостей (Physically Based Rendering, PBR) також відіграє важливу роль у створенні реалістичних 3D моделей для AR. PBR дозволяє відтворювати фізичні властивості матеріалів та їхню взаємодію зі світлом, забезпечуючи більш правдоподібне відображення об'єктів у різних умовах освітлення. Це досягається шляхом використання таких параметрів, як шорсткість, металевість, індекс заломлення та інші, що дозволяє створювати матеріали, які виглядають природно незалежно від навколишнього середовища.[10]

Важливою складовою відображення 3D моделей у реальному часі є теселяція та шейдинг геометрії. Теселяція дозволяє підвищити деталізацію об'єктів, динамічно розбиваючи їх на менші полігони залежно від необхідного рівня деталізації. Це дозволяє ефективно керувати ресурсами, забезпечуючи високу якість відображення без значного навантаження на графічний процесор. Шейдинг геометрії, своєю чергою, дозволяє змінювати форму та текстуру об'єктів на етапі рендерингу, що дає змогу створювати складні візуальні ефекти, такі як рельєфи, зморшки або тріщини, без потреби у використанні додаткових текстур.

Процеси рендерингу та відображення 3D моделей у реальному часі потребують застосування різних технік оптимізації, які дозволяють забезпечити високу продуктивність навіть на пристроях із обмеженими ресурсами. Однією з таких технік є використання Level of Detail (LOD) – методу, що дозволяє динамічно змінювати рівень деталізації моделей залежно від відстані до камери. Це дозволяє зменшити кількість оброблюваних полігонів, зберігаючи при цьому високий рівень візуальної якості. Оптимізація шейдерів, які відповідають за відображення матеріалів та освітлення, також є важливою складовою процесу. Використання передрозрахованих таблиць освітлення або текстур може значно зменшити навантаження на графічний процесор, дозволяючи досягти більш плавного відображення сцен у реальному часі. [11]

Важливим аспектом сучасних систем доповненої реальності є використання хмарних технологій для рендерингу складних сцен. Хмарні сервери можуть використовуватися для обробки графічних даних, що дозволяє перенести частину

обчислювальних навантажень із локальних пристроїв на віддалені сервери. Це дозволяє забезпечити високу продуктивність навіть на пристроях із обмеженими ресурсами, а також відображати складні тривимірні сцени з високою якістю графіки та взаємодії.

2.1.2 Платформи та інструменти для розробки AR додатків (Unity, ARKit, ARCore)

Розробка додатків доповненої реальності (AR) вимагає використання спеціалізованих платформ та інструментів, які забезпечують створення, налаштування і розгортання AR-сценаріїв на різних пристроях. Серед найпопулярніших платформ і інструментів для розробки AR-додатків виділяються Unity, ARKit та ARCore. Кожна з цих платформ надає розробникам можливість створювати високоякісні AR-додатки, однак вони мають свої особливості та специфіку використання.

Unity є однією з найбільш популярних платформ для розробки 3D-додатків, включаючи AR-додатки. Це багатофункціональне середовище розробки надає потужний набір інструментів для створення інтерактивних додатків, а також підтримує різноманітні платформи, включаючи мобільні пристрої, ПК та навіть консолі. Однією з ключових переваг Unity є його широка екосистема плагінів та інструментів, що дозволяє розширювати функціональність та інтегрувати додаткові можливості без необхідності писати код з нуля. Для створення AR-додатків у Unity використовуються такі інструменти, як AR Foundation, що забезпечує абстракцію над платформами ARKit та ARCore, дозволяючи розробляти крос-платформні додатки. Крім того, Unity надає можливість інтеграції з іншими інструментами для рендерингу, 3D-моделювання та оптимізації, що робить його універсальним рішенням для розробки AR-додатків різного рівня складності.

ARKit – це платформа, розроблена компанією Apple спеціально для створення AR-додатків на пристроях iOS, таких як iPhone та iPad. Вона надає розробникам доступ до апаратних і програмних ресурсів пристроїв, включаючи камери, датчики руху, графічні процесори та інші компоненти, що дозволяє створювати високоякісні AR-додатки. ARKit підтримує ряд ключових функцій,

таких як розпізнавання площин, відстеження облич, визначення освітлення та багато іншого. Завдяки глибокій інтеграції з iOS, ARKit дозволяє використовувати можливості операційної системи для покращення продуктивності та реалістичності AR-додатків. Наприклад, технологія LiDAR, доступна на деяких пристроях, дозволяє точно визначати глибину сцени та розміщувати віртуальні об'єкти з високою точністю. ARKit також підтримує функцію AR World Map, яка дозволяє зберігати та відновлювати AR-сцени в різних сесіях, що підвищує зручність використання додатків. [12]

ARCore – це платформа, розроблена компанією Google для створення AR-додатків на пристроях з операційною системою Android. Подібно до ARKit, ARCore надає інструменти для відстеження положення пристрою, розпізнавання поверхонь, оцінки освітлення та інтеграції віртуальних об'єктів у реальне середовище. ARCore підтримує широкий спектр пристроїв Android, що дозволяє розробляти додатки для різноманітних користувачів. [13]

Одна з особливостей ARCore – це підтримка Cloud Anchors, яка дозволяє створювати спільні AR-сцени, що можуть бути доступні декільком користувачам одночасно. Це відкриває нові можливості для створення інтерактивних та спільних AR-додатків, таких як ігри або інструменти для спільної роботи. [14]

Обидві платформи, ARKit та ARCore, підтримуються інструментом Unity через AR Foundation, що дозволяє розробникам створювати крос-платформні додатки з мінімальними змінами у кодї. Це значно спрощує процес розробки та тестування додатків на різних пристроях, забезпечуючи високий рівень гнучкості та масштабованості. Крім того, використання Unity у поєднанні з ARKit та ARCore дозволяє розробляти додатки з використанням новітніх технологій, таких як машинне навчання, для покращення взаємодії користувачів та підвищення якості візуалізації. [15]

Таким чином, Unity, ARKit та ARCore є основними інструментами для розробки сучасних AR-додатків, кожен з яких надає унікальні можливості для створення інтерактивних і реалістичних AR-сценаріїв. Використання цих платформ дозволяє розробникам ефективно реалізовувати свої ідеї, адаптуючи їх до різних

пристроїв та забезпечуючи високу продуктивність і якість додатків.

2.1.3 Використання машинного навчання для покращення візуалізації в AR

Машинне навчання (ML) відіграє все більшу роль у покращенні візуалізації в системах доповненої реальності (AR). Завдяки здатності аналізувати великі обсяги даних, адаптуватися до змінних умов та автоматично вдосконалюватися, машинне навчання значно розширює можливості AR, роблячи взаємодію з віртуальними об'єктами більш реалістичною, інтерактивною та персоналізованою. Важливою складовою використання ML у контексті AR є обробка візуальних даних, яка включає виявлення об'єктів, відстеження руху, покращення зображення та розпізнавання жестів.

Одним із найважливіших застосувань машинного навчання в AR є розпізнавання об'єктів та відстеження їхнього положення у реальному світі. Використовуючи алгоритми глибокого навчання, такі як нейронні мережі, системи AR можуть розпізнавати та класифікувати об'єкти в реальному часі з високою точністю. Це дозволяє точно накладати віртуальні об'єкти на реальні, забезпечуючи їх коректне розташування та інтеракцію з навколишнім середовищем. Наприклад, технології розпізнавання обличчя, такі як Face ID від Apple, активно використовують машинне навчання для точного визначення контурів обличчя, що дозволяє накладати віртуальні елементи, такі як маски або фільтри, з урахуванням найдрібніших деталей.

Машинне навчання також сприяє покращенню якості візуалізації в AR за рахунок вдосконалення методів рендерингу та обробки зображень. Використовуючи нейронні мережі для суперрезолюції, системи AR можуть підвищувати роздільну здатність та чіткість зображень, що робить віртуальні об'єкти більш реалістичними та деталізованими. Це особливо важливо для додатків, що працюють на мобільних пристроях, де обмежені ресурси можуть призводити до погіршення якості зображення. Машинне навчання також дозволяє ефективно відновлювати втрачені або пошкоджені частини зображень, покращуючи загальне сприйняття сцени користувачем.

Важливою сферою застосування ML в AR є відстеження руху та орієнтації користувача. Завдяки використанню алгоритмів машинного навчання для аналізу даних з камер та датчиків руху, системи AR можуть більш точно визначати положення та рух користувача у просторі. Це дозволяє створювати більш реалістичні та інтуїтивні взаємодії з віртуальними об'єктами, наприклад, забезпечуючи їх плавне переміщення разом із користувачем або коректне відображення перспективи. Одним із прикладів використання ML для відстеження руху є алгоритми SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), які дозволяють одночасно визначати положення пристрою та будувати карту навколишнього середовища. Ці алгоритми широко застосовуються в AR-додатках для відстеження руху та створення взаємодії з навколишнім середовищем. [16]

Машинне навчання також активно використовується для розпізнавання жестів та рухів користувача, що дозволяє створювати більш природні та інтуїтивні способи взаємодії з AR-додатками. Використовуючи моделі глибокого навчання для аналізу зображень з камер, системи можуть визначати положення рук, пальців та інших частин тіла, що дозволяє розробникам створювати додатки, які реагують на жести користувача. Це відкриває нові можливості для створення інтерактивних AR-додатків, де користувачі можуть керувати віртуальними об'єктами, не використовуючи фізичні контролери.

Крім того, машинне навчання сприяє покращенню взаємодії користувача з AR-додатками через персоналізацію та адаптацію контенту. Завдяки аналізу даних про поведінку користувача, його вподобання та контекст використання, системи ML можуть автоматично налаштовувати візуалізацію та інтеракцію з AR-об'єктами відповідно до індивідуальних потреб кожного користувача. Це дозволяє створювати більш захоплюючі та ефективні AR-досвіди, які максимально відповідають очікуванням та потребам користувачів.

Таким чином, використання машинного навчання для покращення візуалізації в AR є ключовим напрямком розвитку цієї технології, що значно підвищує реалістичність, інтерактивність та адаптивність доповненої реальності. Завдяки можливостям машинного навчання, AR-додатки можуть забезпечувати

більш глибоку та інтуїтивну взаємодію з користувачем, відкриваючи нові горизонти для їх застосування у різних сферах життя.

2.2 Концептуальна модель використання інформаційної системи

Концептуальна модель інформаційної системи для візуалізації ювелірних виробів за допомогою доповненої реальності є поєднанням кількох компонентів, що дозволяють створити ефективну, зручну для користувача та високоінтерактивну платформу. Дана система має забезпечувати максимально реалістичний перегляд ювелірних виробів, індивідуальну адаптацію та інтеграцію даних користувача для надання персоналізованих рекомендацій.

Основу моделі складають три ключові компоненти:

- Інтерфейс користувача (UI), який забезпечує інтуїтивно зрозумілу взаємодію із системою,
- Система візуалізації та обробки 3D-моделей, яка відповідає за реалістичне зображення виробів в AR-середовищі,
- Аналітичний та інтеграційний модулі, що керують даними користувачів і налаштуваннями системи для оптимального користувацького досвіду.

Інтерфейс є першим та найважливішим компонентом для взаємодії користувача з інформаційною системою. Його функціонал включає:

- Вибір та налаштування моделей. Користувач може обирати ювелірні вироби з колекції, переглядати доступні варіанти дизайну, матеріалу, форми та розміру. Інтерфейс також дає можливість змінювати різні параметри, такі як колір та інкрустації, дозволяючи користувачу налаштувати модель під власні вподобання.
- Перегляд в AR-режимі. Система дозволяє користувачеві переміщати модель у просторі, переглядати її з різних ракурсів та масштабувати, створюючи максимально реалістичний вигляд виробу на тілі, наприклад, на руці або пальці. Це досягається через камеру пристрою, яка захоплює реальне зображення користувача та накладає на нього 3D-модель в режимі реального часу.
- Інтуїтивні елементи керування. Інтерфейс підтримує жестові команди для зміни позиції, обертання та масштабування моделі, що дозволяє користувачеві швидко адаптувати розташування виробу до бажаного вигляду. Елементи керування

є зрозумілими та зручними для швидкої навігації, що забезпечує позитивний користувацький досвід.

Основне завдання системи візуалізації та обробки 3D-моделей - створити високу якість зображення 3D-моделі та її інтеграцію в реальне оточення за допомогою AR. Система реалізує такі функції:

- Технології трекінгу та відстеження положення. Застосування ARCore та ARKit дозволяє системі визначати положення руки чи пальця користувача, створюючи стабільне накладання 3D-моделі. Це забезпечує реалістичність і точність при накладенні моделі на руку користувача, що особливо важливо для ювелірних виробів, де потрібна детальна передача текстур і кольорів.

- Використання машинного навчання. Система адаптує модель до різних характеристик користувача (наприклад, розміру руки, відтінку шкіри) завдяки алгоритмам машинного навчання. Це робить візуалізацію більш персоналізованою, підвищуючи точність відображення виробів, їхні пропорції та посадку.

- Реалістичне відображення текстур та матеріалів. Важливою особливістю є передача властивостей матеріалів (золото, срібло, платина) та інкрустацій (дорогоцінні камені). Система враховує рефлексивність, прозорість та відображення світла для створення реалістичного вигляду, що дозволяє користувачеві побачити, як виріб виглядатиме при різному освітленні та куті огляду. [17]

Аналітичний та інтеграційний модулі відповідають за збирання та аналіз даних користувачів, інтеграцію з базою даних для збереження та відновлення налаштувань, а також надання рекомендацій:

- Модулі збирають дані про вибір та вподобання користувачів, які можуть бути використані для покращення персоналізації та розробки нових виробів. Наприклад, на основі попередніх виборів можна рекомендувати вироби, що можуть відповідати інтересам користувача.

- Система інтегрується з базою даних, де зберігаються дані про моделі виробів, характеристики матеріалів, варіанти налаштувань, а також профілі користувачів і їхні уподобання. База даних підтримує синхронізацію налаштувань і

дозволяє користувачеві повертатися до попередньо налаштованих моделей або рекомендацій.

- Система використовує аналітичні алгоритми для моніторингу трендів у сфері ювелірних виробів та адаптації асортименту до сучасних запитів. Це дозволяє інформаційній системі відображати моделі, які відповідають актуальним запитам користувачів і тенденціям.

Основний потік інформації в системі відбувається наступним чином: користувач взаємодіє з інтерфейсом, обираючи модель ювелірного виробу та переглядає її в AR. Потім користувач може зберегти конфігурацію, що автоматично передається до бази даних. Уся інформація про вибори користувача та статистичні дані передаються аналітичному модулю для обробки, що дозволяє надати персоналізовані рекомендації у майбутньому. [18]

Концептуальна модель, яка інтегрує всі компоненти в єдину систему, забезпечує адаптивну, зручну у використанні та високоякісну платформу. Це дозволяє користувачам відчувати повний потенціал технології AR та детально побачити бажаний виріб перед покупкою. На рисунку 2.1 зображено концептуальну модель проекту.

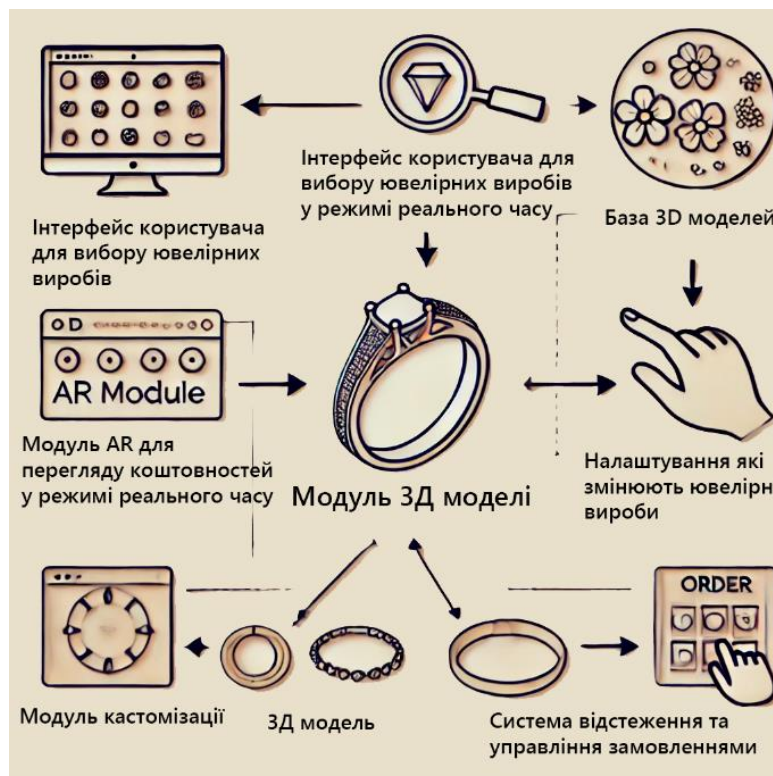


Рисунок 2.1 – Концептуальна модель

Ця концептуальна модель розроблена для інтеграції технології доповненої реальності (AR) в процес створення та візуалізації ювелірних виробів. Основна мета моделі – забезпечити користувачів можливістю персоналізувати ювелірні вироби в реальному часі, бачити їх віртуальне відображення на руці та оформляти замовлення через онлайн-систему.

1. Інтерфейс користувача для вибору ювелірних виробів: Користувач починає роботу з системою через графічний інтерфейс, де представлений вибір ювелірних виробів різного типу та дизайну. В цьому інтерфейсі користувач може переглядати доступні моделі, вибирати базовий тип виробу (наприклад, каблучка, браслет) і починати процес кастомізації.

2. Модуль 3D-моделювання на основі доповненої реальності: Після вибору базової моделі, система активує AR-модуль, який дозволяє користувачу бачити віртуальне зображення обраного ювелірного виробу безпосередньо на своєму тілі (наприклад, на руці для каблучки чи браслета). Це можливо завдяки технологіям трекінгу рук та візуалізації 3D-об'єктів. Користувач може пересувати камеру для огляду ювелірного виробу з різних кутів, що підвищує взаємодію та збагачує користувацький досвід.

3. 3D-модуль збереження кастомізованих моделей: Після налаштування ювелірного виробу, всі зміни зберігаються у вигляді 3D-моделі, яку користувач може переглянути та оцінити. Модель зберігається на сервері, що дає можливість користувачу повернутися до неї або внести подальші зміни перед оформленням замовлення.

4. Система замовлення та відстеження: Після остаточного вибору та кастомізації, користувач має змогу замовити виріб. Інформаційна система підтримує функціонал обробки замовлень та надає можливість відстежувати статус замовлення. Це включає в себе підтвердження замовлення, сповіщення про етапи виготовлення та доставку.

Таким чином, концептуальна модель інформаційної системи, побудована на базі технології Augmented Reality, створює інноваційний досвід для користувачів.

Вона дозволяє поєднувати реальне середовище та віртуальні 3D-об'єкти для детального та персоналізованого вибору ювелірних виробів, сприяючи більшій залученості та задоволеності клієнтів.

2.3. Специфікація функціональних та нефункціональних вимог до системи.

Специфікація функціональних та нефункціональних вимог до автоматизованої системи створення ювелірних виробів на основі технології доповненої реальності (AR) є основоположним етапом у розробці та реалізації даної системи. Цей процес дозволяє чітко визначити, які дії та функції повинні бути доступні користувачеві, а також які параметри повинні бути виконані для забезпечення ефективності системи та задоволення потреб користувачів. Розглянемо детальніше ці вимоги, аби зрозуміти цілісний підхід до проектування системи.

Функціональні вимоги описують, що система повинна робити, і які дії користувач може виконувати. У системі, що використовує технології доповненої реальності, важливо створити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволить користувачеві легко взаємодіяти з ювелірними виробами. Користувач повинен мати можливість переглядати 3D-моделі виробів у реальному часі, а також взаємодіяти з ними. Це передбачає, що система повинна відображати моделі у тривимірному просторі, що дозволяє користувачу обертати їх, масштабувати та змінювати їх положення відповідно до своїх вподобань.

Інтеграція з базою даних також є критично важливою частиною функціональних вимог. Система повинна забезпечувати безперервний доступ до даних про користувачів, їх уподобання, а також інформацію про доступні ювелірні вироби.

Крім того, важливою функцією системи є можливість використання технологій ARCore або ARKit для накладання 3D-моделей на реальне середовище. Це дає змогу користувачам візуалізувати ювелірні вироби безпосередньо на своїй руці або в іншій частині тіла, створюючи ефект присутності. Для цього необхідно реалізувати технології трекінгу, які забезпечать точне позиціонування моделі на

фізичному об'єкті. Зокрема, трекінг повинен бути достатньо точним, щоб 3D-модель виглядала так, ніби вона дійсно присутня в реальному просторі.

Нефункціональні вимоги визначають, яким чином система виконує свої функції, і охоплюють широкий спектр аспектів, які не пов'язані безпосередньо з функціональністю, але є критично важливими для успішного впровадження системи. Продуктивність системи є одним із найважливіших нефункціональних параметрів. Система повинна забезпечувати відображення 3D-моделей з частотою не менше 30 кадрів на секунду, що є мінімально необхідним для створення плавної та реалістичної візуалізації. Час завантаження моделей не повинен перевищувати 2 секунд, оскільки затримка може негативно вплинути на загальне враження від користування системою. Якщо користувач змушений чекати, поки модель завантажиться, це може знизити його зацікавленість і викликати невдоволення.

Сумісність із різними мобільними платформами також є критично важливою. Система повинна бути здатною працювати на платформах Android та iOS, а інтерфейс повинен адаптуватися до різних розмірів екранів та роздільної здатності. Це дозволить забезпечити доступність системи для більш широкої аудиторії користувачів, які використовують різні пристрої. Важливо також, щоб система могла адаптуватися до різних версій операційних систем, оскільки це збільшує її життєздатність у часі.

Безпека даних користувачів є ще одним важливим аспектом нефункціональних вимог. Система повинна впроваджувати механізми захисту даних, такі як шифрування інформації, що передається між клієнтом і сервером. Аутентифікація користувачів також є необхідною для захисту особистої інформації, що забезпечує додатковий рівень безпеки. Це може включати двофакторну аутентифікацію, що підвищує надійність захисту даних.

Надійність системи є важливою для підтримки високої доступності. Вона повинна працювати без збоїв протягом тривалого часу, забезпечуючи безперервний доступ до своїх функцій. Впровадження механізмів для автоматичного відновлення після помилок і аварій допоможе зберегти стабільність системи в умовах можливих

збоїв. Користувачі не повинні стикатися з частими збоїми або проблемами, які можуть знизити їхню довіру до системи.

Масштабованість системи також є важливою. Вона повинна підтримувати додавання нових ювелірних виробів без значного зниження продуктивності, а також мати можливість розширення функціональності в майбутньому шляхом додавання нових модулів або компонентів. Це означає, що система повинна бути спроектована з урахуванням можливості подальшого розвитку, що дозволить розширювати її функціонал без необхідності кардинальної зміни архітектури.

Користувацький досвід, нарешті, є одним з основних показників успішності системи. Високий рівень задоволеності користувачів забезпечується через зрозумілий і зручний інтерфейс. Система повинна надавати користувачеві можливість швидко і ефективно отримувати допомогу та підтримку. Це може включати інтерактивні елементи, такі як підказки, довідки та FAQ, які допоможуть користувачеві швидше освоїтися у системі. Використання аналітики для відстеження поведінки користувачів також допоможе вдосконалити інтерфейс та адаптувати його до потреб споживачів.

Отже, специфікація функціональних та нефункціональних вимог до автоматизованої системи створення ювелірних виробів на основі технології доповненої реальності є ключовим етапом у проектуванні та реалізації системи. Чітке визначення цих вимог дозволяє створити ефективну, безпечну та зручну систему, що відповідає сучасним стандартам та вимогам користувачів.

2.4 Технічне завдання

Технічне завдання (ТЗ) для автоматизованої системи створення ювелірних виробів, що використовує технологію Augmented Reality (AR), є основоположним документом, який визначає стратегічні цілі, ключові компоненти, а також етапи реалізації проекту. Основною метою системи є забезпечення користувачів можливістю створювати, модифікувати та візуалізувати ювелірні вироби в інтерактивному режимі, використовуючи можливості доповненої реальності. У сучасному світі, де технології розвиваються з надзвичайною швидкістю, можливість віртуального "примірювання" виробів стає дедалі важливішою. Це не

лише покращує процес покупок, але й надає користувачам унікальний досвід, адже вони можуть бачити, як ювелірні вироби виглядатимуть на їхніх руках, не виходячи з дому.

На першому етапі розробки системи необхідно провести детальний аналіз вимог, щоб зрозуміти потреби потенційних користувачів. Цей етап включає опитування, фокус-групи та аналіз конкурентів, щоб визначити, які функції є найбільш затребуваними. Наприклад, опитування може виявити, що користувачі хочуть можливість створювати індивідуальні дизайни, обираючи з різних елементів, таких як камені, метали та форми. Отримані дані допоможуть сформулювати чіткі вимоги до системи, які в подальшому стануть основою для її розробки.

Система повинна складатися з кількох ключових компонентів, кожен з яких виконує свою унікальну роль. По-перше, модуль створення 3D-моделей є одним із основних елементів. Він дозволяє користувачам генерувати моделі ювелірних виробів із базових форм або імпортувати вже існуючі моделі в стандартних форматах, таких як GLTF або GLB. Важливо, щоб цей модуль мав інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє користувачам легко налаштовувати параметри моделей, включаючи розмір, кольори, текстури та інші елементи дизайну. Користувачі також повинні мати можливість переглядати та редагувати свої моделі в реальному часі, що підвищить їх залучення до процесу створення.

Другим важливим компонентом є модуль AR-візуалізації. Цей модуль відповідає за інтеграцію 3D-моделей у реальний світ, використовуючи камеру мобільного пристрою. Завдяки технології трекінгу рук користувача, модуль повинен відстежувати рухи рук та точно відображати моделі на них. Це дозволить користувачам візуалізувати, як ювелірні вироби виглядають на їхніх руках, що суттєво покращить їхній досвід. Крім того, модуль AR повинен забезпечувати можливість взаємодії з моделями: користувачі зможуть обертати, масштабувати та переміщувати 3D-моделі, що надасть їм більшу свободу у візуалізації.

Для забезпечення зручності взаємодії користувачів з системою важливо розробити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача (UI). Інтерфейс повинен

бути простим у навігації, містити всі необхідні елементи для управління моделями, такі як кнопки для створення, редагування та збереження виробів. Крім того, інтерфейс має включати навчальні підказки, які допоможуть новим користувачам швидко ознайомитися з можливостями системи. У рамках дизайну UI варто також врахувати принципи доступності, щоб система була зручною для використання всіма категоріями користувачів, включаючи людей з обмеженими можливостями.

Окрему увагу потрібно приділити розробці надійної бази даних, яка буде відповідати за зберігання всієї інформації про користувачів, їх облікові записи та моделі виробів. База даних повинна бути оптимізованою для швидкого доступу, а також забезпечувати безпечне зберігання особистої інформації. Важливим елементом є система управління обліковими записами, яка дозволить користувачам реєструватися в системі, створювати свої профілі та отримувати доступ до збережених моделей. Це також передбачає інтеграцію функцій безпеки, таких як шифрування даних та двоетапна аутентифікація.

Реалізація проекту вимагатиме чіткої організації роботи та розподілу ролей у команді. Кожен етап проекту повинен бути ретельно спланований. Першим етапом стане розробка концептуальної моделі системи, яка визначить загальний вигляд та функціональність. Це включатиме аналіз основних бізнес-процесів, які система має підтримувати, і формування технічних вимог, які потрібно врахувати під час розробки. На цьому етапі важливо також визначити, які технології та інструменти будуть використані для розробки системи, враховуючи їх переваги та недоліки.

Після затвердження концептуальної моделі проекту наступним етапом буде проектування архітектури системи. Цей етап включає розробку високорівневої архітектури, яка визначить всі компоненти системи та їх взаємодію. Зокрема, це може включати вибір платформ для розробки, таких як Unity для 3D-візуалізації та ARKit або ARCore для інтеграції технології доповненої реальності. Важливо також продумати архітектуру бази даних, щоб вона могла ефективно обробляти запити користувачів та зберігати великі обсяги даних.

На етапі розробки 3D-моделей необхідно створити бібліотеку готових ювелірних виробів, які користувачі зможуть використовувати для візуалізації. Це

дозволить заощадити час на створення моделей з нуля та спростить процес для користувачів, які не мають навичок дизайну. Крім того, важливо створити інструменти для налаштування моделей, які дозволять користувачам адаптувати їх відповідно до своїх уподобань.

Одночасно з розробкою бібліотеки 3D-моделей слід активно працювати над модулем AR. Реалізація функціональності AR вимагатиме використання передових алгоритмів трекінгу та візуалізації, щоб моделі адекватно відображалися в реальному часі. Це також включає оптимізацію графіки, щоб забезпечити плавну роботу системи на різних пристроях, включаючи смартфони та планшети. Тестування модуля AR є критично важливим етапом, оскільки від нього залежить якість користувацького досвіду.

Після завершення розробки всіх компонентів системи важливо провести всебічне тестування, яке включатиме юзабіліті-тестування, функціональність та продуктивність системи. Під час тестування необхідно виявити та усунути можливі помилки, а також оцінити, наскільки зручно користувачам взаємодіяти з системою. Це допоможе забезпечити високий рівень задоволеності користувачів та зменшити кількість технічних проблем під час запуску системи.

Коли система буде готова, відбудеться її впровадження, що передбачає запуск системи для широкого використання. Це може включати пілотне тестування серед обраних користувачів, які нададуть відгуки про функціональність та зручність системи. Після запуску важливо забезпечити технічну підтримку для користувачів, а також регулярні оновлення системи для вдосконалення її функціональності та безпеки.

Зворотний зв'язок від користувачів є критично важливим для подальшого розвитку системи. Після впровадження системи важливо здійснювати моніторинг використання та збирати відгуки від користувачів для виявлення можливостей для покращення. Це дозволить адаптувати систему до змінюваних потреб ринку та вдосконалити користувацький досвід.

У висновку, технічне завдання для системи AR, що розробляється, має бути чітко структурованим і містити в собі всі етапи, починаючи від аналізу вимог і

закінчуючи впровадженням системи. Це дозволить забезпечити успішну реалізацію проекту, що відповідатиме сучасним вимогам ринку та задовольнить потреби користувачів.

Висновки до розділу 2

У другому розділі роботи було здійснено всебічний аналіз сучасних технологій доповненої реальності (AR), що є ключовим етапом у розробці автоматизованої системи створення ювелірних виробів. Розгляд методів відображення 3D моделей у реальному часі дав змогу виявити, наскільки важливими є технології трекінгу та рендерингу для інтеграції віртуальних об'єктів у фізичний простір. Використання алгоритмів, таких як SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), забезпечує високу точність відображення ювелірних виробів, що дозволяє користувачам взаємодіяти з ними в їхньому оточенні. Це, в свою чергу, підвищує якість візуалізації та робить процес використання системи більш зручним.

Особливу увагу було приділено методам покращеного освітлення, текстурювання і фізично обґрунтованого рендерингування, які забезпечують фотореалістичність зображень. Це є надзвичайно важливим для ювелірних виробів, де деталі, такі як блиск метала і прозорість дорогоцінних каменів, повинні бути передані максимально точно. Сучасні технології дозволяють створювати естетично привабливі візуалізації, що позитивно впливають на користувацький досвід.

Також було досліджено платформи та інструменти для розробки AR-додатків, зокрема Unity, ARKit та ARCore. Unity, завдяки своєму багатому функціоналу, дозволяє створювати інтерактивний контент, а ARKit і ARCore надають спеціалізовані технології для AR, що полегшує розробку додатків для iOS і Android. Це прискорює процес створення додатків і забезпечує їх сумісність з різними пристроями, що є важливим фактором у сучасному світі.

Не можна також не згадати про використання машинного навчання для покращення візуалізації в AR. Алгоритми комп'ютерного зору, наприклад, дозволяють системі адаптуватися до змін у навколишньому середовищі в

реальному часі, що є суттєвим для забезпечення точності відображення деталей. Це особливо важливо в ювелірній візуалізації, де точність і деталізація є критичними.

У концептуальній моделі використання інформаційної системи, представлений у розділі, було показано, як всі ці технології можуть взаємодіяти один з одним, забезпечуючи інтерактивність і адаптивність системи. Ця модель слугує основою для подальшого розвитку, демонструючи, як різні компоненти можуть працювати разом для створення унікального досвіду для користувачів.

Специфікація функціональних та нефункціональних вимог до системи розкриває, які саме дії можуть виконувати користувачі та які характеристики системи є критично важливими. Це включає в себе не лише функціональність, а й аспекти продуктивності, безпеки та зручності використання, що забезпечує всебічне розуміння вимог до системи.

Останній підрозділ, що охоплює технічне завдання, визначає конкретні етапи реалізації проекту та ключові компоненти, необхідні для його успішної реалізації. Це завдання описує, як технічні та управлінські рішення можуть бути інтегровані в процес розробки, що дозволить забезпечити ефективну реалізацію проекту в ювелірній індустрії.

Таким чином, розділ 2 підтверджує важливість інноваційних технологій AR у створенні інтерактивних систем для візуалізації ювелірних виробів. У результаті дослідження було сформовано комплексну основу для розробки системи, що відповідатиме сучасним вимогам ринку та потребам користувачів. Впровадження цих технологій не тільки покращить якість візуалізації, але й дозволить створити більш персоналізований досвід для кінцевих користувачів, відкриваючи нові можливості для розвитку ювелірної індустрії.

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

3.1 Опис вихідних і вхідних даних

Вибір та підготовка вхідних і вихідних даних для автоматизованої системи створення ювелірних виробів із застосуванням технології доповненої реальності (Augmented Reality, AR) має критично важливе значення для досягнення високого рівня точності, якості візуалізації та користувацького досвіду. Оскільки система покликана відтворювати ювелірні вироби в реальному часі, кожен тип вхідних та вихідних даних проходить складний процес обробки, який забезпечує не лише інтерактивність, але й реалістичність представлення об'єктів. Цей процес вимагає інтеграції даних з різних джерел, включаючи цифрові моделі, параметри камери та користувацькі налаштування, що створює повноцінну інформаційну базу для коректного функціонування системи.

Вхідні дані системи поділяються на кілька основних типів, кожен з яких виконує специфічну роль у процесі формування AR-візуалізації. Основним джерелом є тривимірні моделі ювелірних виробів у форматі GLTF, які забезпечують цифрове представлення фізичних виробів з урахуванням усіх найменших деталей. Формат GLTF (GL Transmission Format), широко поширений у сучасних системах комп'ютерної графіки, оптимізований для високоефективного рендерингу моделей, що робить його ідеальним для передачі та відображення 3D-об'єктів у реальному часі. Ці моделі містять детальну інформацію про форму, текстуру, матеріал, а також параметри освітлення, що дозволяє надати максимально реалістичне зображення ювелірного виробу. Особливо важливим є те, що ці моделі можуть бути налаштовані під конкретні запити користувача, зокрема, змінювати розмір виробу або його колір, що створює персоналізований досвід взаємодії із системою.

Крім тривимірних моделей, до вхідних даних належить відеопотік, що надходить з камери пристрою користувача. Цей потік забезпечує зображення руки або пальця користувача, на які накладається віртуальна модель ювелірного виробу. Важливим аспектом обробки відеопотоку є його відповідність формату RGB або іншому підтримуваному формату, що дозволяє системі обробляти кожен кадр з

високою точністю та передавати чітке зображення. Завдяки передовим алгоритмам розпізнавання контурів та трекінгу пальців, система визначає координати, на які потрібно накласти тривимірну модель, забезпечуючи таким чином її правильне положення на пальці користувача. Система виконує динамічне визначення положення та орієнтації руки, дозволяючи 3D-моделі ювелірного виробу адаптуватися до рухів користувача, створюючи реалістичний ефект, який сприяє підвищенню залученості користувача.

Додатково, вхідними даними є користувацькі налаштування, які можуть включати індивідуальні побажання щодо вигляду ювелірного виробу, такі як розмір, тип матеріалу, стиль чи навіть гравіювання. Ці дані, як правило, передаються у структурованому форматі JSON або XML, що дозволяє зберігати їх у вигляді об'єкта з чітко визначеними параметрами. Завдяки цьому користувачі можуть отримати можливість вносити зміни до візуалізації у режимі реального часу, а також зберігати свої налаштування для подальшого використання. Збереження персональних налаштувань надає додаткову гнучкість, дозволяючи користувачам повторно використовувати свої вибори, що значно підвищує ефективність взаємодії з системою.

У той же час, вихідні дані є результатом обробки вхідних даних і є ключовим елементом, який створює візуальний та функціональний результат для користувача. Найважливішим вихідним даними є відеопотік із відображенням тривимірної моделі ювелірного виробу, накладеної на руку користувача. Це зображення формується в результаті поєднання вхідного відеопотоку та 3D-моделі, що дозволяє користувачу побачити ювелірний виріб у тому вигляді, в якому він з'явиться на руці в реальності. Така інтерактивна візуалізація відображає не лише статичну модель, а й реагує на рух руки, що створює враження натурального накладання виробу. Унікальною особливістю цього результату є здатність системи коригувати положення моделі відповідно до зміни кута або положення пальця користувача, що досягається за рахунок комплексного використання алгоритмів трекінгу.

Іншим типом вихідних даних є збережені налаштування користувача, які створюються у відповідь на індивідуальні параметри, введені під час взаємодії з

системою. Ці дані можуть бути використані як для відновлення попередніх налаштувань, так і для подальшого аналізу уподобань користувачів, що сприяє персоналізації та покращенню досвіду роботи з додатком. Збережені налаштування також дозволяють розробникам вивчати поведінку користувачів, аналізуючи, які саме налаштування є найбільш популярними, що дає можливість оптимізувати систему під ці потреби.

Окрім візуалізації та налаштувань, система може генерувати аналітичні звіти про використання додатку. Ці звіти формуються у вигляді структурованих файлів, таких як CSV, JSON або XML, і містять дані про тривалість використання, частоту обраних налаштувань, середню кількість взаємодій із певними моделями тощо. Така аналітика надає розробникам цінну інформацію для подальшого вдосконалення системи, дозволяючи визначити, які аспекти інтерфейсу чи функціоналу потребують оптимізації, а також які функції викликають найбільший інтерес у користувачів.

3.2 Розробка архітектури

Архітектура веб-сайту, розробленого для автоматизованої системи створення ювелірних виробів, є складною і багатогранною, зосереджуючи увагу на поєднанні сучасних технологій, зручності для користувачів та естетичного дизайну. Основною метою цього сайту є забезпечення інтуїтивно зрозумілого і зручного інтерфейсу, що дозволяє користувачам не лише здійснювати покупки, але й отримувати унікальний досвід взаємодії з продукцією за допомогою доповненої реальності (AR), активованої QR-кодами.

Сайт складається з двох основних компонентів: інтернет-магазину та AR-функціоналу, який виконує важливу роль у створенні привабливого і інтерактивного досвіду. Інтернет-магазин надає користувачам можливість переглядати широкий асортимент ювелірних виробів, включаючи кільця, браслети та підвіски, з докладними описами, фотографіями та відгуками від інших клієнтів. Важливим аспектом є розробка зрозумілої і логічної структури сайту, що полегшує навігацію. Користувачі повинні мати змогу легко знаходити бажані товари, переглядати різні категорії, такі як "Найбільш популярні товари" та "Спеціальні

категорії", а також мати доступ до розділу "Відгуки", де вони можуть отримати додаткову інформацію про якість і репутацію товарів.

Також передбачена можливість перегляду 3D моделей ювелірних виробів безпосередньо з комп'ютера. Це дозволяє користувачам вивчати деталі виробів у зручному форматі, використовуючи технології веб-дизайну для відтворення об'ємних моделей на екрані. За допомогою інтерактивних елементів користувачі можуть обертати моделі, наближати або віддаляти зображення, щоб детально оглянути різні аспекти прикрас. Це дозволяє потенційним покупцям отримати повне уявлення про товар, навіть не використовуючи мобільний пристрій. Веб-додаток забезпечує високоякісну візуалізацію, що демонструє текстури, блиск, та кольорові характеристики ювелірних виробів, роблячи їх більш привабливими для потенційних клієнтів.

Але найбільш вражаючою можливістю, яку пропонує сайт, є інтеграція технології доповненої реальності для перегляду товарів на руці. Після сканування QR-коду користувач може активувати AR-функцію на своєму мобільному пристрої, що дозволяє візуалізувати прикрасу на своїй руці в реальному часі. Цей процес включає використання камери смартфона для відстеження руки та налаштування 3D моделі, так що прикраса виглядає природно і реалістично.

Технологія AR дозволяє точно відображати масштаб і пропорції ювелірного виробу в контексті реального середовища, що є критично важливим для покупців, які хочуть впевнитися у відповідності розміру та дизайну прикраси з власними уподобаннями. Користувачі можуть обертати свою руку, змінювати положення і навіть взаємодіяти з оточенням, щоб побачити, як прикраса виглядає під різними кутами освітлення та в різних умовах. Це надає значний імпульс довірі до вибору продукції, адже клієнти можуть на власні очі переконатися у якості та естетиці виробів, що підвищує ймовірність завершення покупки.

Інтеграція AR не тільки розширює можливості традиційного шопінгу, але й перетворює його на захоплюючий досвід. Вона дозволяє користувачам вільно експериментувати з різними стилями та комбінаціями, створюючи персоналізовані враження від покупки. Завдяки цій технології веб-сайт стає не просто місцем для

покупок, а платформою для творчого самовираження, де кожен користувач може знайти свою унікальну прикрасу, відповідно до власного стилю та смаку.

3.3 Засоби розробки

Вибір технологій для реалізації проекту потребує детального аналізу та обґрунтування кожного обраного елемента. Для виконання поставленого завдання були застосовані такі технології: HTML, CSS, JavaScript, Node.js, AJAX, Three.js, а також база даних MongoDB з бібліотекою Mongoose.

HTML, CSS та JavaScript становлять основні складові веб-розробки і були використані для формування фронтенду ювелірного інтернет-магазину. HTML служить для створення структури та верстки веб-сторінок, CSS забезпечує стилізацію, а JavaScript надає динамічну функціональність та інтерактивність. Завдяки цим технологіям розроблено привабливий і зручний для користувачів інтерфейс, який сприяє комфортній навігації та взаємодії відвідувачів з сайтом.

З урахуванням того, що проект передбачає використання 3D-моделей з відображенням в реальному часі, була обрана бібліотека three.js. Ця бібліотека JavaScript призначена для візуалізації 3D-графіки в браузері. Вона використовується для створення 3D-конструктора в ювелірному інтернет-магазині, що дозволяє маніпулювати 3D-об'єктами, налаштовувати освітлення і текстури, а також анімувати об'єкти. Це дає змогу користувачам взаємодіяти з ювелірними виробами в 3D-просторі, змінюючи їх характеристики і насолоджуючись реалістичним відображенням. [19]

AJAX (асинхронний JavaScript і XML) дозволяє здійснювати обмін даними між сервером і клієнтом без перезавантаження сторінки. Використання AJAX забезпечує динамічне оновлення контенту на веб-сторінках без необхідності повного перезавантаження, що підвищує швидкість завантаження даних і покращує користувацький досвід.

Node.js — це середовище виконання JavaScript, засноване на движку V8, що забезпечує високу продуктивність. Воно використовується для розробки серверної частини додатка, що дозволяє обробляти запити з боку веб-клієнтів і надавати необхідні дані. У даному випадку Node.js використовувався для створення

серверної логіки, яка охоплює обробку запитів, управління базою даних і забезпечення взаємодії з клієнтською частиною.

MongoDB з бібліотекою Mongoose застосовуються для зберігання та управління даними про клієнтів. MongoDB — це документно-орієнтована база даних, що дозволяє зберігати дані у форматі документів, схожих на JSON. Mongoose є об'єктно-документною моделлю (ODM) для MongoDB, що забезпечує зручний інтерфейс для взаємодії з базою даних. Використання MongoDB та Mongoose дозволяє ефективно зберігати і управляти інформацією про клієнтів, їх замовлення і інші важливі дані. [20]

У процесі розробки вибір засобів для створення та маніпуляції 3D-моделями є важливим етапом. Одним із ключових інструментів у цій роботі став Blender.

Blender — це безкоштовне програмне забезпечення для 3D-моделювання, анімації, рендерингу та композитингу. Воно пропонує широкі можливості для створення складних 3D-об'єктів, налаштування освітлення і матеріалів, а також анімації об'єктів. В контексті цієї дипломної роботи Blender використовувався переважно для попереднього моделювання та створення 3D-моделей, які згодом інтегрувались в ювелірний інтернет-магазин з використанням бібліотеки three.js.

Основні функції Blender у процесі розробки включають:

1. Моделювання 3D-об'єктів: Blender застосовувався для створення деталізованих 3D-моделей ювелірних виробів та інших об'єктів, які будуть представлені в інтернет-магазині. Це програмне забезпечення надає можливості для створення складних геометричних форм, роботи з поверхнями, текстурами та матеріалами, що дозволяє створювати унікальні та привабливі моделі відповідно до концепції проекту.

2. Текстурування і налаштування матеріалів: У Blender можливо використовувати текстури та регулювати матеріали на створених 3D-моделях. Blender має різноманітні інструменти для розробки текстур, їх нанесення на поверхні моделі, а також налаштування параметрів матеріалів, таких як відбиття світла, прозорість і металічність. Це дозволяє досягти реалістичного вигляду 3D-моделей ювелірних виробів.

3. Експорт у форматі, сумісному з Three.js: Після створення 3D-моделей у Blender їх можна експортувати в формат, який підтримується бібліотекою three.js, що використовується в інтернет-магазині. Blender підтримує різні формати експорту, такі як .glTF або .obj, які можна легко інтегрувати на веб-сторінку для відображення 3D-моделей у реальному часі. [21]

Важливо також зазначити, що для генерації QR-кодів у проекті використовується бібліотека qrcode.js. Ця бібліотека спрощує процес створення QR-кодів, які ведуть до конкретних продуктів в інтернет-магазині. Завдяки qrcode.js можна швидко генерувати коди, що зберігають інформацію про продукти, дозволяючи користувачам швидко переходити до перегляду моделей через їх мобільні пристрої. QR-коди активують AR-функціональність, зокрема показ 3D-моделей на руках користувачів, що підвищує інтерактивність і зацікавленість покупців.

Крім того, для інтеграції функцій, пов'язаних із взаємодією користувачів та AR, використовується бібліотека MediaPipe Hands. MediaPipe Hands надає потужні можливості для розпізнавання жестів, що дозволяє користувачам управляти 3D-моделями за допомогою рухів рук у реальному часі. Завдяки MediaPipe Hands, інтерфейс стає ще більш інтуїтивно зрозумілим, оскільки користувачі можуть безпосередньо маніпулювати 3D-моделями, що відкриває нові горизонти для взаємодії з ювелірними виробами.

Вибір зазначених засобів обумовлений їхньою здатністю задовольняти вимоги проекту, багатофункціональністю та зручним інтерфейсом для розробників. Спільна робота HTML, CSS та JavaScript дозволила створити інтерактивний інтерфейс для користувачів, в той час як Blender забезпечив високу якість 3D-моделей, інтегрованих через Three.js. Застосування AJAX сприяло плавному переміщенню по сайту без перезавантаження сторінок. Node.js і MongoDB разом із Mongoose забезпечили потужну серверну логіку і ефективне управління базою даних.

Фінально, новий функціонал у проекті включає генерацію QR-кодів для кожного товару, а також інтеграцію AR-технологій з можливістю використання

жестів для взаємодії з 3D-моделями. Це розширює можливості користувачів, надаючи їм унікальний досвід взаємодії з ювелірними виробами через AR, що підвищує не лише зацікавленість, але й задоволеність від покупок.

3.4 Проектування структури бази даних

По-перше, необхідно здійснити інтеграцію розроблюваної системи з продуктом, орієнтованим на веб-технології. Це передбачає створення структури бази даних, яка міститиме всі важливі дані для належного функціонування сайту та взаємодії з системою.

Оптимізація роботи веб-ресурсу, що обробляє значущу інформацію, накопичену під час використання, передбачає інтеграцію бази даних. Для даного проекту обрано Mongoose, об'єктно-документну бібліотеку для Node.js і MongoDB. Mongoose надає зручні засоби для моделювання даних, управління зв'язками між колекціями та взаємодії з MongoDB. Використання Mongoose забезпечує ефективну роботу з даними та комфортний інтерфейс у контексті цього проекту.

Першим етапом є створення діаграми елементів, що представлена на рисунку 3.1.

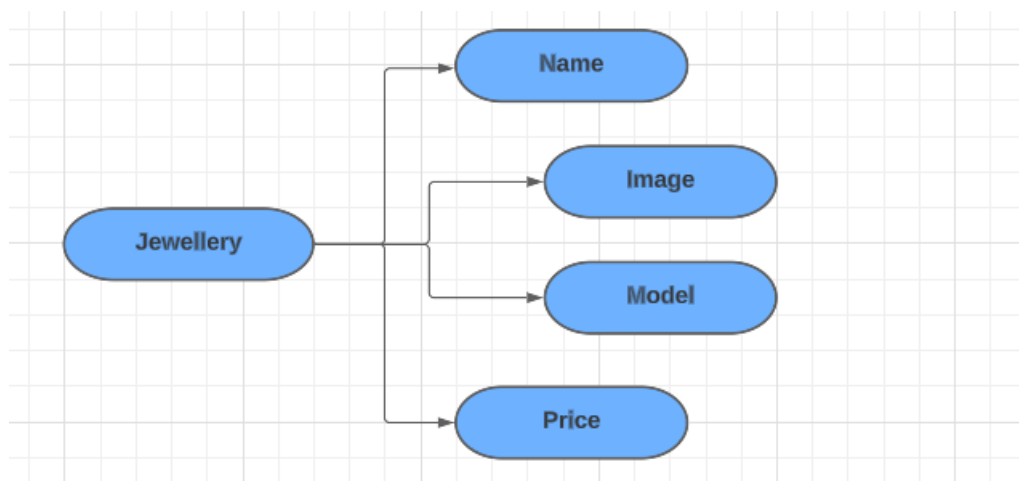


Рисунок 3.1 – Діаграма елементів проекту, аркуш 1

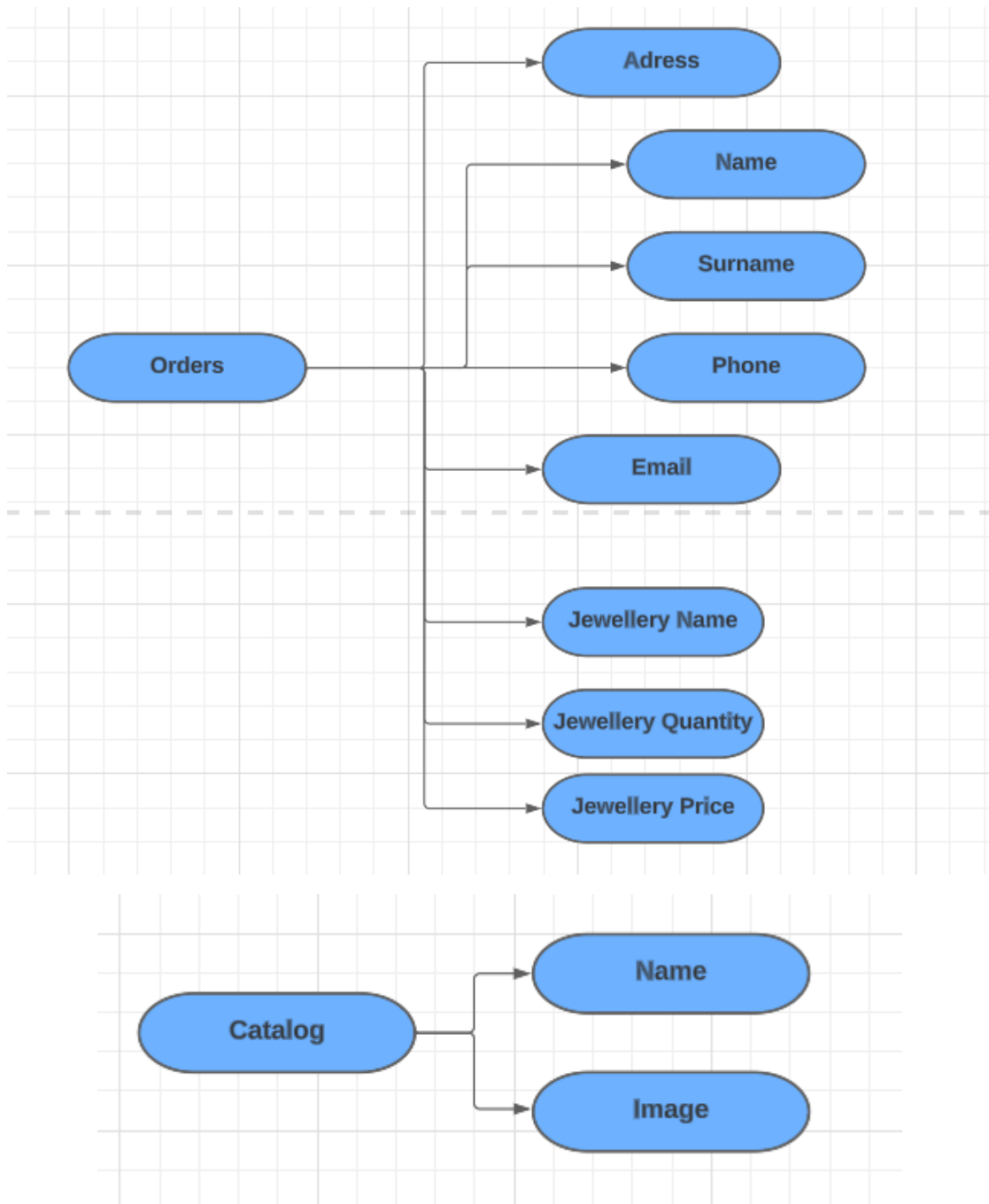


Рисунок 3.1, аркуш 2

На основі цих даних була сформована таблиця ідентифікаторів, яка показана в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця ідентифікаторів.

Об'єкт	Властивість	Тип	Розмірність	Ідентифікатор
--------	-------------	-----	-------------	---------------

Jewellery	Назва	Text	256	Jewellery name
	Зображення	Text	256	image
	Модель	Text	256	model
	Ціна	Int	256	price
Orders	Ім'я	Text	256	Orders name
	Прізвище	Text	256	surname
	Телефон	Text	256	phone
	Електронний адрес	Text	256	email
	Адреса	Text	256	address
	Назва прикраси	Text	256	jewellery_name
	Кількість прикрас	Int	256	jewellery_quantity
	Ціна прикраси	Int	256	jewellery_price
Catalog	Назва	Text	Text	Catalog name
	Зображення	Text	Text	image

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було реалізовано комплексне проектування інформаційної системи для автоматизованої візуалізації ювелірних виробів, яке стало ключовим етапом у побудові ефективної та надійної AR-системи. Спершу було детально проаналізовано вхідні та вихідні дані, що дозволило точно визначити вимоги до інформації, яка буде опрацьовуватися на кожному етапі роботи системи. Це включає обробку зображень, 3D-моделей та параметрів користувача для максимальної точності та інтуїтивності візуалізації.

Наступним важливим кроком стала розробка архітектури системи, яка базується на модульному підході. Це сприяє високій продуктивності, легкій масштабованості та гнучкості системи, що дозволяє вносити зміни та адаптуватися до нових вимог без суттєвих змін у кодовій базі. Вибір архітектурних рішень був

обумовлений потребою в інтерактивності та швидкому рендерингу 3D-моделей ювелірних виробів, які забезпечують реалістичне зображення на основі позиції руки користувача.

Було також обґрунтовано та вибрано оптимальні засоби розробки, такі як бібліотеки для відтворення доповненої реальності та обробки зображень, зокрема MediaPipe Hands для відстеження позиції рук, що стало одним із ключових компонентів у досягненні високого рівня точності та інтерактивності. Використання таких технологій забезпечує плавність і високу якість взаємодії користувача з моделями у реальному часі, що є критично важливим для позитивного досвіду користувача. Особливу увагу приділено проектуванню структури бази даних.

Узагальнюючи, цей розділ створює фундамент для практичної реалізації системи, яка відповідає вимогам високої точності, швидкодії та інтерактивності. Деталізація кожного етапу, від опису даних до структури бази даних, забезпечує високий рівень гнучкості та функціональності, що є важливими факторами для успішного впровадження AR у процеси ювелірної візуалізації.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ІНТЕГРАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

4.1 Вибір технологій для рендерингу 3D-моделей

Для рендерингу 3D-моделей у цьому проєкті було обрано специфічні інструменти та бібліотеки, які не тільки задовольняють основні вимоги щодо якості візуалізації, але й враховують сумісність з веб-середовищем та особливості пристроїв користувачів, зокрема мобільних. Ключовим інструментом для цього завдання стала бібліотека Three.js — популярний JavaScript-інструмент, що значно спрощує роботу з 3D-графікою в браузері. Її вибір був зумовлений здатністю обробляти складні сцени та 3D-об'єкти, водночас забезпечуючи високу продуктивність, що є критичним для роботи з анімованими моделями в реальному часі.

Однією з важливих переваг Three.js є її сумісність із WebGL, що забезпечує плавний і швидкий рендеринг навіть на пристроях з обмеженими ресурсами, таких як мобільні телефони або планшети. WebGL використовує можливості графічних процесорів для обробки 3D-графіки, розвантажуючи основний процесор, що є перевагою в проєкті, де обробка 3D-моделей має бути легкою та швидкою. Крім того, Three.js підтримує різноманітні формати моделей, включаючи .glTF, .OBJ, та .FBX, що дозволяє безперешкодно імпортувати моделі з інших програм, таких як Blender, забезпечуючи гнучкість у виборі інструментів для створення та підготовки 3D-моделей.

У випадку цього проєкту, вибір формату .glTF для рендерингу моделей був зроблений через його здатність зберігати не тільки геометрію об'єкта, але й матеріали, текстури та анімацію, що суттєво покращує якість візуалізації. Формат .glTF також оптимізовано для використання в інтернеті, що забезпечує менший обсяг файлів та, відповідно, знижує час завантаження, зокрема на мобільних пристроях з низькою пропускнуою здатністю мережі.

У контексті практичного застосування вибраних технологій, важливо також розглянути питання автоматизації та оптимізації процесів рендерингу. Для цього було впроваджено використання Node.js, що забезпечує серверну обробку даних та

взаємодію з базою даних MongoDB. Ця комбінація технологій дозволяє реалізувати ефективну архітектуру, у якій запити до бази даних та обробка 3D-моделей відбуваються асинхронно, не перевантажуючи інтерфейс користувача. Node.js, з його неблокуючою моделлю I/O, надає можливість виконувати кілька завдань одночасно, що є критично важливим для забезпечення швидкого реагування системи на дії користувача.

Завдяки цьому підходу, 3D-моделі можуть бути завантажені у фоновому режимі, дозволяючи користувачеві взаємодіяти з інтерфейсом, поки дані завантажуються. Це забезпечує більш плавний користувацький досвід, особливо в умовах обмежених ресурсів пристроїв або повільного інтернет-з'єднання. Бібліотека Mongoose полегшує управління даними, надаючи розширені можливості для роботи з MongoDB, включаючи валідацію даних та створення складних запитів. Це особливо важливо для організації даних про 3D-моделі, які потребують точного і швидкого доступу.

Додатково, у проєкті було використано qrcode.js, бібліотеку для генерації QR-кодів, що дозволяє інтегрувати механізм швидкого доступу до моделей. QR-коди, що ведуть на конкретні 3D-моделі, надають користувачам можливість миттєвого сканування та перегляду моделей у режимі доповненої реальності, що є важливим елементом інтерактивності системи. Інтеграція цього механізму є важливою частиною архітектури проєкту, оскільки вона створює нові можливості для залучення користувачів та вдосконалює їхній досвід взаємодії.

Окрім цього, для обробки жестів рук в режимі реального часу була впроваджена бібліотека MediaPipe Hands. Ця бібліотека використовує технології комп'ютерного зору для визначення позицій рук та жестів, що дає можливість користувачам взаємодіяти з 3D-моделями без необхідності використовувати мишу чи клавіатуру. Завдяки цьому, система адаптується до природного способу взаємодії людини з об'єктами, що значно покращує зручність використання та загальний досвід.

Таким чином, вибір технологій для рендерингу 3D-моделей у цьому проєкті обумовлений не лише їхньою функціональністю, але й здатністю створювати

інтерактивний та зручний інтерфейс. Використання бібліотек, таких як Three.js, p5.js, qrcode.js, і MediaPipe Hands, у поєднанні з Node.js та MongoDB, створює потужну платформу, що відповідає вимогам сучасних веб-технологій. Цей комплексний підхід забезпечує високу продуктивність, якість візуалізації та зручність взаємодії, що робить проект інноваційним і привабливим для користувачів.

4.2 Візуалізація 3D-моделей при натисканні на зображення

Цей розділ описує процес візуалізації 3D-моделей у вебсередовищі при натисканні на фотографії, що відображається на сторінці. Функціонал реалізований з використанням бібліотеки Three.js та інших пов'язаних інструментів для інтерактивної взаємодії з 3D-об'єктами. Основний код, на якому базується ця система, забезпечує завантаження, відображення та управління 3D-моделями у форматі GLTF, що дозволяє створювати реалістичні й високоякісні візуалізації, оптимізовані для використання у вебдодатках.

Використання бібліотеки Three.js у цьому проєкті забезпечує візуалізацію складних моделей у реальному часі. Використання 3D-моделей у форматі GLTF є практичним вибором, оскільки цей формат підтримує швидке завантаження й зберігає інформацію про текстури, матеріали та анімації. У прикладеному коді використовуються декілька важливих бібліотек:

1. Three.js — базова бібліотека для створення та рендерингу 3D-графіки в браузері.
2. OrbitControls — модуль для інтерактивного управління камерою, що дозволяє користувачу обертати та масштабувати об'єкт для кращого огляду.
3. GLTFLoader — завантажувач моделей у форматі GLTF, який підтримує як статичні, так і анімовані моделі.
4. RGBELoader — модуль для завантаження HDR-текстур, що використовуються для створення реалістичного оточуючого середовища.

Для створення інтерактивної сцени ми використовуємо перспективну камеру, яка дозволяє користувачам оглядати моделі так, як вони виглядали б у реальному просторі. Камера налаштована з параметрами, що забезпечують оптимальну

перспективу, даючи можливість детально розглянути моделі з різних позицій. Налаштування перспективи та положення камери гарантує, що користувач може переглядати модель повністю, без втрати видимих деталей.

На першому етапі створюється сцена та встановлюється камера, яка налаштована для перегляду під кутом 45 градусів, забезпечуючи оптимальний огляд об'єкта. Камера розміщується в позиції, яка дозволяє зосередитися на об'єкті та забезпечує баланс між деталізацією та загальним виглядом сцени. Код даного етапу зображено на рисунку 4.1.

```
camera = new THREE.PerspectiveCamera(
  45,
  window.innerWidth / window.innerHeight,
  0.25,
  20
);
camera.position.set(2.5, 2.0, 1.5);
```

Рисунок 4.1 – Встановлення камери

Для додавання реалізму використовуються HDR-текстури, які завантажуються за допомогою RGBELoader. Ці текстури створюють ефект оточуючого середовища, яке відображається на поверхні об'єкта. Завдяки цьому елементи виглядають більш природно та гармонійно. Код даного етапу зображено на рисунку 4.2.

```
1  new RGBELoader()
2    .setPath("textures/equirectangular/")
3    .load("royal_esplanade_1k.hdr", function (texture) {
4      texture.mapping = THREE.
EquirectangularReflectionMapping;
5
6      scene.background = texture;
7      scene.environment = texture;
8
9      render();
10 });
```

Рисунок 4.2 – Встановлення текстур

Освітлення відіграє ключову роль у візуалізації тривимірних моделей. В сцені ми використали поєднання амбієнтного світла та спрямованого освітлення, що забезпечує рівномірне підсвічування об'єкта та допомагає виділити деталі. Амбієнтне світло додає загальний рівень освітлення, а спрямоване світло імітує природне освітлення, яке створює тіні та акценти на об'єкті, роблячи його більш реалістичним. Код даного етапу зображено на рисунку 4.3.

```
1  const ambientLight = new THREE.AmbientLight(0xffffff, 0.5);
2  scene.add(ambientLight);
3
4  const directionalLight = new THREE.DirectionalLight(0xffffff
5  , 0.8);
6  directionalLight.position.set(0, 1, 1);
7  scene.add(directionalLight);
```

Рисунок 4.3 – Встановлення освітлення

Однією з важливих функцій додатка є динамічне завантаження 3D-моделей відповідно до вибору користувача. За допомогою localStorage зберігаємо інформацію про те, яку модель вибрав користувач. При натисканні на фото в каталозі моделі автоматично завантажуються у сцену, використовуючи GLTFLoader. Це забезпечує безшовний перехід між елементами інтерфейсу та відображенням 3D-об'єктів. Код даного етапу зображено на рисунку 4.4.

```
1  const clickedButtonText = localStorage.getItem(
2  "clickedButtonText");
3
4  loader.load(clickedButtonText + ".gltf", (glTF) => {
5  glTF.scene.traverse((child) => {});
6  scene.add(glTF.scene);
7  });
```

Рисунок 4.4 – Динамічне завантаження 3D-моделей

Далі використовуємо OrbitControls — один з найпопулярніших модулів для управління камерою у Three.js, який надає користувачам можливість обертати,

масштабувати та переміщувати об'єкти у просторі. За допомогою OrbitControls користувач може взаємодіяти з моделлю наступним чином:

- Обертання моделі: Користувач може обертати камеру навколо моделі, що дозволяє оглядати її з усіх боків.
- Масштабування: Контролі забезпечують можливість наближення та віддалення об'єкта, дозволяючи оглядати його на різних рівнях деталізації.
- Панорамування: Дозволяє зсувати модель по горизонталі або вертикалі, що може бути корисно для більш точного розгляду окремих частин об'єкта.

Ці функції налаштовані таким чином, щоб максимально покращити взаємодію з об'єктом, зберігаючи природний та інтуїтивний контроль. Код даного етапу зображено на рисунку 4.5.

```
1 var controls = new OrbitControls(camera, renderer.domElement);
2   controls.addEventListener("change", render);
3
4   controls.minDistance = 2;
5   controls.maxDistance = 10;
6   controls.target.set(0, 0, -0.2);
7   controls.update();
```

Рисунок 4.5 – Додавання OrbitControls

Анімація забезпечується функцією `animate()`, яка постійно оновлює сцену та відображає будь-які зміни, зокрема рух камери та зміну положення об'єкта. Це створює плавний і приємний користувацький досвід. Код даного етапу зображено на рисунку 4.6.

```
1 function animate() {
2   requestAnimationFrame(animate);
3   controls.update();
4   renderer.render(scene, camera);
5 }
6 animate();
```

Рисунок 4.6 – Додавання оновлення сцени

Оскільки вебдодаток може використовуватись на різних пристроях, важливо враховувати адаптивність візуалізації. Функція `onWindowResize` перераховує пропорції камери та розмір рендеру, забезпечуючи коректне відображення сцени на різних розмірах екранів. Код даного етапу зображено на рисунку 4.7.

A screenshot of a code editor window with a dark background and light-colored text. The code is a JavaScript function named `onWindowResize()` with the following lines:

```
1 function onWindowResize() {
2   camera.aspect = window.innerWidth / window.innerHeight;
3   camera.updateProjectionMatrix();
4
5   renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
6
7   render();
8 }
```

The code is numbered from 1 to 8 on the left side of the editor. The window has three colored window control buttons (red, yellow, green) in the top-left corner.

Рисунок 4.7 – Додавання можливості коректного відображення сцени на різних розмірах екранів

4.3. QR-коди як інструмент активації AR-сценаріїв

Впровадження QR-кодів в інтерактивні веб-додатки стало зручним рішенням для активації сценаріїв доповненої реальності (AR) у багатьох галузях. У системі візуалізації ювелірних виробів QR-коди дозволяють користувачам миттєво отримати доступ до 3D-моделей вибраного продукту, просто скануючи код на своїх пристроях. Це забезпечує зручний перехід від фізичного об'єкта до його віртуального зображення, що відображається в доповненій реальності, дозволяючи покупцям більш наочно переглянути ювелірний виріб перед придбанням.

Кожен товар у системі має унікальний QR-код, який містить посилання на конкретну модель цього товару, що дозволяє користувачам завантажувати 3D-модель безпосередньо на свої мобільні пристрої. Завдяки QR-коду користувач переходить на сторінку доповненої реальності, де, вказавши камеру на свою руку, може побачити вибраний виріб у відповідному масштабі і положенні.

Генерація QR-кодів у системі реалізована за допомогою JavaScript та бібліотеки `qrcode.js`, що дозволяє створювати динамічні коди безпосередньо на клієнтській стороні веб-додатку. Бібліотека `qrcode.js` забезпечує простий та

ефективний спосіб генерації QR-кодів на стороні клієнта. Одна з основних переваг цієї бібліотеки — її легкість і здатність працювати без серверних запитів, що значно знижує навантаження на сервер і покращує продуктивність. Вона пропонує налаштування різних рівнів корекції помилок, що дозволяє контролювати точність зчитування коду навіть за умов певного зносу або пошкоджень.

Процес створення коду в `qrcode.js` починається з ініціалізації об'єкта коду за допомогою методу `qrcode`. Після цього за допомогою методу `addData` передаються дані, які будуть зашифровані в QR-коді. Нарешті, `make` створює структуру коду, а метод `createImgTag` формує HTML-елемент, який потім додається до сторінки, забезпечуючи візуальне відображення коду на веб-сторінці. Така гнучкість дозволяє з легкістю інтегрувати `qrcode.js` в будь-який веб-додаток.

Спершу в HTML-документі додаємо посилання на бібліотеку `qrcode.js`, яка допоможе нам працювати з QR-кодами (рис. 4.8):



```
1 <script src=
  "https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/qrcode-generator/1.4.
  4/qrcode.min.js"
  ></script>
```

Рисунок 4.8 – Додавання бібліотеки `qrcode.js`

Ця бібліотека дозволяє створювати QR-коди шляхом додавання даних і генерації коду для передачі конкретного URL-адреси.

Щоб забезпечити динамічність у системі, кожен QR-код містить унікальну URL-адресу, яка включає параметр, що вказує на конкретну модель продукту. Для цього спочатку зчитується параметр `model` з URL, де міститься інформація про обрану модель. Для отримання параметра використовується наступна функція (рис. 4.9):

```
1 function getQueryParam(param) {
2     const urlParams = new URLSearchParams(window.location.
search);
3     return urlParams.get(param);
4 }
```

Рисунок 4.9 – Генерація URL-адрес

Після отримання параметра моделі створюємо QR-код, що містить посилання на сторінку AR. Бібліотека qrcode.js дозволяє створювати код за допомогою методу `addData`, що додає вміст у код, та `make`, який його генерує. Приклад коду для створення QR-коду (рис. 4.10):

```
1 if (productModel) {
2     const productUrl =
`http://192.168.0.101:5501/ar-page.html?productModel=${
encodeURIComponent(productModel)}`;
3
4     console.log('Product URL:', productUrl);
5
6     const qrCodeContainer = document.getElementById(
'qrcode');
7
8     const qr = qrcode(0, 'L');
9     qr.addData(productUrl);
10    qr.make();
11    const qrImg = qr.createImgTag();
12    qrCodeContainer.innerHTML = qrImg;
13 } else {
14    console.error('Product model not found in URL.');
```

Рисунок 4.10 – Створення QR-кодів

Тут ми створюємо URL з параметром `productModel`, а далі викликаємо функцію `qr.addData()` для додавання посилання, `qr.make()` для формування QR-коду, та `qr.createImgTag()` для створення HTML-зображення коду. Отримане зображення QR-коду автоматично додається в контейнер HTML-сторінки.

Інтеграція QR-кодів у систему візуалізації ювелірних виробів забезпечує кілька суттєвих переваг:

1. Зручність для користувача: Скануючи QR-код, користувач може миттєво перейти до AR-сцени, без потреби вводити URL-адресу вручну, що значно покращує досвід взаємодії з продуктом.

2. Точне відображення моделі: QR-код містить унікальну URL-адресу з параметром моделі, що дозволяє точно завантажувати потрібний 3D-об'єкт. Це особливо важливо для ювелірних виробів, де важливо, щоб користувач бачив саме ту модель, яку він обрав.

3. Сумісність з різними пристроями: QR-коди легко зчитуються різними типами смартфонів, що забезпечує доступ до AR-сценаріїв на широкому спектрі пристроїв.

4. Ефективність у використанні ресурсів: Завдяки легкості бібліотеки `qrcode.js` додаток може динамічно генерувати коди на стороні клієнта, не навантажуючи сервер, що забезпечує швидке та надійне обслуговування користувачів.

5. Масштабованість: Використання QR-кодів дозволяє швидко додавати нові продукти до каталогу, просто змінюючи параметри URL для кожної нової моделі, що робить систему легко масштабованою і розширюваною.

Бібліотека `qrcode.js` розроблена для генерації QR-кодів різного рівня складності. Вона підтримує кілька рівнів корекції помилок (L, M, Q, H), що дозволяє користувачам відновлювати втрачені дані навіть якщо QR-код пошкоджено. У системі використовується рівень L, оскільки він забезпечує оптимальну якість коду і можливість зчитування з 7% пошкодженнями.

Використання QR-кодів для активації AR-сценаріїв відкриває безмежні можливості для покращення досвіду взаємодії з ювелірними виробами в системі. Поєднання зображень, що забезпечують високий рівень деталізації, і можливостей AR створює унікальний користувацький досвід, де клієнт може віртуально приміряти кільце або інший ювелірний виріб, оцінити його стиль і масштаб перед покупкою. Подібні технології активно розвиваються і можуть в майбутньому бути

розширені для роботи з іншими типами продуктів, наприклад, окулярами, аксесуарами або навіть елементами одягу.

Перспективи для розвитку інтеграції AR та QR-кодів включають додаткову функціональність, таку як персоналізовані рекомендації, які генеруються на основі переваг користувача, або розширені AR-сценарії з можливістю деталізації в реальному часі. QR-коди, як інструмент інтерактивної навігації, продовжують доводити свою цінність у створенні персоналізованого досвіду, що значно розширює можливості електронної комерції, роблячи процес покупки не тільки практичним, але й захоплюючим для користувача.

4.4 Інтеграція системи з API для визначення руки чи пальців

Інтеграція технології розпізнавання рук у доповненій реальності (AR) є важливим аспектом для створення користувацького досвіду з ювелірними виробами. За допомогою цієї технології користувач може взаємодіяти з 3D-моделями виробів, таких як кільця, які накладаються на руку, створюючи враження реальної примірки. Щоб це стало можливим, необхідно точне визначення позиції руки та пальців, що дозволяє коректно відображати тривимірний об'єкт на пальці користувача, забезпечуючи плавне та природне зображення.

MediaPipe Hands — це потужна технологія, розроблена компанією Google, що дозволяє розпізнавати та відстежувати положення рук і пальців в режимі реального часу. Вона є частиною бібліотеки MediaPipe, яка надає інструменти для обробки комп'ютерного зору, зокрема для розпізнавання обличчя, поз людини, ідентифікації жестів тощо. MediaPipe Hands стала революційним інструментом для розробників завдяки своїй точності, стабільності та можливостям працювати на різних пристроях, від мобільних телефонів до комп'ютерів.

MediaPipe Hands працює на основі глибокого навчання і дозволяє визначати до 21 ключової точки (так званих "landmarks") на кожній руці. Ці точки охоплюють основні суглоби, кісточки та фаланги пальців, що дозволяє детально аналізувати положення та рух руки.

Основні характеристики технології MediaPipe Hands:

1. Висока точність розпізнавання: Завдяки глибокій нейронній мережі, яка була натренована на великій кількості зображень, MediaPipe Hands дозволяє з високою точністю розпізнавати ключові точки руки навіть в складних умовах.

2. Реалізація в режимі реального часу: MediaPipe Hands розроблена для швидкого оброблення даних відеопотоку, що дозволяє використовувати її в додатках доповненої реальності та інших сценаріях, де важлива миттєва реакція на дії користувача.

3. Підтримка роботи з декількома руками: MediaPipe Hands може одночасно відслідковувати до двох рук, що дозволяє створювати складніші інтерфейси та інтерактивні функції, як, наприклад, управління жестами з обома руками.

MediaPipe Hands використовує мультимодульну архітектуру, що дозволяє розділити процес розпізнавання руки на декілька етапів:

1. Виявлення руки: На цьому етапі алгоритм визначає загальне місцезнаходження руки на зображенні чи в відеопотоці. Використовується окрема модель для швидкого виявлення положення руки.

2. Відстеження ключових точок: Після того, як місцезнаходження руки було визначено, інша нейронна мережа відповідає за відстеження 21 ключової точки, що охоплює основні суглоби, фаланги пальців, долоню та інші частини.

3. Підтримка стабільності: Завдяки спеціальним алгоритмам, MediaPipe Hands знижує рівень «шуму» та забезпечує плавне відображення навіть при різких рухах руки. Це забезпечує стабільність роботи, що є важливим для інтерфейсів, де потрібна точність.

Технологія MediaPipe Hands визначає 21 точку на кожній руці, які розміщені таким чином (рис. 4.11):

- 0: Долоня.
- 1-4: Великий палець (перший, другий, третій та четвертий суглоб).
- 5-8: Вказівний палець.
- 9-12: Середній палець.
- 13-16: Безіменний палець.
- 17-20: Мізинець.

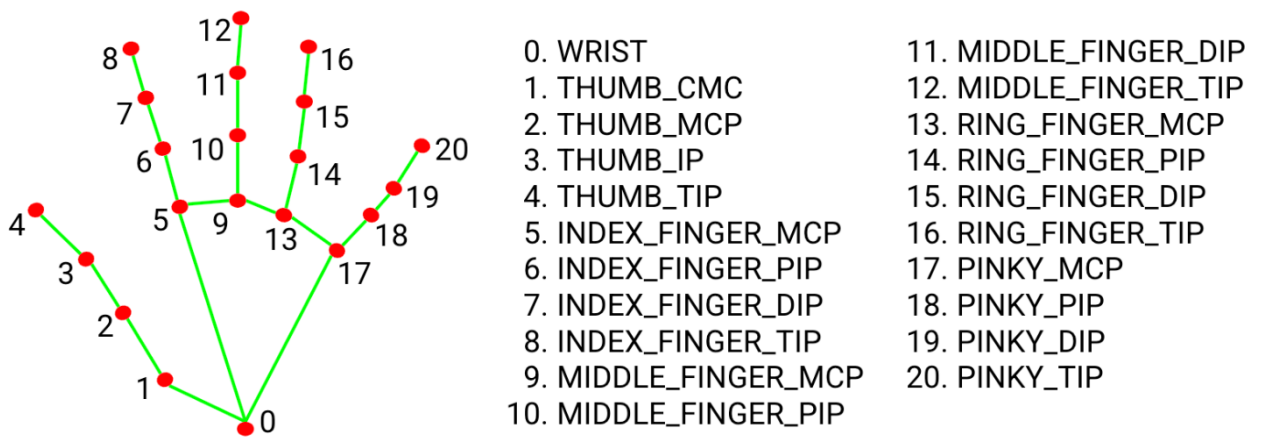


Рисунок 4.11 – Структура Ключових Точок MediaPipe Hands

Ці точки дозволяють точно визначати позицію кожного пальця та його нахил, що відкриває широкі можливості для інтерактивного управління в додатках.

У додатках доповненої реальності (AR), таких як примірка ювелірних виробів, MediaPipe Hands дозволяє надати користувачеві новий рівень інтерактивності. Наприклад, система може накладати 3D-модель кільця на палець користувача, який розпізнається за допомогою MediaPipe Hands. В режимі реального часу модель кільця може адаптуватися до рухів руки користувача, створюючи ілюзію реальної взаємодії з виробом. Це значно підвищує залученість користувача і робить процес примірки комфортним та природним.

Переваги Використання MediaPipe Hands:

1. Крос-платформеність: MediaPipe Hands може працювати на різних пристроях і платформах, включаючи Android, iOS та веб-додатки. Це дозволяє створювати AR-рішення, доступні для широкої аудиторії.

2. Ефективність: Бібліотека оптимізована для роботи з мінімальними затримками, що робить її ідеальною для додатків, які вимагають високої продуктивності та швидкої обробки даних.

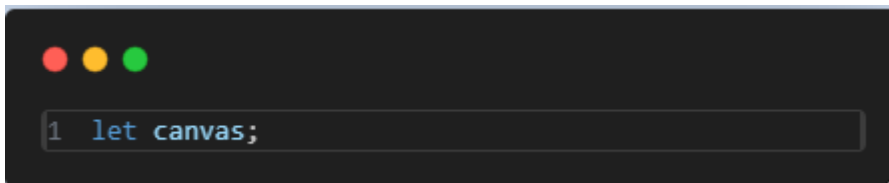
3. Гнучкість налаштувань: Розробники можуть налаштовувати параметри розпізнавання в MediaPipe Hands, включаючи частоту кадрів і точність відстеження, що дозволяє адаптувати технологію до специфічних вимог проєкту.

Для інтеграції MediaPipe Hands в систему доповненої реальності для примірки ювелірних виробів, необхідно налаштувати обробку відеопотоку від

камери і застосувати бібліотеку для визначення ключових точок руки. Після цього, отримані координати ключових точок використовуються для позиціонування 3D-моделей на пальцях користувача. Це дозволяє створити реалістичну примірku кільця, яка відображається на пальці користувача і автоматично підлаштовується під рухи його руки. Завдяки цьому, користувач може розглядати виріб з різних кутів, нахилиючи або обертаючи руку, що додає реалістичності до процесу.

Файл `sketch.js` створює інтерактивний скетч для відображення в реальному часі позицій пальців руки, використовуючи бібліотеку `p5.js`. Цей скрипт відповідає за візуалізацію даних, отриманих із системи відстеження рук, зокрема для побудови моделей пальців і долоні користувача. Відповідно, у кодi передбачено функції для відображення контурів руки, а також індивідуальних точок-орієнтирів (landmarks) для пальців. Далі детально розглянемо основні етапи роботи скетчу.


На початку оголошується змінна `canvas`, яка відповідає за створення полотна, де відбуватиметься візуалізація (рис. 4.12):



```
1 let canvas;
```

Рисунок 4.12 – Оголошення змінної `canvas`

Основний об'єкт скетчу, що містить усі функції, оголошується через функцію `sketch`. У методі `setup()` створюється полотно розміром 640 x 480, і задається кольоровий режим HSB, що дозволяє працювати з відтінками кольорів за шкалою HSB (Hue, Saturation, Brightness) (рис. 4.13):



```
1 let sketch = function(p){
2   p.setup = function(){
3     canvas = p.createCanvas(640, 480);
4     canvas.id("canvas");
5
6     p.colorMode(p.HSB);
7   }
}
```

Рисунок 4.13 – Створення `canvas`

Функція draw() є основним циклом, що запускається для оновлення вмісту полотна на кожному кадрі. Спершу виконується очистка полотна командою p.clear(). Далі, якщо дані про позиції рук визначені, програма виконує серію функцій для відображення ліній та точок, що позначають пальці та контур долоні. У цьому розділі послідовно викликаються функції, що відповідають за малювання долоні та кожного пальця окремо (рис. 4.14):

```
1  p.draw = function(){
2    p.clear();
3    if(detections != undefined){
4      if(detections.multiHandLandmarks != undefined){
5
6        p.drawLines([0, 5, 9, 13, 17, 0]); //palm
7        p.drawLines([0, 1, 2, 3, 4]); //thumb
8        p.drawLines([5, 6, 7, 8]); //index finger
9        p.drawLines([9, 10, 11, 12]); //middle finger
10       p.drawLines([13, 14, 15, 16]); //ring finger
11       p.drawLines([17, 18, 19, 20]); //pinky
12
13       p.drawLandmarks([0, 1], 0); //palm base
14       p.drawLandmarks([1, 5], 60); //thumb
15       p.drawLandmarks([5, 9], 120); //index finger
16       p.drawLandmarks([9, 13], 180); //middle finger
17       p.drawLandmarks([13, 17], 240); //ring finger
18       p.drawLandmarks([17, 21], 300); //pinky
19     }
20   }
21 }
```

Рисунок 4.14 – Функція Draw()

Функція drawLines() реалізує логіку для побудови з'єднувальних ліній між точками, які формують контури долоні і кожного пальця. На кожному етапі обирається набір індексів точок, які представляють пальці та долоню, щоб з'єднати їх у правильному порядку, утворюючи зображення руки (рис. 4.15):

```
1 p.drawLines = function(index){
2   p.stroke(0, 0, 255);
3   p.strokeWeight(3);
4   for(let i=0; i<detections.multiHandLandmarks.length; i++){
5     for(let j=0; j<index.length-1; j++){
6       let x = detections.multiHandLandmarks[i][index[j]].x * p.width;
7       let y = detections.multiHandLandmarks[i][index[j]].y * p.height;
8
9       let _x = detections.multiHandLandmarks[i][index[j+1]].x * p.width;
10      let _y = detections.multiHandLandmarks[i][index[j+1]].y * p.height;
11      p.line(x, y, _x, _y);
12    }
13  }
14 }
```

Рисунок 4.15 – Побудова з'єднувальних ліній між точками

Щоб вказати ключові точки на пальцях та долоні, використовується функція `drawLandmarks()`. Вона приймає на вхід масив індексів, що позначають орієнтири для певного пальця, а також відтінок (`hue`), щоб кожна частина руки могла відрізнитися за кольором. Ця функція забезпечує візуальну ідентифікацію сегментів пальців за кольорами (рис. 4.16):

```
1 p.drawLandmarks = function(indexArray, hue){
2   p.noFill();
3   p.strokeWeight(8);
4   for(let i=0; i<detections.multiHandLandmarks.length; i++){
5     for(let j=indexArray[0]; j<indexArray[1]; j++){
6       let x = detections.multiHandLandmarks[i][j].x * p.width;
7       let y = detections.multiHandLandmarks[i][j].y * p.height;
8       p.stroke(hue, 40, 255);
9       p.point(x, y);
10    }
11  }
12 }
```

Рисунок 4.16 – Побудова ключових точок на руці

Функція `drawHands()` призначена для відображення всіх точок на руці з використанням індексації `multiHandLandmarks`. У цій функції поєднуються всі основні орієнтири, які позначають положення пальців і долоні, і забезпечується їх

візуалізація у вигляді точок із певним розміром. Це дозволяє легко побачити структуру руки (рис. 4.17):

```
1 p.drawHands = function(){
2   for(let i=0; i<detections.multiHandLandmarks.length; i++){
3     for(let j=0; j<detections.multiHandLandmarks[i].length; j++){
4       let x = detections.multiHandLandmarks[i][j].x * p.width;
5       let y = detections.multiHandLandmarks[i][j].y * p.height;
6       let z = detections.multiHandLandmarks[i][j].z;
7       p.stroke(255);
8       p.strokeWeight(10);
9       p.point(x, y);
10    }
11  }
12 }
```

Рисунок 4.17 – Функція drawHands()

У кінці оголошується новий об'єкт myp5, який ініціює обробку в середовищі p5.js для роботи з цим скетчем. Він активує всі описані функції для реального часу (рис. 4.18):

```
1 let myp5 = new p5(sketch);
```

Рисунок 4.18 – Оголошення об'єкту myp5

У даній частині реалізації ми налаштуємо систему для відстеження та виявлення рук, що інтегрується з бібліотекою MediaPipe Hands. Це дозволяє нам отримувати координати ключових точок руки та пальців у реальному часі, що відкриває можливості для використання візуальних і інтерактивних ефектів на веб-сторінці.

Процес налаштування та отримання даних:

Спершу ми створюємо змінну detections, де будуть зберігатися всі результати розпізнавання від MediaPipe. Далі ініціалізується відео-елемент (рис. 4.19):

```
1 let detections = {};  
2  
3 const videoElement = document.getElementById('video');
```

Рисунок 4.19 – Створення змінної detections та створення відео-елемента

Далі за допомогою MediaPipe створюється екземпляр Hands, що дозволяє завантажити необхідні файли з CDN для коректної роботи функцій виявлення рук. Ми також визначаємо ключові параметри для точного розпізнавання, встановивши максимальну кількість рук, які система може розпізнавати одночасно, а також рівень впевненості для стабільного відстеження (рис. 4.20):

```
1 const hands = new Hands({locateFile: (file) => {  
2   return `https://cdn.jsdelivr.net/npm/@mediapipe/hands/${file}`;  
3 }});  
4  
5 hands.setOptions({  
6   maxNumHands: 4,  
7   minDetectionConfidence: 0.8,  
8   minTrackingConfidence: 0.5  
9 });
```

Рисунок 4.20 – Створення екземпляру Hands та визначення параметрів

Для обробки результатів ми визначаємо функцію gotHands, яка буде викликатися після обробки кожного кадру. Всі координати зберігаються в detections, дозволяючи нам використовувати їх для візуалізації або подальшого аналізу (рис. 4.21):

```
1 hands.onResults(gotHands);  
2  
3 function gotHands(results) {  
4   detections = results;  
5   console.log(detections);  
6 }
```

Рисунок 4.21 – Функція gotHands()

Щоб почати захоплення відео в реальному часі, ми використовуємо клас Camera, який передає кожен кадр у MediaPipe Hands для обробки. У кадрі, що передається, система виявляє наявність рук і повертає дані про орієнтири (координати точок) кожного пальця та долоні (рис. 4.22):

```
1 const camera = new Camera(videoElement, {
2   onFrame: async () => {
3     await hands.send({image: videoElement});
4   },
5   width: 640,
6   height: 480
7 });
8 camera.start();
```

Рисунок 4.22 – Передача відео в реальному часі

4.5. Компоненти сайту та їх стани

Головна сторінка сайту показана на малюнках 4.23–4.24. Цей блок дає користувачеві змогу перейти до розділу каталогу або до будь-якого іншого розділу сайту. Також передбачена опція відкриття та перегляду корзини.

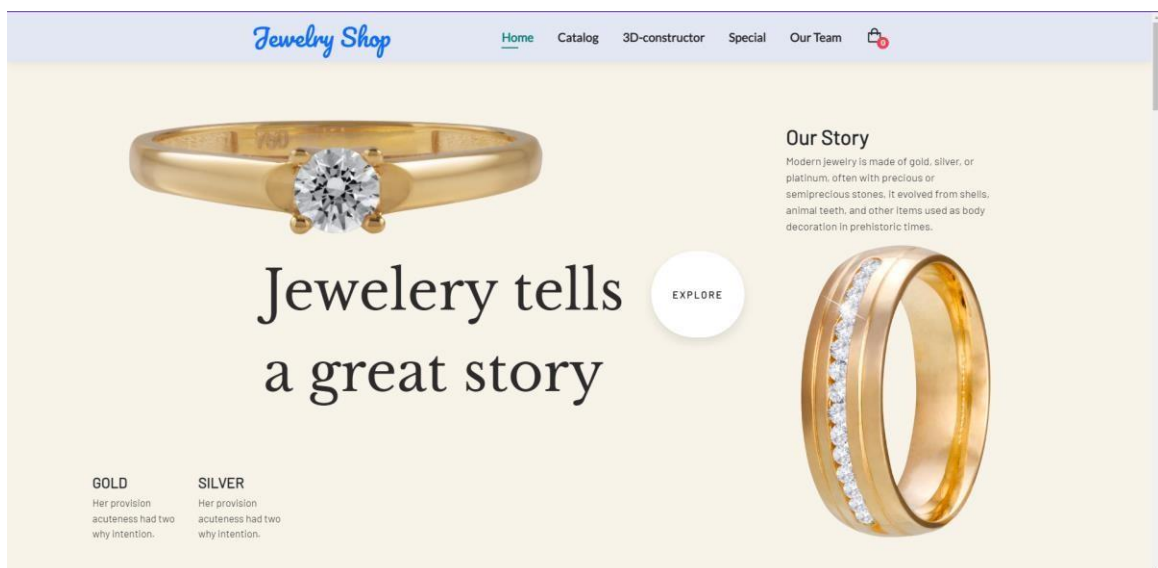


Рисунок 4.23– Головна екран сайту

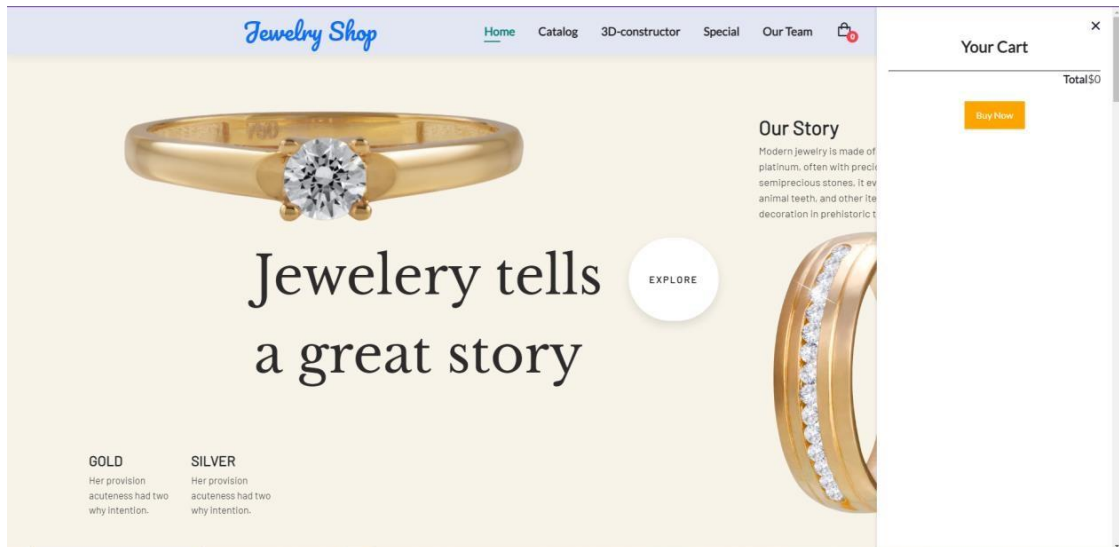


Рисунок 4.24 – Корзина сайту

Наступний блок на сайті містить список найбільш популярних товарів, які найчастіше замовляють користувачі. Цей розділ допомагає швидко ознайомитись із найбільш затребуваними продуктами, що користуються високим попитом серед покупців (рис. 4.25).

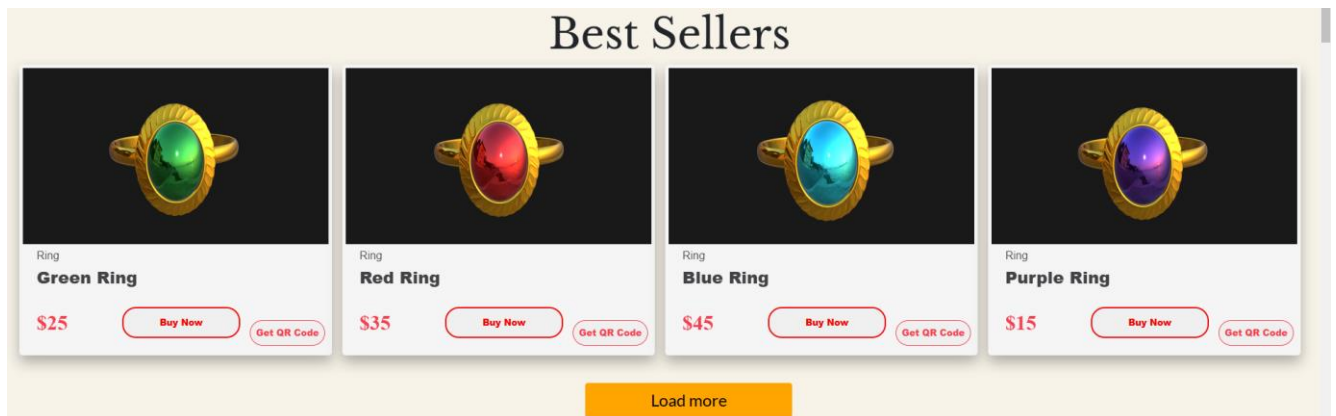


Рисунок 4.25 – Розділ сайту "Найбільш популярні".

Розділ "Найбільш популярні" містить кнопку "Отримати QR код", яка виконує важливу функцію для користувачів. При натисканні на цю кнопку відбувається анімація, що перевертає зображення товару. Після цього на місці зображення з'являється QR код, який користувач може відсканувати за допомогою свого мобільного пристрою. Цей QR код дає змогу користувачу швидко перейти до

сторінки товару або активувати функціонал доповненої реальності, наприклад, перегляд 3D-моделі товару через камеру телефону. Це зручний інтерфейс для інтерактивної взаємодії з сайтом, що покращує користувацький досвід і спрощує процес покупки (рис. 4.26).

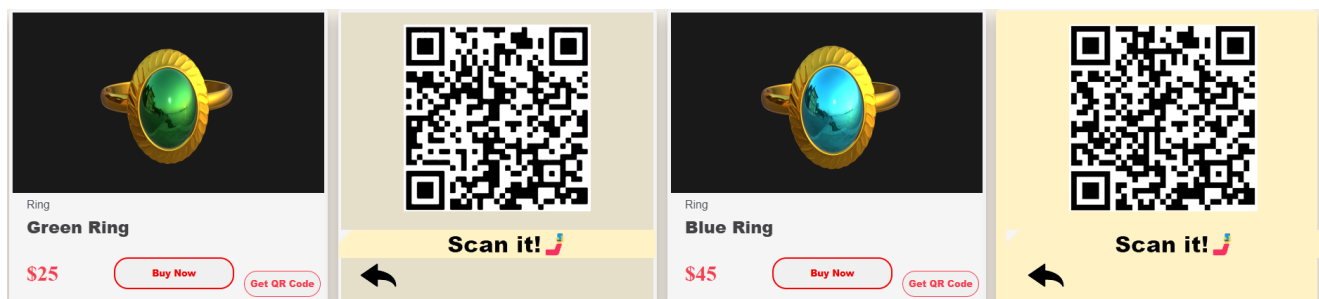


Рисунок 4.26 – Розділ сайту "Найбільш популярні".

Також у цьому блоці можна безпосередньо додати товар до кошика, а також переглянути його, натиснувши на фото. При взаємодії з картинкою замість зображення з'являється відповідна 3D модель прикраси. Це значно підвищує переваги цього інтернет-магазину, оскільки дає можливість користувачу повноцінно оглянути модель і краще оцінити товар перед покупкою. Приклад перегляду кількох прикрас продемонстровано на малюнку 4.27.

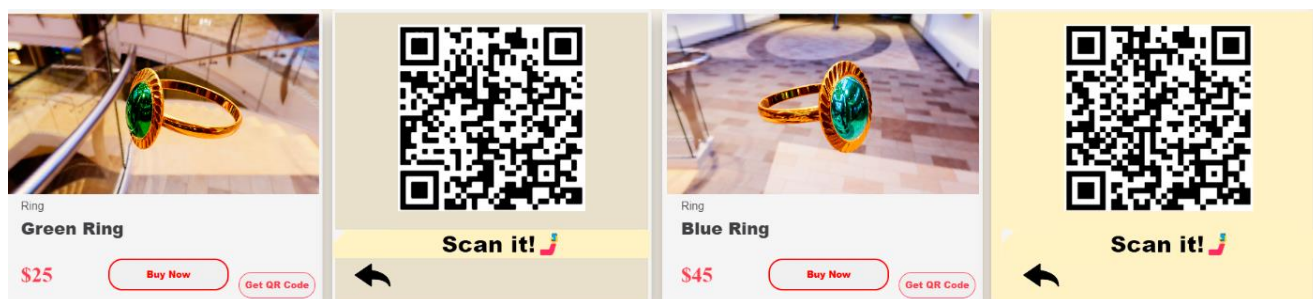


Рисунок 4.27 – Відображення 3D моделі при нажаті

Також в цьому блоці є кнопка "Завантажити ще", при натисканні на яку завантажуються ще чотири товари. Кнопка буде активною до тих пір, поки в обраній категорії не закінчатся доступні продукти.

Наступний блок містить чотири основні категорії товарів (Каталог). При натисканні на кожен з категорій відкривається сторінка з товарами, що належать до цієї категорії. Блок "Каталог" можна побачити на малюнках 4.28-4.29.



Рисунок 4.28 – Блок сайту "Каталог".



Рисунок 4.29 – Наведення на категорію в блоці "Каталог".

Для зручності навігації користувачів та швидшого пошуку необхідних товарів за ціною, популярністю чи специфічними критеріями було додано блок "Спеціальні категорії". Цей блок допомагає швидко знайти товари, що відповідають певним запитам, і зображений на малюнку 4.30.

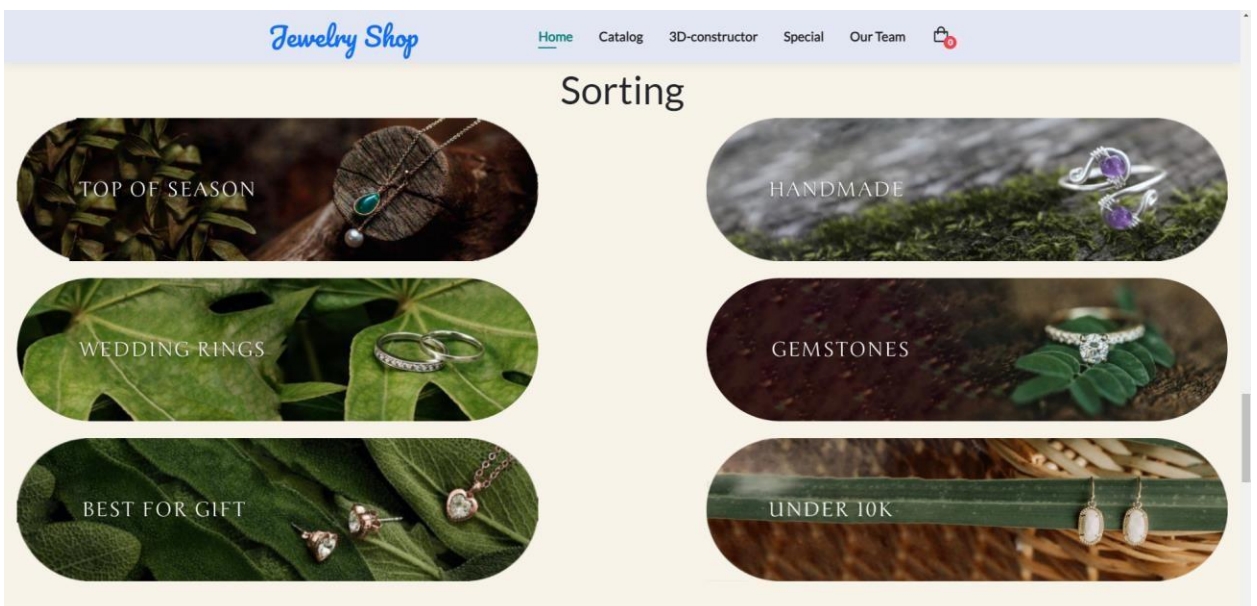


Рисунок 4.30 – Блок сайту ”Спеціальні категорії”

Наступний блок містить відгуки клієнтів, які вже придбали товар і поділилися своїми враженнями та коментарями про магазин. Цей блок дає можливість новим користувачам ознайомитись з думками інших покупців та оцінити якість обслуговування. Відгуки зображені на малюнку 4.31.

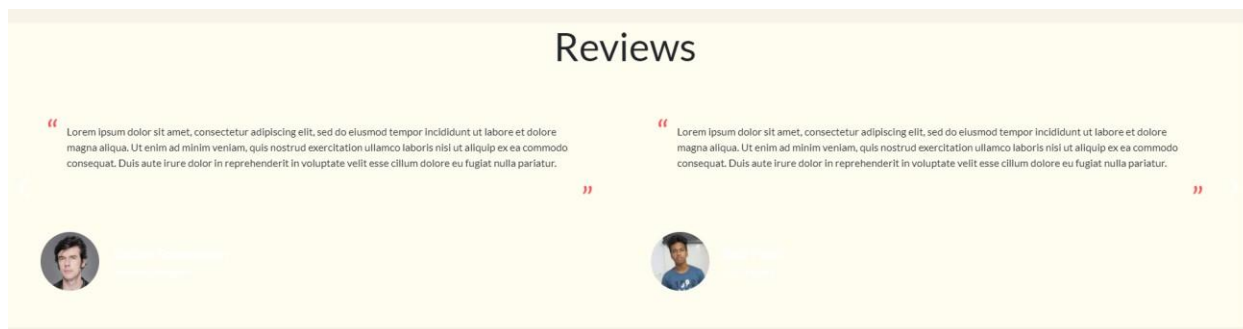


Рисунок 4.31 – Блок сайту ”Відгуки”

На рисунку 4.32-4.34 демонструється процес зчитування пальців за допомогою бібліотеки MediaPipe Hands. На зображенні видно, як система аналізує руки користувача через камеру, визначаючи точне місцезнаходження кожного пальця. Лінії, що з'єднують окремі точки на пальцях, представляють координати суглобів і фаланг, які визначають форму та рухи руки в реальному часі.

Це зчитування базується на комп'ютерному зорі та машинному навчанні, де MediaPipe використовує попередньо навчену модель для точного виявлення 21 ключової точки на кожній руці. Лінії між точками, що зображені на скріншоті, відображають анатомічну структуру руки, починаючи від зап'ястя до кінчиків пальців. Цей процес дозволяє точно відслідковувати рухи рук та пальців, що є основою для функціональності з доповненою реальністю, де, наприклад, 3D модель може бути розміщена на руці користувача або маніпуляції з об'єктами здійснюються за допомогою жестів.

Технологія зчитування за допомогою MediaPipe Hands забезпечує високу точність і швидкість, дозволяючи інтерактивно взаємодіяти з елементами інтерфейсу, такими як віртуальні прикраси або інші об'єкти AR, що дає великий потенціал для покращення користувацького досвіду в інтернет-магазинах або додатках доповненої реальності.

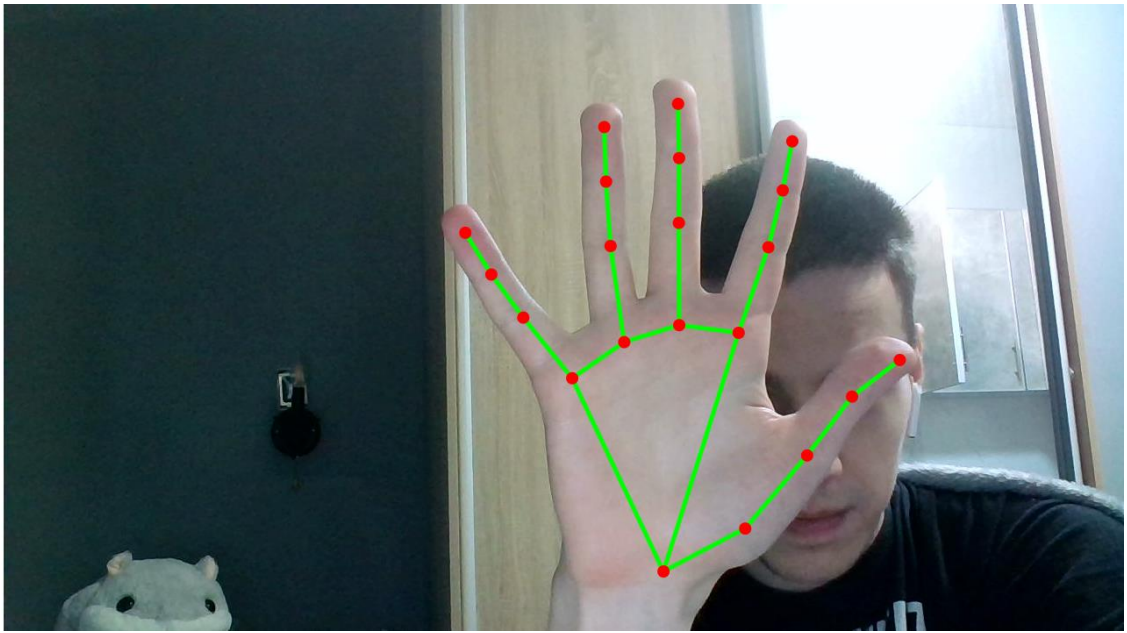


Рисунок 4.32 – Процес зчитування лівої руки

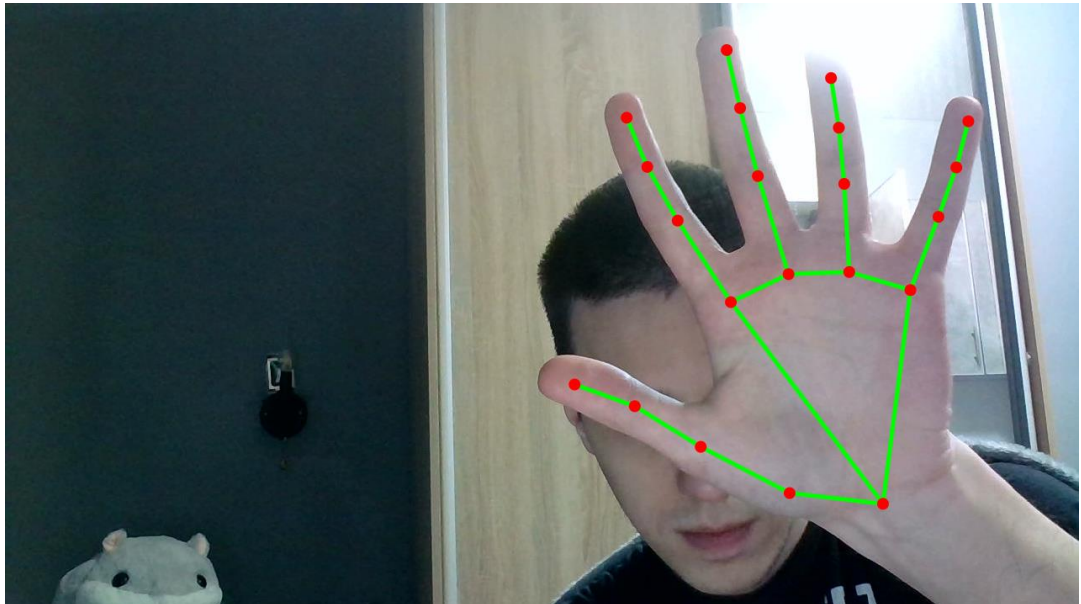


Рисунок 4.33 – Процес зчитування правої руки

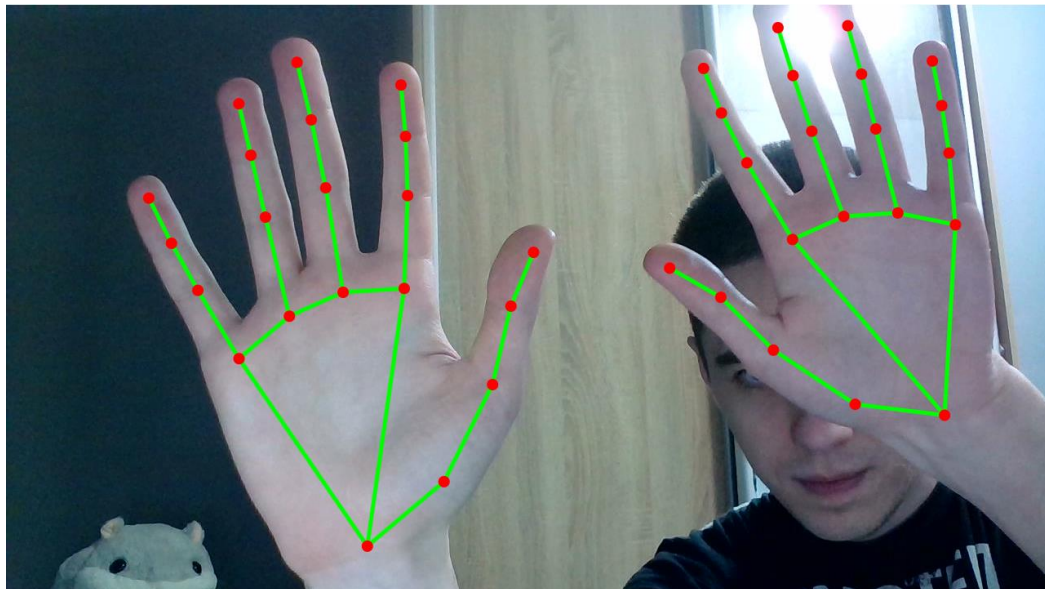
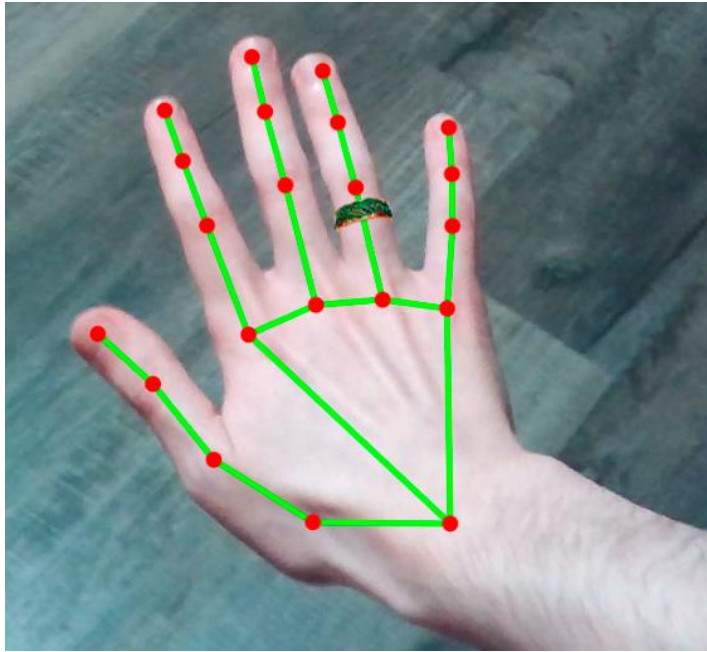
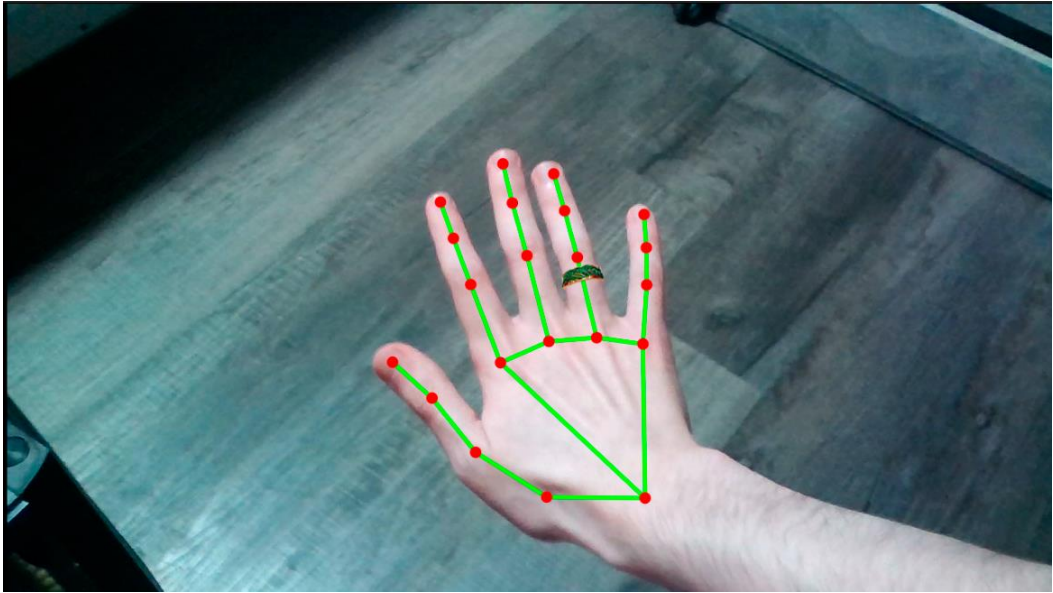
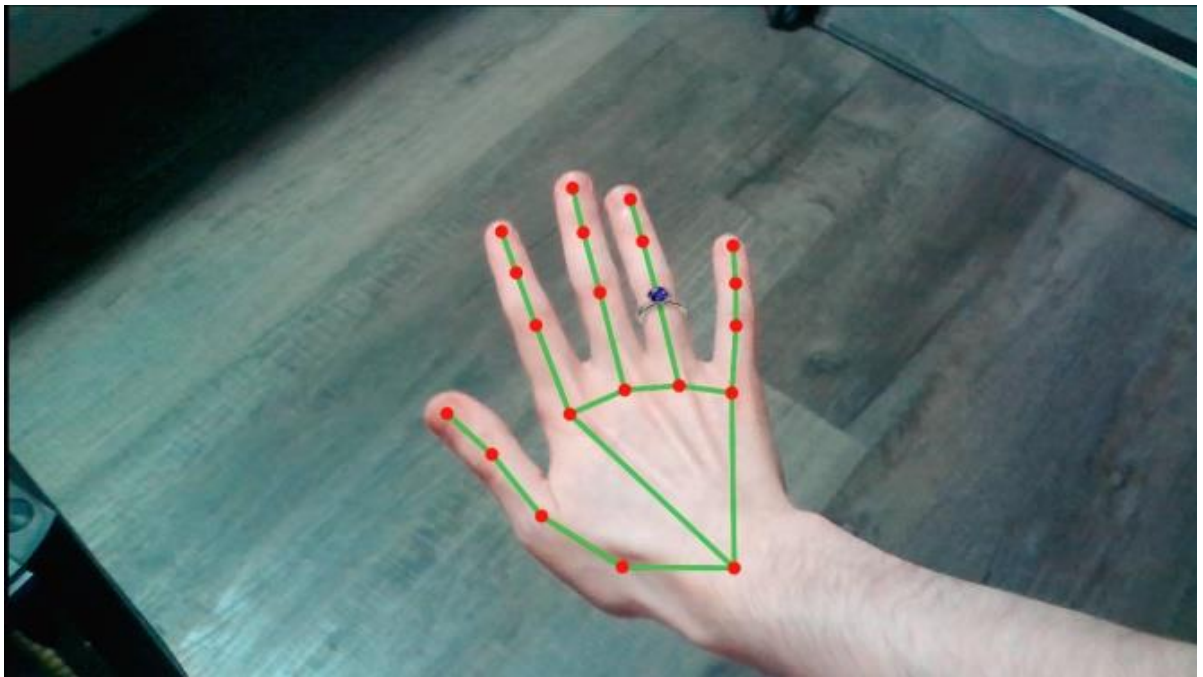
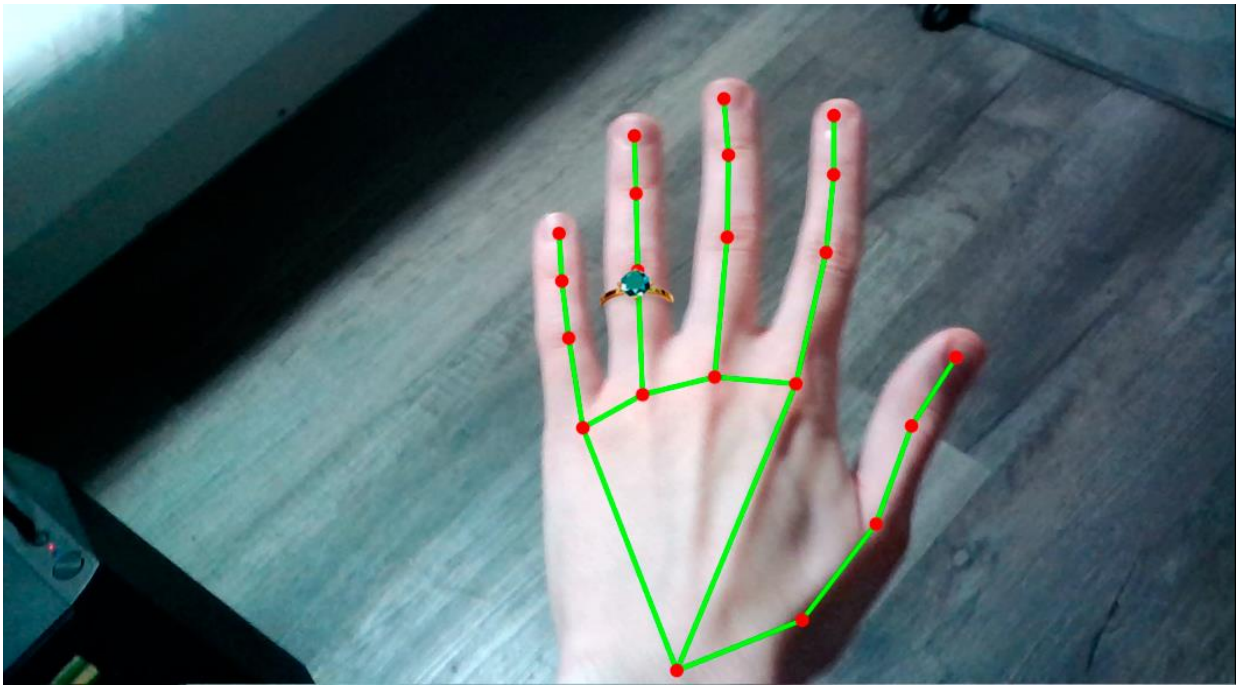


Рисунок 4.34 – Процес зчитування обох рук

На рисунках 4.35-4.41 можна побачити як 3D-модель кільця, що відображається в доповненій реальності, точно розташована навколо пальця користувача. Завдяки використанню технології зчитування за допомогою MediaPipe Hands, система точно визначає координати пальця, що дозволяє правильно помістити модель кільця на палець користувача в реальному часі.

Лінії, що з'єднують точки на пальці, показують точне розташування суглобів і фаланг, що дає можливість точно відслідковувати рухи руки і адаптувати розташування кільця під кожну зміну позиції пальця. Кільце, що відображається на скріншоті, виглядає органічно і точно відповідає реальним розмірам, завдяки точності зчитування координат. Це дозволяє користувачам побачити, як конкретна модель виглядатиме на їхньому пальці, взаємодіяти з нею і оцінити її вигляд в реальному часі.







Рисунки 4.35-4.41 – Відображення 3Д моделі на руці користувача в реальному часі

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі магістерської роботи було детально розглянуто практичну реалізацію та інтеграцію технологій доповненої реальності у процес візуалізації ювелірних виробів. Результати виконаних етапів демонструють

ефективність застосованих підходів і технологій, спрямованих на досягнення поставлених цілей.

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати вибір технологій для рендерингу 3D-моделей. Обрані інструменти забезпечують високу якість візуалізації та оптимальну продуктивність системи, що є критично важливим для інтерактивного представлення ювелірних виробів.

На етапі реалізації механізму відображення 3D-моделей через взаємодію із зображенням було створено функціонал, який забезпечує інтуїтивну і зрозумілу взаємодію користувача із системою. Це сприяє поліпшенню користувацького досвіду та інтерактивності сайту.

QR-коди було успішно інтегровано як інструмент активації AR-сценаріїв, що надає можливість швидкого доступу до функцій доповненої реальності. Цей підхід значно розширює функціонал системи, забезпечуючи гнучкість та зручність у її використанні.

Інтеграція з API для визначення руки чи пальців дозволила реалізувати складні AR-сценарії, які підтримують точне відображення ювелірних виробів без необхідності додаткового обладнання. Це стало можливим завдяки використанню сучасних бібліотек, таких як MediaPipe Hands.

На основі створених компонентів сайту та продуманої структури їх станів вдалося досягти високого рівня адаптивності та функціональності системи. Це гарантує зручність її використання та підтримує гнучкість для подальших оновлень.

Таким чином, розділ 4 продемонстрував ефективну інтеграцію сучасних AR-рішень у процес візуалізації ювелірних виробів, що підтверджує доцільність і результативність обраних підходів та технологій.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена актуальній проблемі впровадження технологій доповненої реальності (AR) для автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів. У ході дослідження було здійснено комплексний аналіз предметної області, що включає дослідження сучасних тенденцій розвитку AR, аналіз технологій, архітектуру системи, її технічні характеристики, а також практичну реалізацію. Результати роботи підтвердили наукову і практичну значущість запропонованих підходів, що мають важливе значення для ювелірної індустрії та пов'язаних галузей.

Перший розділ роботи закладає теоретичну основу дослідження, акцентуючи увагу на визначенні поняття доповненої реальності, її основних принципах та технологічних компонентах. У дослідженні доведено, що ключові принципи AR, такі як інтеграція віртуального й реального середовища, реєстрація в 3D-просторі та забезпечення взаємодії в реальному часі, є критично важливими для створення якісних рішень у сфері візуалізації ювелірних виробів.

Історичний аналіз розвитку AR показав, що за останні десятиліття ця технологія еволюціонувала від експериментальних лабораторних рішень до широко доступних інструментів, які змінюють підходи до презентації та взаємодії з інформацією. Зокрема, такі досягнення, як поява ARKit, ARCore, HoloLens, дозволяють реалізовувати проекти, які ще кілька років тому були технічно неможливими.

У рамках другого розділу було проведено аналіз сучасних технологій для розробки AR-додатків та візуалізації 3D-моделей. Здійснено порівняльний аналіз платформ і інструментів, зокрема Unity, ARKit і ARCore, що дозволило вибрати оптимальні засоби для впровадження запропонованої системи. Додатково досліджено потенціал використання машинного навчання для вдосконалення якості візуалізації, що вказує на перспективи розширення функціональних можливостей системи.

Запропонована концептуальна модель автоматизованої системи є інноваційною з огляду на її інтеграцію з технологіями доповненої реальності.

Головним акцентом у розробці стало використання QR-кодів як інструменту для швидкої активації AR-сценаріїв. Кожен QR-код, згенерований за допомогою бібліотеки `qrcode.js`, дозволяє користувачам миттєво переходити до перегляду віртуального ювелірного виробу в реальному просторі. Інтеграція бібліотеки `MediaPipe Hands` забезпечує точне розміщення 3D-моделей на руці користувача, дозволяючи візуалізувати, як вибраний виріб виглядатиме в реальному житті.

Практична реалізація передбачає створення вебінтерфейсу, що базується на сучасних вебтехнологіях, таких як HTML, CSS, JavaScript, Node.js і Three.js. Система підтримує інтерактивну взаємодію користувачів із 3D-моделями, а її інтеграція з базою даних MongoDB дозволяє ефективно зберігати інформацію про виробу, зокрема їх характеристики, зображення та моделі.

Розроблена система орієнтована на ювелірну індустрію, зокрема на забезпечення інтерактивної демонстрації виробів у режимі реального часу. Використання AR для примірки прикрас на руці клієнта створює унікальний досвід, який є особливо актуальним для онлайн-магазинів. Цей підхід сприяє залученню нових клієнтів і підвищенню конкурентоспроможності компаній.

Економічний ефект системи проявляється через зниження витрат на фізичне виготовлення прототипів виробів для демонстрації. Крім того, впровадження AR-технологій дозволяє зменшити потребу в фізичному просторі для магазинів, оскільки клієнти можуть переглядати моделі виробів через свої мобільні пристрої.

Незважаючи на досягнуті результати, технології доповненої реальності мають значний потенціал для подальшого вдосконалення. У майбутньому дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію елементів штучного інтелекту для автоматичного визначення параметрів примірки виробів, інтеграцію голосових команд та розширення функціоналу для інших категорій товарів. Крім того, перспективним є використання AR у поєднанні з віртуальною реальністю (VR) для створення комплексних віртуальних просторів взаємодії.

Магістерська робота підтвердила ефективність застосування технологій доповненої реальності для автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів. Отримані результати відповідають сучасному рівню наукових і технічних знань,

забезпечуючи практичну користь для галузі. Запропонована система демонструє високу адаптивність, функціональність та зручність у використанні, що робить її перспективною для комерційного впровадження.

[D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0_3D-%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0](#)

11. Види 3Д моделювання, загальні поняття, види: полігональне, сплайнове [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://rocketmen.com.ua/ua/article/vidy3dmodel>

12. ARKit vs ARCore – Medium [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://medium.com/@scudkot/arkit-vs-arcore-e8f4f1d7bd45>

13. Технологии Google ARCore и AR Code [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ar-code.com/ru/blog/arcore>

14. Топ AR інструменти створення доповненої реальності для вашого бізнесу [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/web-ar-tools-overview.html>

15. 12 кращих SDK-пакетів доповненої реальності – Ulab – SumDU [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ulab.sumdu.edu.ua/uk/12-krashhih-sdk-paketiv-dopovnenoj-realnosti>

16. Концептуальна модель - Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C

17. Моделювання даних (Data Modelling) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.maxzosim.com/data-modelling/>

18. 10 найкращих алгоритмів машинного навчання [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.unite.ai/uk/ten-best-machine-learning-algorithms/>

19. Three.js – JavaScript 3D Library [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://threejs.org/docs/index.html#manual/en/introduction/Creating-a-scene>

20. Вступ до Mongoose для MongoDB та Node.js – Code [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://code.tutsplus.com/uk/articles/an-introduction-to-mongoose-for-mongodb-and-nodejs--cms-29527>

21. Blender – Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Blender>

ДОДАТОК А

```
Detection.js
import * as THREE from "three";
import { GLTFLoader } from
'https://cdn.jsdelivr.net/npm/three@0.153.0/examples/jsm/loaders/GLTFLoader.js';

const videoElement = document.getElementsByClassName('input_video')[0];
const canvasElement = document.getElementsByClassName('output_canvas')[0];
const canvasCtx = canvasElement.getContext('2d');

const scene = new THREE.Scene();

const camera = new THREE.PerspectiveCamera(75, window.innerWidth /
window.innerHeight, 0.1, 1000);
const renderer = new THREE.WebGLRenderer({ alpha: true });
renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
document.body.appendChild(renderer.domElement);

const light = new THREE.AmbientLight(0xffffff, 1);
scene.add(light);
const directionalLight = new THREE.DirectionalLight(0xffffff, 0.8);
directionalLight.position.set(0, 1, 1);
scene.add(directionalLight);

const loader = new GLTFLoader();
let ringObject;

function load3DModel(productModel) {
  loader.load(
    `models/CatalogModels/${productModel}.gltf`,
    (gltf) => {
      ringObject = gltf.scene;
      ringObject.scale.set(0.4, 0.4, 0.4);
      scene.add(ringObject);

      ringObject.position.set(0, 0, -0.5);
    },
    undefined,
```

```

(error) => {
  console.error('Error loading ring model:', error);
}
);
}

```

```

const productModel = new
URLSearchParams(window.location.search).get('productModel');
if (productModel) {
  load3DModel(productModel);
} else {
  console.error('No product model specified in URL.');
```

```

function placeRingOnFinger(landmarks) {
  if (ringObject && landmarks.length > 0) {
    const fingerTip = landmarks[8];

    const x = (fingerTip.x - 0.5) * 2;
    const y = -(fingerTip.y - 0.5) * 2;
    const z = -0.5;

    ringObject.position.set(x, y, z);
  }
}

```

```

function onResults(results) {
  canvasCtx.save();
  canvasCtx.clearRect(0, 0, canvasElement.width, canvasElement.height);
  canvasCtx.drawImage(results.image, 0, 0, canvasElement.width,
  canvasElement.height);

  if (results.multiHandLandmarks) {
    for (const landmarks of results.multiHandLandmarks) {
      drawConnectors(canvasCtx, landmarks, HAND_CONNECTIONS, { color:
      '#00FF00', lineWidth: 5 });
      drawLandmarks(canvasCtx, landmarks, { color: '#FF0000', lineWidth: 2 });
      placeRingOnFinger(landmarks);
    }
  }
}

```

```

    }
  }

  canvasCtx.restore();
}

const hands = new Hands({
  locateFile: (file) => `https://cdn.jsdelivr.net/npm/@mediapipe/hands/${file}`
});
hands.setOptions({
  maxNumHands: 2,
  modelComplexity: 1,
  minDetectionConfidence: 0.5,
  minTrackingConfidence: 0.5
});
hands.onResults(onResults);

const cameraFeed = new Camera(videoElement, {
  onFrame: async () => {
    await hands.send({ image: videoElement });
  },
  width: 1280,
  height: 720
});
cameraFeed.start();

camera.position.set(0, 0, 2);

function animate() {
  requestAnimationFrame(animate);
  renderer.render(scene, camera);
}
animate();

window.addEventListener('resize', () => {
  renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
  camera.aspect = window.innerWidth / window.innerHeight;
  camera.updateProjectionMatrix();
});

```

```
});
```

Watch.js

```
import * as THREE from "three";
```

```
import { OrbitControls } from
```

```
"https://unpkg.com/three@0.119.1/examples/jsm/controls/OrbitControls.js";
```

```
import { GLTFLoader } from "./GLTFLoader.js";
```

```
import { RGBELoader } from "./RGBELoader.js";
```

```
let scene, camera, renderer;
```

```
let render = function () {
```

```
  renderer.render(scene, camera);
```

```
};
```

```
function init() {
```

```
  const container = document.createElement("div");
```

```
  document.body.appendChild(container);
```

```
  camera = new THREE.PerspectiveCamera(
```

```
    45,
```

```
    window.innerWidth / window.innerHeight,
```

```
    0.25,
```

```
    20
```

```
  );
```

```
  camera.position.set(2.5, 2.0, 1.5);
```

```
  scene = new THREE.Scene();
```

```
  new RGBELoader()
```

```
    .setPath("textures/equirectangular/")
```

```
    .load("royal_esplanade_1k.hdr", function (texture) {
```

```
      texture.mapping = THREE.EquirectangularReflectionMapping;
```

```
      scene.background = texture;
```

```
      scene.environment = texture;
```

```
      render();
```

```

    });
    renderer = new THREE.WebGLRenderer({ antialias: true });
    renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
    renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
    renderer.toneMapping = THREE.ACESFilmicToneMapping;
    renderer.toneMappingExposure = 3;
    renderer.outputColorSpace = THREE.SRGBColorSpace;
    container.appendChild(renderer.domElement);

    var controls = new OrbitControls(camera, renderer.domElement);
    controls.addEventListener("change", render);

    controls.minDistance = 2;
    controls.maxDistance = 10;
    controls.target.set(0, 0, -0.2);
    controls.update();
    window.addEventListener("resize", onWindowResize);
    const ambientLight = new THREE.AmbientLight(0xffffff, 0.5);
    scene.add(ambientLight);

    const directionalLight = new THREE.DirectionalLight(0xffffff, 0.8);
    directionalLight.position.set(0, 1, 1);
    scene.add(directionalLight);
    const loader = new GLTFLoader();

    const clickedButtonText = localStorage.getItem("clickedButtonText");

    loader.load(clickedButtonText + ".gltf", (gltf) => {
        gltf.scene.traverse((child) => {});
        scene.add(gltf.scene);
    });

    function animate() {
        requestAnimationFrame(animate);
        controls.update();
        renderer.render(scene, camera);
    }
    animate();

```

```
}
```

```
init();
```

```
function onWindowResize() {
```

```
    camera.aspect = window.innerWidth / window.innerHeight;
```

```
    camera.updateProjectionMatrix();
```

```
    renderer.setSize(window.innerWidth, window.innerHeight);
```

```
    render();
```

```
}
```

ДОДАТОК Б

Київський національний університет Будівництва і Архітектури
Кафедра інформаційних технологій

Кваліфікаційна робота на тему:

Застосування технології Augmented Reality для розробки автоматизованої системи візуалізації ювелірних виробів

ВИКОНАВ:

СТУДЕНТ ГРУПИ КНМ-23

ЗАБОЛОТНИЙ ВІТАЛІЙ

КЕРІВНИК: АСИС. ВАЦКЕЛЬ В.Ю.

Вступ

Доповнена реальність (Augmented Reality, AR) є однією з провідних технологій сучасності, що інтегрує віртуальні об'єкти в реальний світ. Вона дозволяє створювати інтерактивні сценарії, де користувачі можуть взаємодіяти з цифровими моделями в режимі реального часу.

AR активно використовується в різних сферах: освіті, медицині, роздрібній торгівлі та виробництві. У сфері ювелірної індустрії технологія доповненої реальності дає можливість клієнтам віртуально приміряти прикраси, спрощуючи процес вибору та індивідуалізації виробів.

Сьогодні AR є потужним інструментом, який допомагає не лише підвищити залученість користувачів, але й вдосконалити процеси створення та презентації продукції.



Актуальність розробки

У сучасному світі ювелірна індустрія перебуває в активному пошуку інноваційних рішень для залучення клієнтів і підвищення рівня обслуговування. Однією з таких інновацій є використання доповненої реальності (AR), яка дає змогу значно покращити взаємодію між користувачем і продуктом. AR дозволяє клієнтам віртуально приміряти прикраси, що усуває фізичні обмеження та підвищує зручність покупки.

Актуальність цієї роботи обумовлена потребою в персоналізованих і інтерактивних підходах до вибору ювелірних виробів. В умовах зростаючої конкуренції впровадження AR допомагає компаніям адаптуватися до нових реалій цифрової епохи, збільшувати продажі та створювати унікальний користувацький досвід.

Крім того, розробка автоматизованої системи на основі AR сприяє оптимізації процесу виготовлення та демонстрації виробів, що є важливим фактором для підвищення ефективності бізнесу та вдосконалення клієнтського сервісу в ювелірній галузі.

Об'єкт, предмет і методи дослідження

Об'єктом роботи є автоматизована система візуалізації ювелірних виробів із використанням технології доповненої реальності (AR).

Предметом роботи є методи та інструменти розробки AR-додатку для реалістичної демонстрації ювелірних прикрас на основі тривимірних моделей.

Методи дослідження включають моделювання тривимірних об'єктів, трекінг рухів, обробку зображень та розробку інтерфейсу користувача.

Інструменти розробки включають такі технології, як Three.js для рендерингу 3D-моделей, qrcode.js для генерації QR-кодів, та MediaPipe Hands для визначення положення руки в кадрі.

Аналіз предметної області

Доповнена реальність (AR) стрімко розвивається та відкриває нові можливості для ювелірної індустрії. Основною метою дослідження є створення автоматизованої системи, яка дозволяє споживачам взаємодіяти з віртуальними моделями ювелірних виробів у реальному часі.

Основні виклики:

- Забезпечення реалістичної візуалізації ювелірних виробів.
- Інтеграція з електронними платформами для актуалізації асортименту.
- Забезпечення сумісності на різних пристроях.

Розробка такої системи вимагає врахування технічних обмежень, потреб користувачів та економічної доцільності.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

У даному розділі роботи було проаналізовано сучасні технології доповненої реальності (AR), які забезпечують високу точність візуалізації ювелірних виробів. Основна увага приділена алгоритмам трекінгу, рендерингу та фотореалістичному відображенню, що дозволяє інтегрувати 3D-моделі у реальний простір. Досліджено використання платформ Unity, ARKit та ARCore для створення інтерактивного контенту.

На основі аналізу було розроблено концептуальну модель системи, яка демонструє взаємодію всіх технологій, та визначено вимоги до її функціональності, продуктивності та зручності використання. Це закладає фундамент для побудови автоматизованої системи, яка відповідає потребам сучасного ринку.

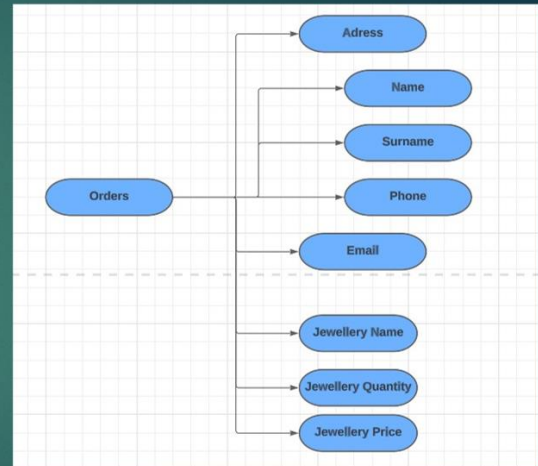
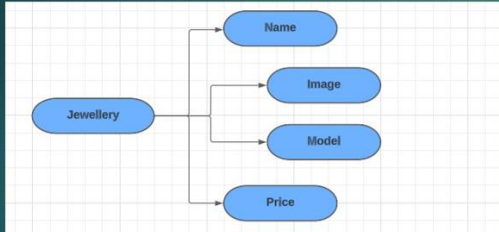
КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ



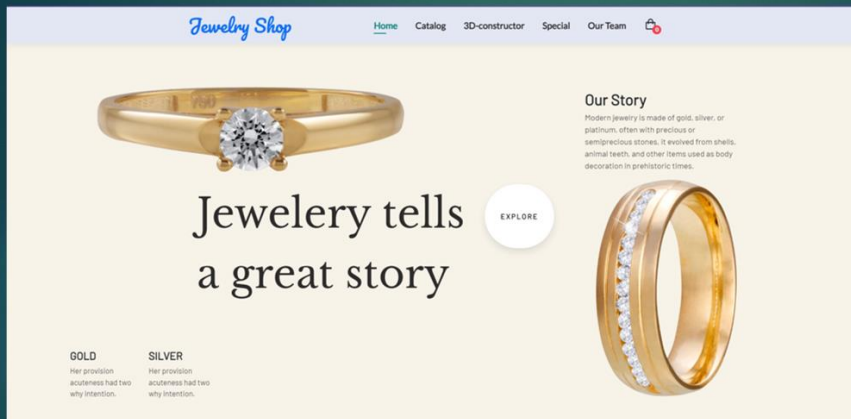
Розробка архітектури

Оснoву складає інтернет-магазин із широким каталогом продукції, інтерактивними 3D-моделями та функцією доповненої реальності (AR). Інтерактивні 3D-моделі дозволяють користувачам детально ознайомитися з прикрасами, а AR-функція дає можливість переглядати їх на руці в реальному середовищі, активуючи технологію через QR-коди. Це створює унікальний досвід, що поєднує зручність онлайн-шопінгу із можливістю детального огляду прикрас перед покупкою. Запропонована архітектура робить сайт не лише торговим майданчиком, а й платформою для творчого самовираження, інтерактивності та персоналізації, сприяючи підвищенню довіри та зацікавленості користувачів.

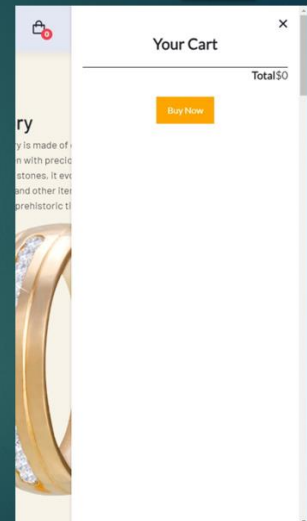
Проектування структури бази даних



РЕАЛІЗАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ



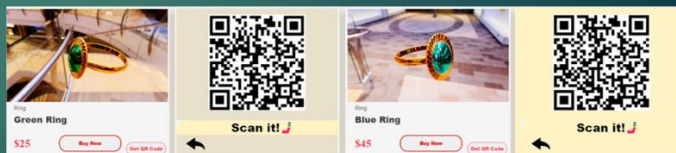
Головна сторінка сайту



Корзина

РЕАЛІЗАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

Блок “Найбільш популярні товари”



Відображення товарів при взаємодії з НИМИ

РЕАЛІЗАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

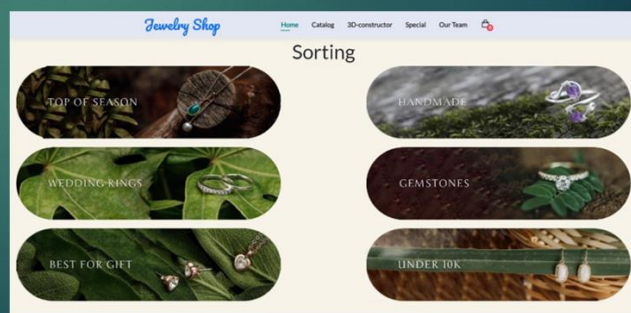
Блок сайту “Каталог”.



Взаємодія з каталогом

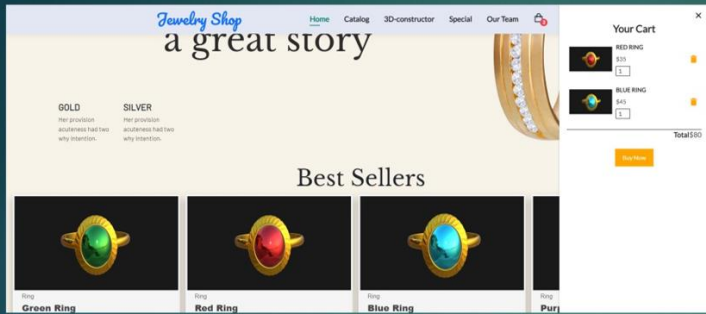


Блок сайту “Спеціальні категорії”.



РЕАЛІЗАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

Оформлення покупки товара

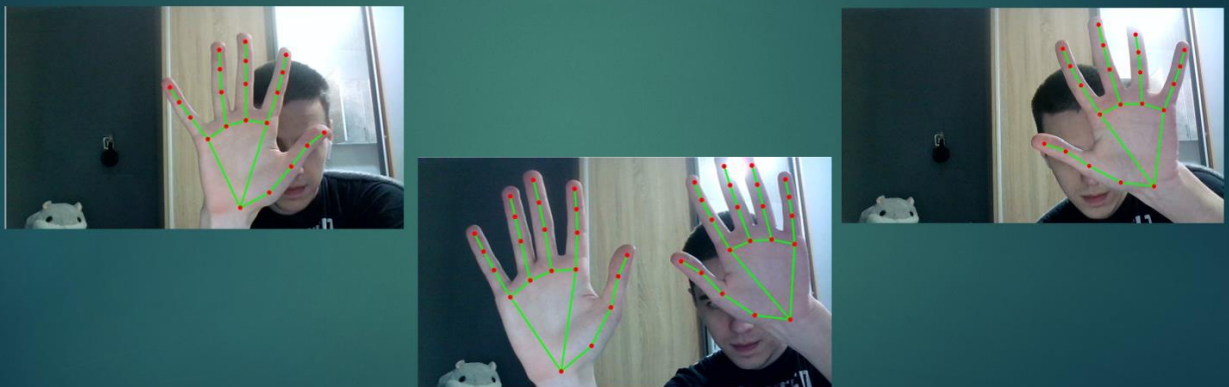


Заповнення особистої інформації

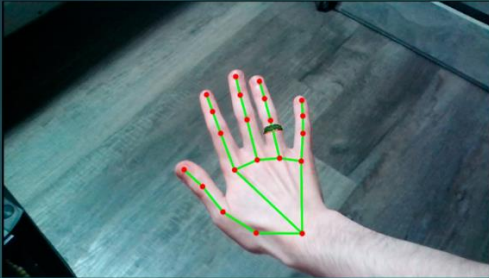
A checkout form titled "Checkout" with a white background and a purple border. It contains the following fields: "Name" and "Surname" (two lines), "Address", "Email Address", and "Phone Number" (three lines). At the bottom, there is a large, multi-colored button labeled "PLACE ORDER".

РЕАЛІЗАЦІЯ AR-РІШЕНЬ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

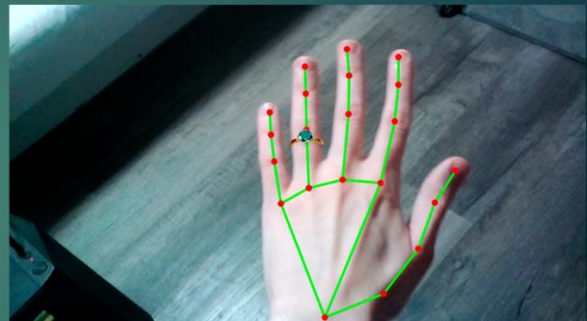
Процес зчитування рук



Візуалізація виробів в реальному часі



Візуалізація виробів в реальному часі



Висновки

У магістерській роботі було розроблено автоматизовану систему візуалізації ювелірних виробів із використанням технологій доповненої реальності (AR). Проведено комплексний аналіз предметної області, визначено оптимальні інструменти розробки та реалізовано інтерактивну вебплатформу з інтеграцією AR-функціоналу.

Результати дослідження підтверджують, що впровадження AR у ювелірній індустрії:

- Підвищує якість візуалізації продукції;
- Забезпечує інтерактивність і персоналізацію досвіду користувачів;
- Сприяє зниженню витрат на створення фізичних прототипів.

Запропонована система демонструє практичну цінність і має перспективи комерційного впровадження завдяки адаптивності, функціональності та відповідності сучасним потребам ринку.