

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»

Кафедра мультимедійних систем факультету інформатики

## **Основні методи розробки AR-застосунків**

**Текстова частина до курсової роботи  
за спеціальністю „Комп’ютерні науки”**

Керівник курсової роботи  
Доктор тех. наук Глибовець А. М.

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

Виконав студент Костенко Я. В.  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

Київ 2020

## Зміст

<b>Анотація .....</b>	<b>5</b>
<b>Вступ .....</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 1: Технологія доповненої реальності.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Історія виникнення .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Застосування доповненої реальності .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Необхідне апаратне забезпечення.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Способи додання доповненої реальності.....</b>	<b>11</b>
<b>Розділ 2: Аналіз методів створення доповненої реальності .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Arcore.....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Відстеження руху .....	13
2.1.2 Аналіз середовища .....	14
2.1.3 Аналіз освітлення .....	14
2.1.4 Орієнтовані точки .....	15
2.1.5 Доповнені зображення .....	15
2.1.6 Відстеження об'єктів.....	15
2.1.7 Обмін.....	16
2.1.8 Підсумок .....	16
<b>2.2 ARKit.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Аналіз навколишнього середовища.....	16
2.2.2 Швидкий перегляд AR .....	17
2.2.3 Дві камери.....	17
2.2.4 RealityKit .....	17
2.2.5 Підсумок .....	18
<b>2.3 Vuforia.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Spark AR.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 ARToolkit.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 MixedRealityToolkit .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7 Підсумки.....</b>	<b>21</b>
<b>Розділ 3: Розробка AR-застосунку.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Налаштування робочого середовища.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Створення проекту.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Підсумок.....</b>	<b>31</b>
<b>Висновки .....</b>	<b>33</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>34</b>

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»  
Кафедра мережних технологій факультету інформатики

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри мережних технологій,  
доктор технічних наук  
\_\_\_\_\_ А. М. Глибовець  
(підпис)  
"\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2020 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
на курсову роботу

студенту Костенку Ярославу Володимировичу  
факультету інформатики 3-го курсу

ТЕМА: “Основні методи розробки AR-застосунків”

Зміст ТЧ до курсової роботи:

Індивідуальне завдання

Вступ

1 Огляд технології доповненої реальності

2 Аналіз існуючих методів розробки AR-застосунків

3 Розробка програми

Висновки

Список літератури

Дата видачі „\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020 р. Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Завдання отримав \_\_\_\_\_  
(підпис)

## Календарний план виконання курсової роботи

**Тема:** “Основні методи розробки AR-застосунків”

### Календарний план виконання роботи:

№ п/п	Назва етапу курсової роботи	Термін виконання етапу	Примітка
1.	Отримання завдання на курсову роботу	15.10.2019	
2.	Огляд технічної літератури за темою роботи	15.01.2020	
3.	Аналіз сучасних методів	29.02.2020	
4.	Написання теоретичної частини	01.04.2020	
5.	Створення застосунку	15.04.2020	
6.	Написання практичної частини	04.05.2020	
7.	Корегування курсової роботи	09.05.2020	
8.	Створення слайдів для доповіді та написання доповіді	11.05.2020	
9.	Захист курсової роботи	18.05.2020	

Студент \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

### **Анотація**

В даній курсовій роботі розглянуто методи розробки застосунків з доповненою реальністю. Метою роботи було проаналізувати основні методи розробки доповненої реальності та розробити застосунок з доповненою реальністю. Були отримані необхідні результати і зроблено висновки.

## Вступ

Доповнена реальність – надзвичайно цікава та захоплююча технологія. За останнє десятиріччя вона зробила великий крок вперед і на даний момент є однією з найбільш перспективних технологій. Зацікавленість в доповненій реальності проявляють найбільші світові ІТ-компанії, які вкладають великі інвестиції в розвиток цієї технології, що сприяє її поширенню і удосконаленню.

На сьогоднішній день існує багато методів для розробки доповненої реальності і з кожним днем з'являються нові способи. Кожен з методів приносить щось нове в розвиток технології та допомагає зробити крок вперед.

Курсова робота складається з трьох розділів.

Перший розділ присвячено загальному огляду технології доповненої реальності, її виникненню та загальним засадам її роботи.

В другому розділі проведено аналіз сучасних методів розробки AR-застосунків, розглянуто основні методи і підведено підсумки.

У третьому розділі описується створення AR-застосунку за допомогою одного з методів розробки і наведено результат розробки.

Створено AR-застосунок, який демонструє сучасні можливості доповненої реальності та мобільних пристроїв.

## Розділ 1: Технологія доповненої реальності

### 1.1 Історія виникнення

Сучасні технології розвиваються надзвичайно стрімко і бурхливо. Вони змінюють і покращують повсякденне життя людей, але перед цим кожна технологія проходить довгий шлях розробки і удосконалення.

Про технологію доповненої реальності писав ще у 1901 році, американський письменник, автор серії казок про країну Оз - Лаймен Френк Баум, де він описував окуляри доповненої реальності.[3] Наступний крок у розвитку відбувся більш ніж через півстоліття. У 1968 році американські винахідники Айвен Сазерленд та Боб Спрулл створили шолом доповненої реальності “Дамоклів меч”. Апарат був надзвичайно громіздкий і не зручний у користуванні, але це був лише перший етап.[4]

Вперше термін “доповнена реальність” був використаний винахідниками компанії “Boeing” Томом Кодделом і Девідом Мітцелем, які розробили прозору гарнітуру, котра відображала положення ключових кабелів в складних схемах електромережі літака. Даний пристрій допоміг скоротити витрати та підвищити ефективність багатьох операцій.[9]

У 1992 році, в лабораторії Армстронга ВПС США, вчений Луї Розенберг розробив першу відому систему доповненої реальності під назвою “Віртуальні світильники” й опублікував перше дослідження впливу систем доповненої реальності на продуктивність людини. І результатом цього дослідження було підвищення продуктивності до 70%.[5][6]

Через декілька років в Австралії, хореограф Джулі Мартін створює перший виступ “Dancing in Cyberspace”, де виступають танцюристи та акробати, які маніпулюють віртуальними об’єктами в режимі реального часу.[8] І як ми бачимо розвиток і використання технології доповненої реальності відбувався у багатьох напрямках людського життя, промисловості та військовому комплексі, що очевидно дуже прискорювало її впровадження в повсякденне життя.

А вже у 1997 році дослідник Рональд Азума з HRL Laboratories опублікував велику оглядову статтю “Огляд доповненої реальності”, де вперше були описані проблеми та можливості, пов’язані з запровадженням цієї технології. Також були сформовані основні властивості системи доповненої реальності:

- Поєднує віртуальне і реальне
- Взаємодіє в реальному часі
- Працює в 3D.[1]

Отже, можемо дати таке визначення доповненої реальності. Доповнена реальність (augmented reality) — це доповнення фізичного світу за допомогою цифрових даних, яке забезпечується комп’ютерними пристроями в режимі реального часу.[7]

## **1.2 Застосування доповненої реальності**

За останні декілька років технологія доповненої реальності розвинулась до такої, що використовується в багатьох сферах – від ігор та розваг до медицини, освіти і бізнесу. Наприклад, в археології доповнена реальність допомагає створювати комп’ютерні моделі руїн, будівель та ландшафтів. Така система, як Vita (Visual Interaction Tool for Archaeology), дозволяє користувачам досліджувати результати розкопок, не виходячи з дому.

В архітектурі, AR допомагає у візуалізації будівельних проектів. Модель будівлі може бути накладена на реальний місцевий вигляд нерухомості до того, як сама будівля буде побудована. Також за допомогою доповненої реальності можна створити дизайн квартири, додавши туди предмети інтер’єру та дизайну.[10]

Використання доповненої реальності в освіті лише починається, але вже зараз вона є найсучаснішою технологією візуалізації навчальної інформації, яка підвищує рівень засвоєння знань і допомагає студентам взаємодіяти зі своїм



навчальним середовищем. Технологія AR здатна відображати об'єкти, які важко уявити, і перетворювати їх у 3D-моделі, цим самим полегшуючи розуміння абстрактного та складного вмісту. Це надзвичайно добре для учнів, які навчаються візуально.[11]

Доповнена реальність в промисловості вже зараз допомагає полегшити роботу працівників і водночас підвищити їхню точність, швидкість і ефективність. Такі промислові гіганти як Форд і Боїнг за допомогою AR здійснюють проектування, розробку та конструювання машин і літаків.

Військовий сектор завжди був на передньому плані використання нових технологічних досягнень для бойових покращень. І технологія доповненої реальності не стала винятком. Ще задовго до того моменту, як вона стала доступною для пересічних людей, армія уже застосовувала її для своїх пілотів-винищувачів. Також вона використовується для тактичного навчання солдатів і офіцерів, адже за її допомогою можна створити будь-яку бойову симуляцію. AR заощаджує гроші, створюючи набагато безпечніше середовище та допомагає солдатам розвивати пізнавальні навички. Згідно досліджень, солдати, які не тренувались за допомогою доповненої реальності, мають менш розвинене поле зору, гірше запам'ятовують візуальні об'єкти та повільніше обробляють нову інформацію. Тому створення бойових симуляцій з використанням доповненої реальності може значно підвищити когнітивні здібності солдатів і привести віртуальну підготовку у відповідність до польових навчань.[12]

Головною сферою, де знайшла використання доповнена реальність є сфера розваг. Саме розваги сьогодні розвивають дослідницьку базу доповненої реальності, а завдяки великим обсягам даних, переданих людьми розробникам, робляться кроки в сторону більш серйозних і корисних областей. На даний момент створено величезну кількість ігор з використанням доповненої реальності.[13] Найпопулярнішою грою за останній час була Pokemon GO(ваш телефон передає дані про ваше місцезнаходження, на основі яких програмне забезпечення створює зображення покемона у полі вашого зору), яка використовувала всі можливості сучасних смартфонів: це і якісна камера, і

потужне апаратне забезпечення, і можливість геопозиціонування. Для багатьох користувачів ця гра відкрила можливості доповненої реальності та показала якими ігри можуть стати в майбутньому. У свою чергу в сферу розваг входять і соціальні мережі, такі як Instagram та Snapchat, які використовують фільтри для зображень із використанням AR. Таким чином технологія доповненої реальності знайшла масове застосування та визнання.

### **1.3 Необхідне апаратне забезпечення**

Система доповненої реальності з апаратної точки зору складається з процесора, дисплея, датчиків та пристроїв введення. Отже, при розробці системи потрібно враховувати призначення системи: хто нею буде користуватися, скільки людей буде нею користуватися, чи потрібно буде змінювати місцезнаходження та інші питання.[14]

В основі будь-якої системи доповненої реальності лежить процесор, який аналізує, обробляє та зберігає дані з різноманітних датчиків, виконує завдання програми і генерує відповідні сигнали для показу на дисплеї. У всіх випадках процесор має мати достатню обчислювальну потужність для виконання завдань в режимі реального часу, для того щоб потік інформації оновлювався плавно і з тією швидкістю, яку користувач сприймає як неперервний потік даних.[15]

Також AR використовує різноманітні датчики і сенсори. Тому давайте розглянемо яку роль виконує кожний із них.

Гіроскоп – датчик, який дозволяє визначати просторове положення телефону в просторі. Він дуже важливий для коректного позиціонування, а саме для відстеження орієнтації пристрою.[16]

Глобальна система позиціонування (GPS) – система радіонавігації на базі супутників, що належить уряду США. Це одна із глобальних навігаційних систем, яка надає геолокаційну та часову інформацію GPS-приймачу в будь-якій точці Землі, де є безперешкодна лінія зору для чотирьох і більше GPS-супутників.[17]

Акселерометр – пристрій, який використовується для вимірювання прискорення. В смартфонах застосовується для зміни положення зображення в залежності від орієнтації пристрою.[18]

Камера є невід’ємною частиною для будь-якої системи доповненої реальності. Саме за допомогою камери створюється комп’ютерна модель, визначаються опорні точки для позиціонування.[19]

Сучасні мобільні пристрої, такі як смартфони і планшети, містять всі ці елементи, що робить їх основними пристроями для застосування доповненої реальності.

#### **1.4 Способи додання доповненої реальності**

Існує декілька різних способів за допомогою яких додається доповнена реальність:

- На основі маркерів
- Без маркерів
- На основі суперпозиції
- На основі проекції.

Безмаркерна доповнена реальність також відома як позиційна доповнена реальність. Технологія використовує компас, GPS, акселерометр і гіроскоп, щоб транслявати місце розташування та положення користувача. Ця форма AR базується на власному повідомленні користувача про своє розташування і використовується для навігації, повідомлення про події й у локальній рекламі.

Маркерна доповнена реальність використовує зображення або об’єкт для побудови контенту. Яскравим прикладом є QR-код, який сканує телефон. Взаємодія між пристроєм і зображенням інформує програму про те коли і куди транслявати вміст. Наприклад, після сканування QR-коду в музеї отримуємо 3D модель експоната.

Суперпозиція – сканує вхідне зображення та додає на нього доповнене. Основним моментом цього способу є розпізнавання об’єктів. AR на основі

суперпозиції використовується в мобільному додатку від меблевого магазину ІКЕА. Він дозволяє користувачам побачити як той чи інший предмет буде виглядати в їхньому інтер'єрі. Також даний спосіб застосовується в додатках магазинів одягу та взуття, коли покупець може приміряти одяг чи взуття віртуально, без фізичної взаємодії.

AR на основі проекції передбачає проектування променю світла на фізичну поверхню, що дозволяє глядачам бачити зображення. Такі голограми найчастіше можна побачити в кіно і на концертах.[2]

## Розділ 2: Аналіз методів створення доповненої реальності

### 2.1 Arcore

ARCore – це набір для розробки програмного забезпечення, розроблений компанією Google, який дозволяє будувати додатки доповненої реальності. Розглянемо її основні елементи.[20]

#### 2.1.1 Відстеження руху

Коли ваш телефон переміщується у просторі, ARCore використовує процес, котрий називається одночасною локалізацією та відображенням, або SLAM, щоб визначити, де знаходиться телефон у просторі в даний момент часу. ARCore виявляє візуально відмінні риси у захопленому зображенні камери, що називаються функціональними точками, і використовує їх для обчислення зміни розташування. Візуальна інформація поєднується з інерційними вимірами з IMU датчику для оцінки позиції (положення та орієнтації) камери відносно розташування у просторі.

Вирівнюючи положення віртуальної камери, яка накладає 3D-вміст, на положення камери пристрою, наданої ARCore, розробники можуть відображати віртуальний контент з правильної точки зору. Відтворене віртуальне зображення може бути накладене поверх зображення, отриманого з камери пристрою, видаючи його частиною реального світу.

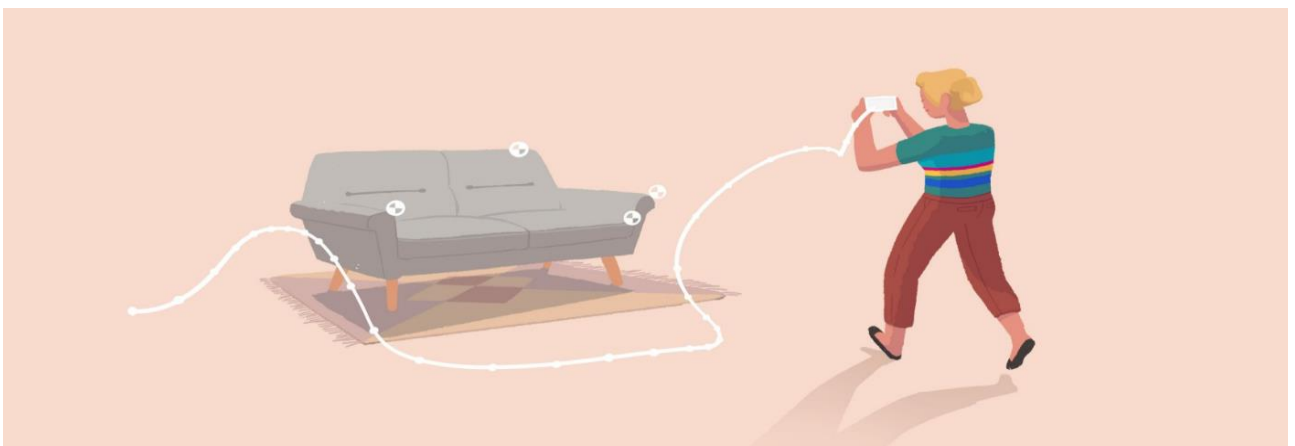
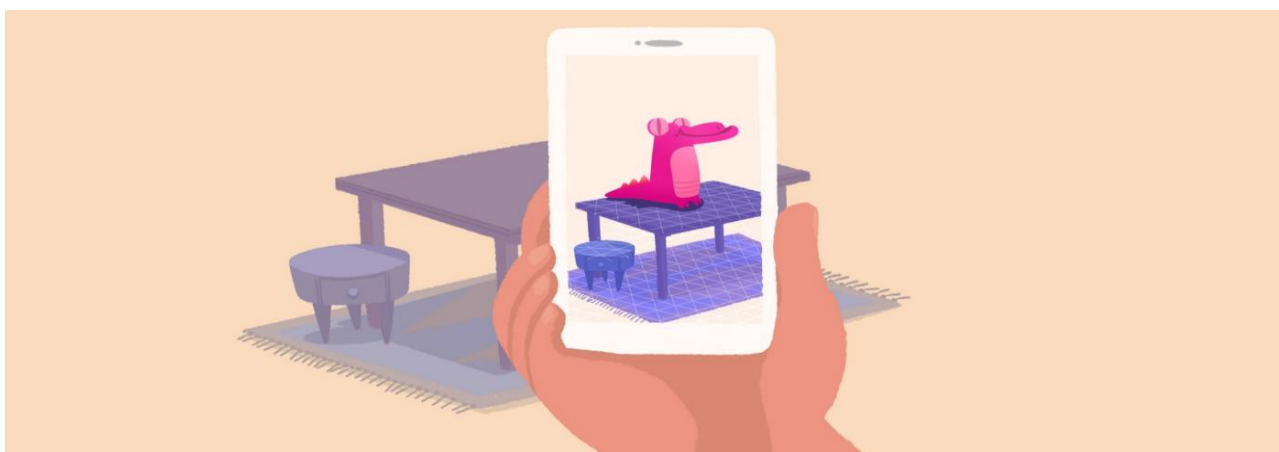


Рисунок 1.1 - Візуалізація роботи функції – відстеження руху

### 2.1.2 Аналіз середовища

ARCore постійно покращує своє розуміння навколишнього середовища, виявляючи нові площини та точки. Він шукає групи однакових функціональних точок, які лежать на горизонтальних чи вертикальних поверхнях, таких як столи або стіни, і робить ці поверхні доступними для доповненої реальності. Також ARCore визначає межі для кожної площини і надає цю інформацію програмі. Відповідно, ви можете використовувати ці дані для розміщення віртуальних об'єктів, що лежать на плоских поверхнях. Оскільки ARCore використовує функціональні точки для визначення площини, то плоскі поверхні без текстури, наприклад біла стіна, можуть виявлятися неправильно.



*Рисунок 1.2 - Демонстрація роботи функції – аналіз середовища*

### 2.1.3 Аналіз освітлення

ARCore аналізує інформацію про освітлення навколишнього середовища і передає дані про середню інтенсивність та корекцію кольору зображення з камери пристрою. Ці дані дозволяють програмі освітлювати віртуальні об'єкти так само, як і навколишнє середовище, що значною мірою підвищує реалізм доповненої реальності.



*Рисунок 1.3 – Демонстрація роботи аналізу освітлення*

#### **2.1.4 Орієнтовані точки**

Орієнтовані точки дозволяють розміщувати віртуальні об'єкти на кутових поверхнях. ARCore аналізує об'єкти поблизу та використовує їх для оцінки кута поверхні в заданій точці.

#### **2.1.5 Доповнені зображення**

Доповнені зображення – це функція, яка дозволяє створювати додатки AR, здатні реагувати на конкретні 2D-зображення, такі як упаковка продукту чи постер фільму. Користувач має можливість взаємодіяти з доповненою реальністю, коли він наводить камеру пристрою на певне зображення, яке змінюється.

#### **2.1.6 Відстеження об'єктів**

ARCore з часом може оновлювати положення об'єктів навколишнього середовища. Це необхідно для того, щоб віртуальний об'єкт завжди залишався на площині до якої був прив'язаний, а не переміщався в залежності від руху самого пристрою.

### **2.1.7 Обмін**

ARCore Cloud Anchor API дозволяє створювати програми для спільної роботи або багатокористувацькі додатки для пристроїв Android та iOS.

За допомогою Google Anchors різні користувачі можуть проглядати ті ж самі тривимірні об'єкти та одночасно взаємодіяти з ними.

### **2.1.8 Підсумок**

Google розробила ARCore, щоб він був доступний з декількох платформ розробки (Android [Java], Web [Javascript], Unreal [C++], Unity [C#]), цим самим надаючи розробникам більше гнучкості та можливостей для створення додатків на різних платформах. Незважаючи на те, що кожна платформа має свої сильні та слабкі сторони, всі платформи поширюються на вбудований в пристрої Android SDK. Це означає, що незалежно від вибору платформи, вам буде комфортно працювати з інструментами розробки.[21]

## **2.2 ARKit**

ARKit – платформа розробки доповненої реальності Apple для мобільних пристроїв iOS. Це API високого рівня, який пропонує численні та потужні функції, що дозволяють оживити світ доповненої реальності. Розглянемо, які можливості є у даної технології.[22]

### **2.2.1 Аналіз навколишнього середовища**

Ваш додаток може виявляти поверхні в реальному світі та взаємодіяти з ними, розміщуючи віртуальний контент. Також відбувається виявлення відомих об'єктів, виявлення та відстеження зображень, відстеження тіла і людей, відстеження обличчя користувачів і аналіз освітлення навколишнього середовища, що надає вашій програмі багато цінної та потрібної інформації.[23]



### 2.2.2 Швидкий перегляд AR

AR Quick Look дозволяє користувачеві розміщувати віртуальний контент, який ви надаєте, на будь-яку поверхню, яку ARKit знаходить в реальному середовищі. Користувачі можуть взаємодіяти з вашим віртуальним вмістом, переміщуючи та масштабуючи його за допомогою жестів дотику, або обмінюватися ним з іншими користувачами.

### 2.2.3 Дві камери

Починаючи з ARKit 3, ви можете отримувати дані з обох камер, які надаються одночасно, але все одно ви повинні обрати одну камеру, зображення з котрої буде показано користувачу.

### 2.2.4 RealityKit

RealityKit застосовується для безпроблемної інтеграції віртуальних об'єктів у реальний світ. Наприклад, об'ємність – це властивість, яка впливає на те, як світло розсіюється на поверхні. RealityKit покращує реалістичність віртуального об'єкту за допомогою використання алгоритму багаторозсіювання. Також наявні функції для надання справжнього блиску і збільшення точності освітлення та світловідбиття.



Рисунок 2.1 – Віртуальні об'єкти без та з використанням RealityKit

### 2.2.5 Підсумок

ARKit є головним конкурентом ARCore. В ньому присутні майже всі можливості ARCore і є деякі свої покращення, які їх відрізняють. Але основним критерієм для використання одного з цих методів розробки є операційна система мобільних пристроїв на яких планується використання AR-додатку.

### 2.3 Vuforia

Vuforia – це набір для розробки програмного забезпечення доповненої реальності, який в основному застосовується в промисловості, де з його допомогою створюються додатки, які підвищують ефективність, допомагають створювати більш досконалі вироби, а також підвищувати безпеку і продуктивність працівників.

Даний метод використовує технологію комп'ютерного зору для розпізнавання та відстеження двовимірних зображень та 3D-об'єктів у режимі реального часу. Ця можливість реєстрації зображень дає можливість розробникам розміщувати та позиціонувати віртуальні об'єкти стосовно об'єктів реального світу, коли вони переглядаються через камеру пристрою. Потім віртуальний об'єкт відстежує положення та орієнтацію зображення в режимі реального часу, щоб погляд глядача на об'єкт відповідав перспективі на ціль. Таким способом, виявляється що віртуальний об'єкт є частиною сцени реального світу.

Vuforia підтримує 2D та 3D об'єкти, включаючи зображення без маркеру, тривимірні конфігурації та форму адресного маркеру (VuMark). VuMark – це штрих-код нового покоління, який дозволяє отримати свободу для індивідуального дизайну, орієнтованого на бренд. Він долає обмеження існуючих матричних рішень QR-коду та дозволяє створити повністю унікальний вигляд мітки для AR.

Vuforia надає інтерфейси програмування додатків (API) на мовах C++, Java, Objective-C++ та .NET за допомогою Unity. Таким чином, SDK підтримує як і нативну розробку для iOS і Android, так і для розроблення AR-додатків в Unity, які легко переносяться на обидві платформи. Програми AR, розроблені з використанням Vuforia, є сумісними з пристроями на операційних системах IOS та Android.

У листопаді 2015 року, Vuforia була придбана компанією PTC Inc. та з того часу є платною, що є явним мінусом у порівнянні з іншими варіантами.[24][25]

## **2.4 Spark AR**

Spark AR – це платформа для розробки доповненої реальності, створена компанією Facebook. З її допомогою можна створювати різноманітні AR-ефекти для мереж Facebook та Instagram. Вони будуть доступні на пристрої незважаючи на операційну систему цього пристрою, що дає доступ до доповненої реальності великій кількості смартфонів та планшетів.

Spark AR орієнтована на взаємодію з користувачем, особливо з його руками та обличчям. Тому там наявно багато функцій, які значно полегшують роботу розробників. У Spark AR присутні п'ять способів освітлення віртуальних об'єктів, що значно збільшує та покращує реалізм доповненої реальності. У одній сцені можна використовувати до чотирьох методів. У кожному новому проекті за замовчуванням додається зовнішнє світло та спрямоване світло. Ці світильники допомагають реалізовувати об'єкти реалістичним способом. Наприклад, світло навколишнього середовища імітує освітлення від реального середовища, такого як пляж чи парк.

Також одним з найпотужніших інструментів є відстеження обличчя (Face tracker). Він дозволяє отримувати велику кількість інформації про обличчя користувача, а саме відстеження положення, відстеження погляду очей, кліпання очей, відкривання рота та багато іншого. [26]

Отже, на даний момент Spark AR є найпоширенішим способом створення доповненої реальності у світі, адже у порівнянні з іншими, він підтримується усіма мобільними операційними системами і не потребує імпортування на іншу платформу.

## **2.5 ARToolkit**

ARToolkit – це бібліотека з відкритим кодом для створення потужних додатків з розширеною реальністю, які накладають віртуальне зображення на реальний світ. В даний час вона підтримується як проєкт з відкритим кодом, що розміщується на Github.[27] Зараз в ARToolkit присутні такі можливості:

- Відстеження положення та орієнтації камери
- Відстеження шаблонів будь-яких квадратних маркерів
- Відстеження плоских зображень
- Калібрування камери
- Генерація квадратних маркерів
- Плагіни для Unity та OpenSceneGraph
- Оптична підтримка шолома доповненої реальності
- Безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом.

Поточна версія ARToolkit підтримує платформи Microsoft Windows, Mac OS X, Linux, iOS та Android, також доступний як плагін для ігрового двигуна Unity.[28]

## **2.6 MixedRealityToolkit**

MixedRealityToolkit – це інструмент з відкритим кодом, створений Microsoft, для побудови додатків змішаної реальності. Підтримується такими пристроями як Microsoft HoloLens, Microsoft HoloLens 2, гарнітури Windows

Mixed Reality, гарнітури OpenVR (HTC Vive, Oculus Rift), що робить його доволі вузькопрофільним методом, адже ці пристрої не поширені серед звичайних користувачів і більше застосовуються на різноманітних підприємствах.

Має такі особливості: відстеження рук та очей користувача, управління поглядом і жестами. Також дозволяє зменшити розмір вашого проекту і полегшує управління за рахунок використання модульності.[29]

## 2.7 Підсумки

В даному розділі були розглянуті основні методи розробки AR-додатків. Серед найпоширеніших і найпотужніших виділяються ARKit, ARCore, Vuforia, Spark AR. ARKit підтримує лише платформу iOS, в той час як ARCore, Vuforia, Spark AR підтримують iOS та Android. Світова статистика показує, що 78% усього ринку мобільних додатків становлять користувачі Android.[30] Цей факт є недоліком ARKit.

Водночас використання ARKit, ARCore та Spark AR є безкоштовним, а користування Vuforia обійдеться розробникам в 400 £ на місяць. Тому цей варіант не підходить для навчання, а тільки для комерційної або промислової розробки.

Spark AR не дозволяє створювати незалежні додатки, а тільки ефекти, маски та ігри, які є інтегрованими в соціальні мережі Instagram і Facebook. Це одночасно є і плюсом і мінусом, адже наш додаток миттєво може отримати мільйонну аудиторію користувачів, але буде повністю залежати від Instagram та Facebook. Тому перед використанням Spark AR необхідно точно визначитися з метою і завданнями вашого AR-додатку й уже в залежності від них обирати його чи не обирати.

Загалом доповнена реальність відкрила нові шляхи в розробці додатків завдяки своїй вражаючій взаємодії з користувачем і навколишнім світом. Для розробників інтеграція доповненої реальності в свої програми стала легкою і доступною завдяки таких інструментів розробки AR, як ARKit, ARCore, Vuforia,

Spark AR, ARToolkit, MixedRealityToolkit. ARKit, ARCore, Vuforia та Spark AR є дуже схожими з точки зору загальних можливостей і особливостей, які вони надають при розробці AR. Для загальної розробки AR розробники можуть вибирати між ними в залежності від використовуваної платформи та ціни.

## Розділ 3: Розробка AR-застосунку

### 3.1 Налаштування робочого середовища

Для розробки AR-застосунку було вибрано Spark AR, оскільки цей метод є безкоштовним, не дуже ресурсозатратним і результатом роботи буде додаток, який доступний на усіх мобільних платформах.

Для початку необхідно завантажити Spark AR Studio. Зробити це можна з офіційного сайту. Після завантаження і встановлення потрібно зареєструватись за допомогою аккаунта Facebook. Це буде використовуватись в майбутньому, коли ви будете загрузати свій додаток в мережу, то він буде прив'язаний до вашої сторінки в Facebook чи Instagram.

Опісля виконання вищеописаних дій ми отримуємо доступ до Spark AR Studio, де можемо створити свій додаток доповненої реальності.

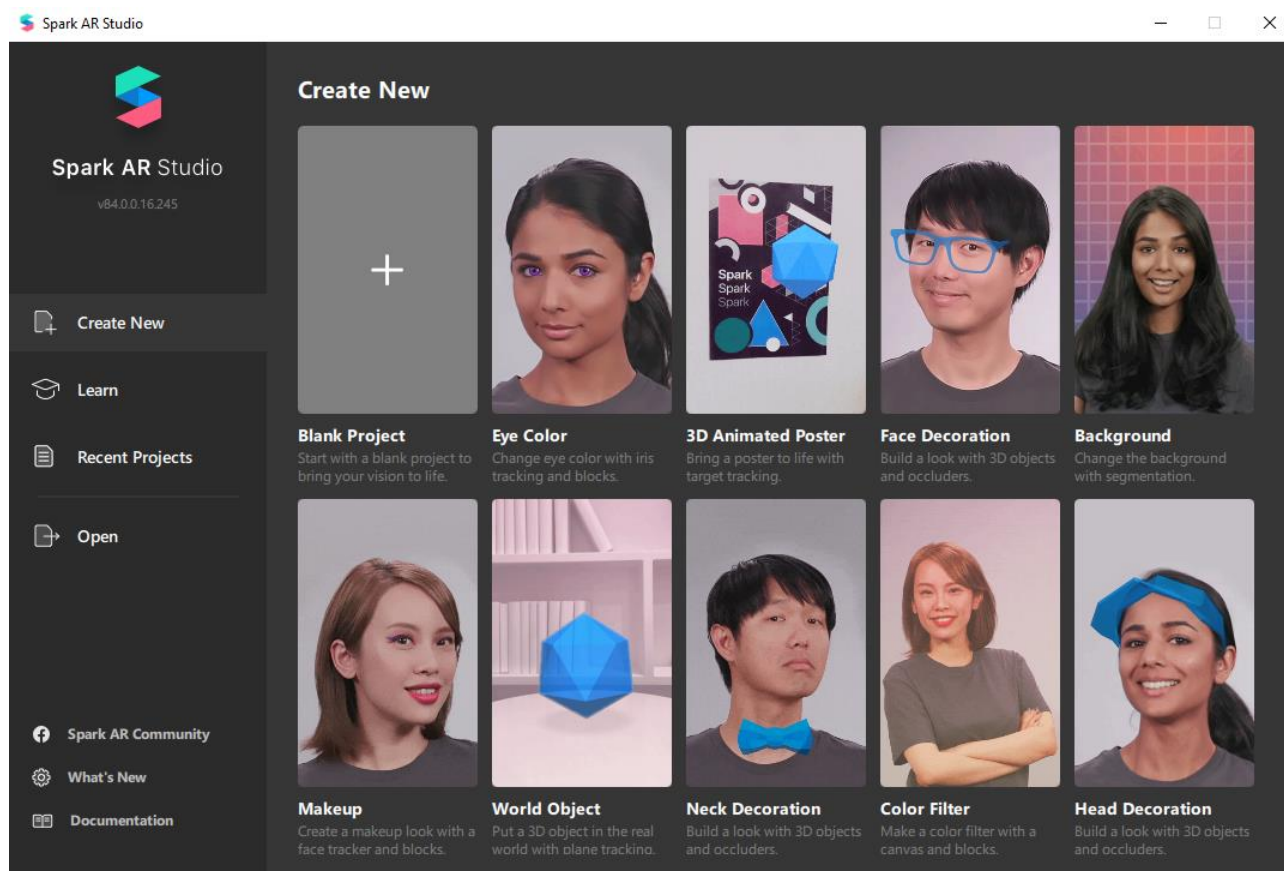


Рисунок 3.1 – Початкове меню Spark AR Studio

### 3.2 Створення проекту

В початковому меню вибираємо створення нового проекту (Blank Project). Також там наявні готові проекти з різними AR-ефектами для ознайомлення. Після створення проекту ми отримуємо ось таке середовище.

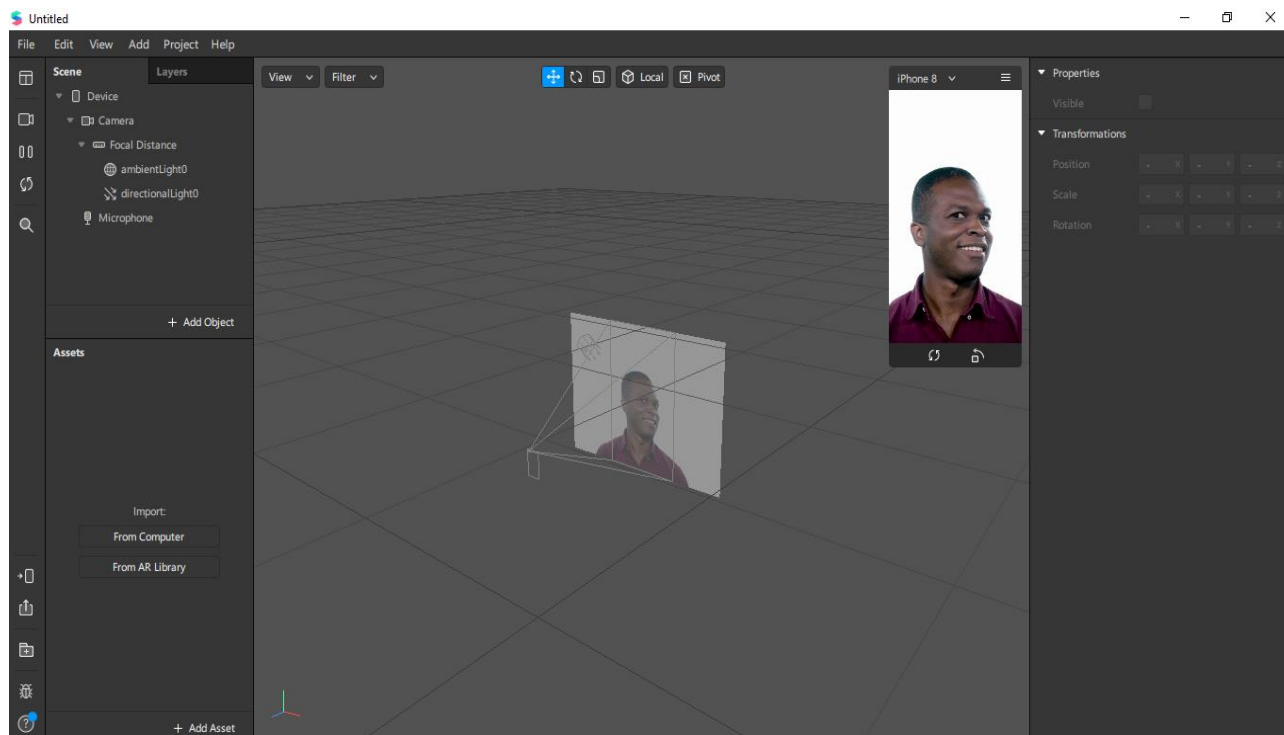


Рисунок 3.2 – Початкове середовище при створення нового проекту

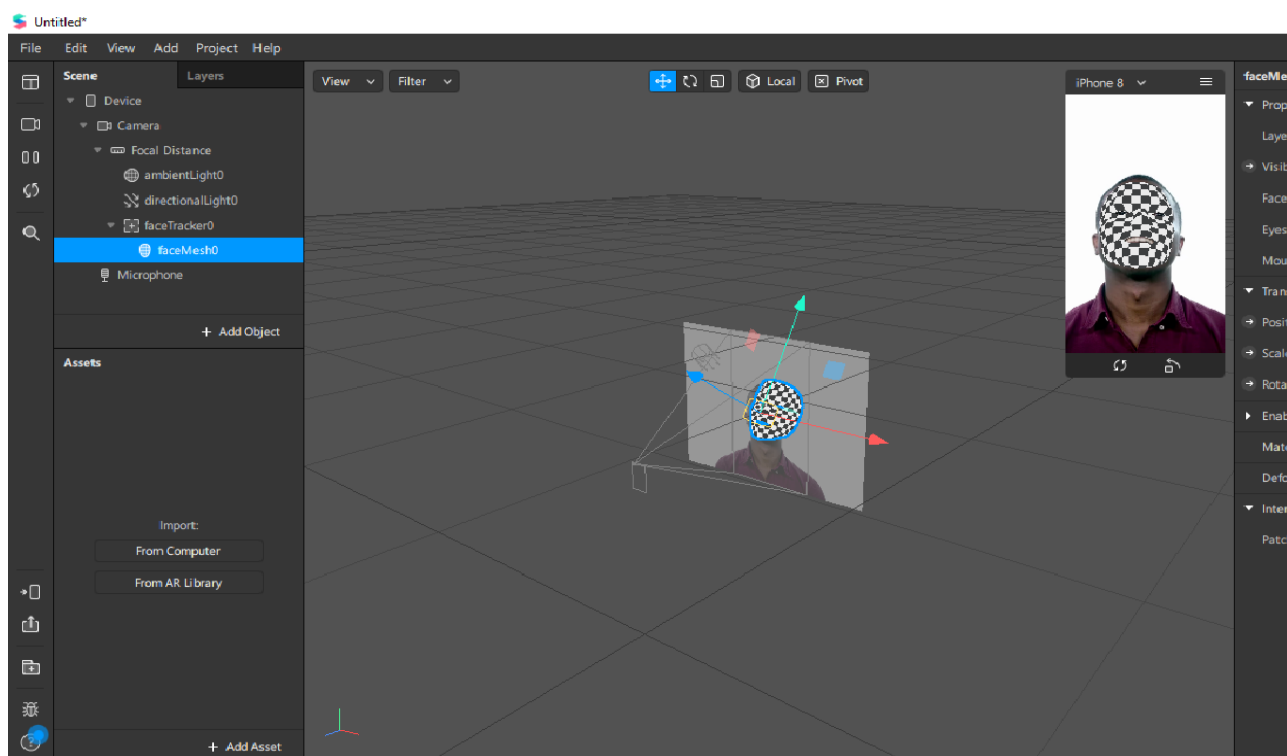
Одразу в нас присутня така можливість, як перегляд в режимі реального часу нашого проекту на мобільному пристрої, який можна вибрати з випадального списку. В якості користувача ми можемо вибрати різних людей у яких різні риси зовнішності, а також можемо протестувати проект на собі, просто увімкнувши веб-камеру комп'ютера.





*Рисунок 3.3 – утиліта для перегляду проекту в режимі реального часу*

Спочатку нам потрібно додати відстеження обличчя (Face Tracker), яке дасть змогу відслідковувати обличчя користувача і в подальшому додавати на нього різні об'єкти. Після цього додаємо сітку для обличчя, яка необхідна для позиціонування об'єктів.



*Рисунок 3.4 – Face Tracker та сітка для обличчя*

Потім ми застосовуємо алгоритм згладжування, який зробить шкіру користувача більш гладкою і приховає деякі недоліки.

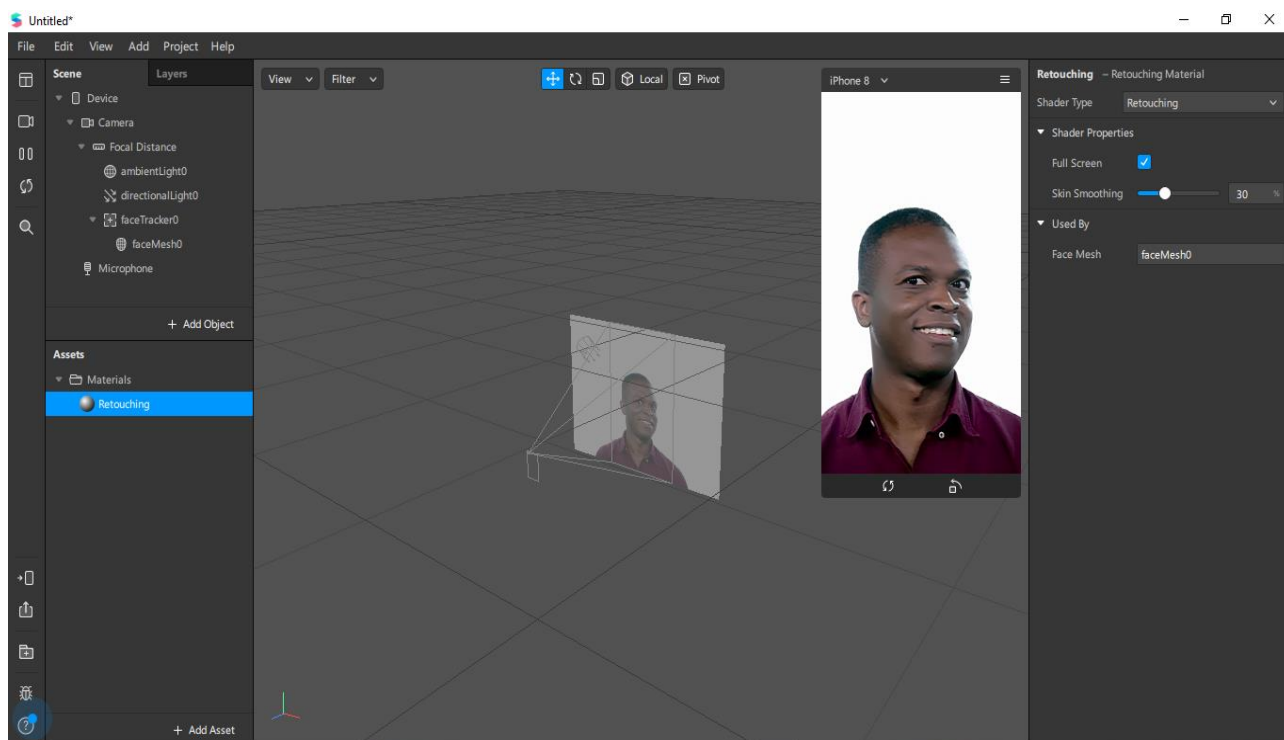


Рисунок 3.5 – Результат після застосування алгоритму згладжування

Далі ми додаємо ще одну сітку для обличчя і використовуємо алгоритм додавання текстури на лице.

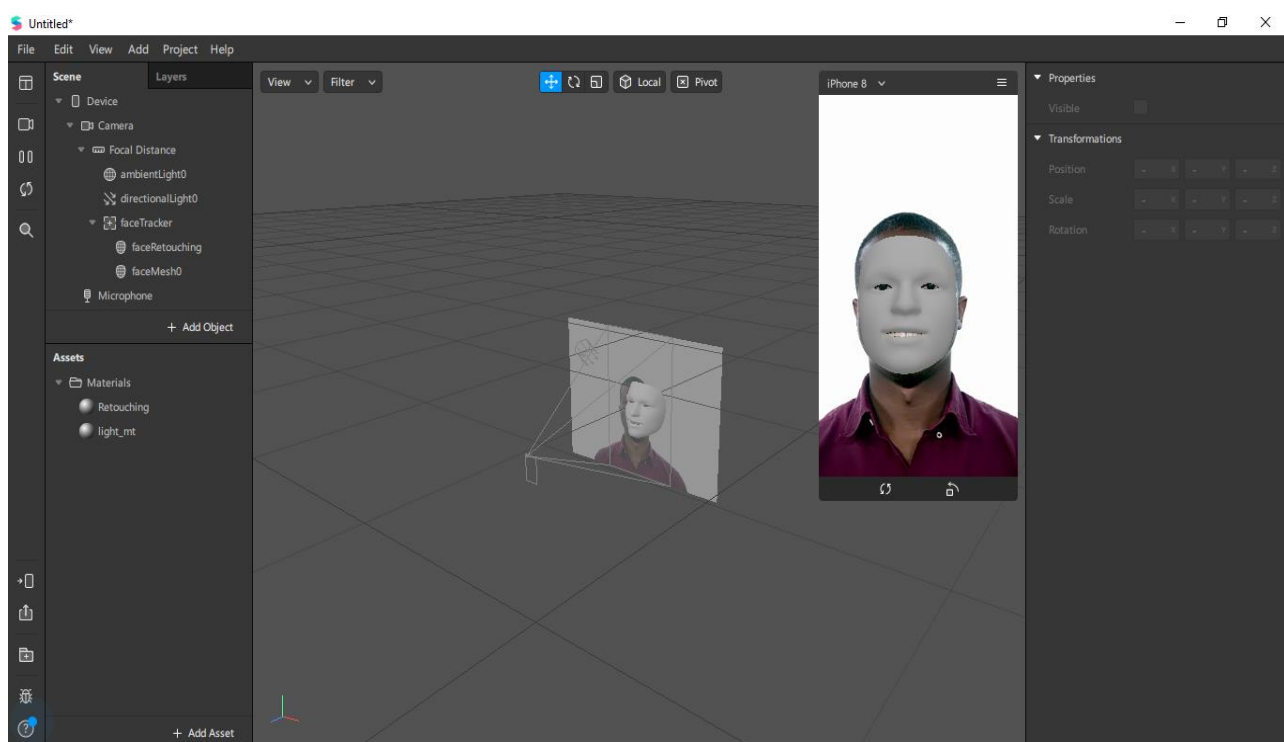
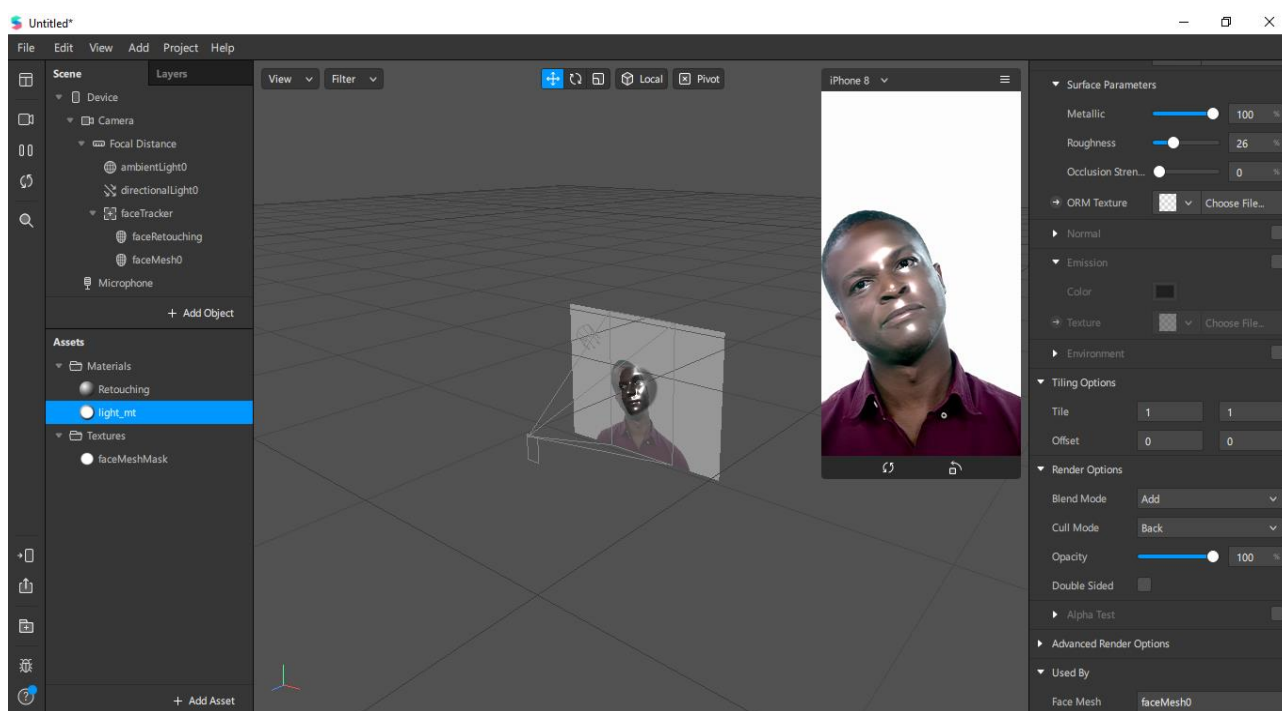


Рисунок 3.6 – Результат накладання текстури на обличчя користувача

Опісля в якості матеріалу для текстури ми завантажуюмо 2D модель обличчя. Її можна завантажити з офіційного сайту Spark AR.



*Рисунок 3.7 – 2D модель обличчя*



*Рисунок 3.8 – Результат додання матеріалу до текстури обличчя*

Потім ми додаємо дві кольорових точки освітлення і прописуємо логіку дій для них.

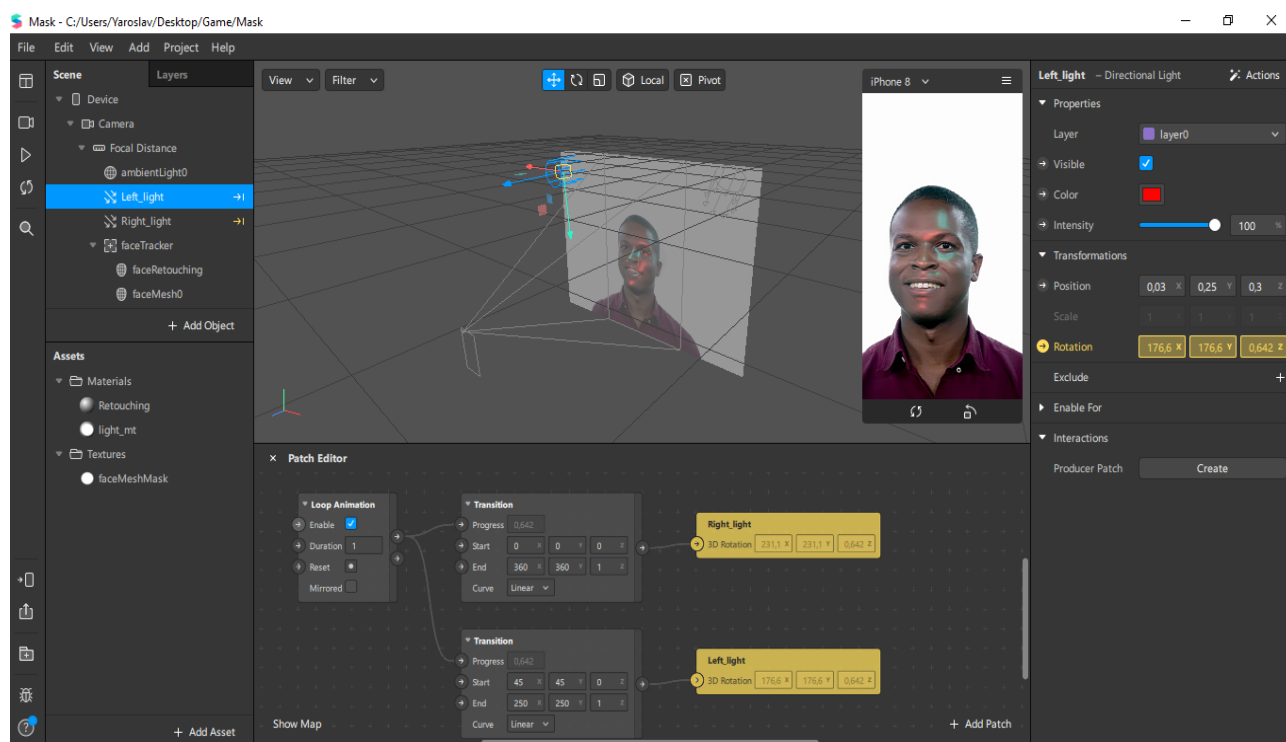


Рисунок 3.9 – Результат роботи двох різнокольорових точок освітлення

Опісля добавимо ще одну сітку для обличчя і з її допомогою накладемо вуса на користувача.

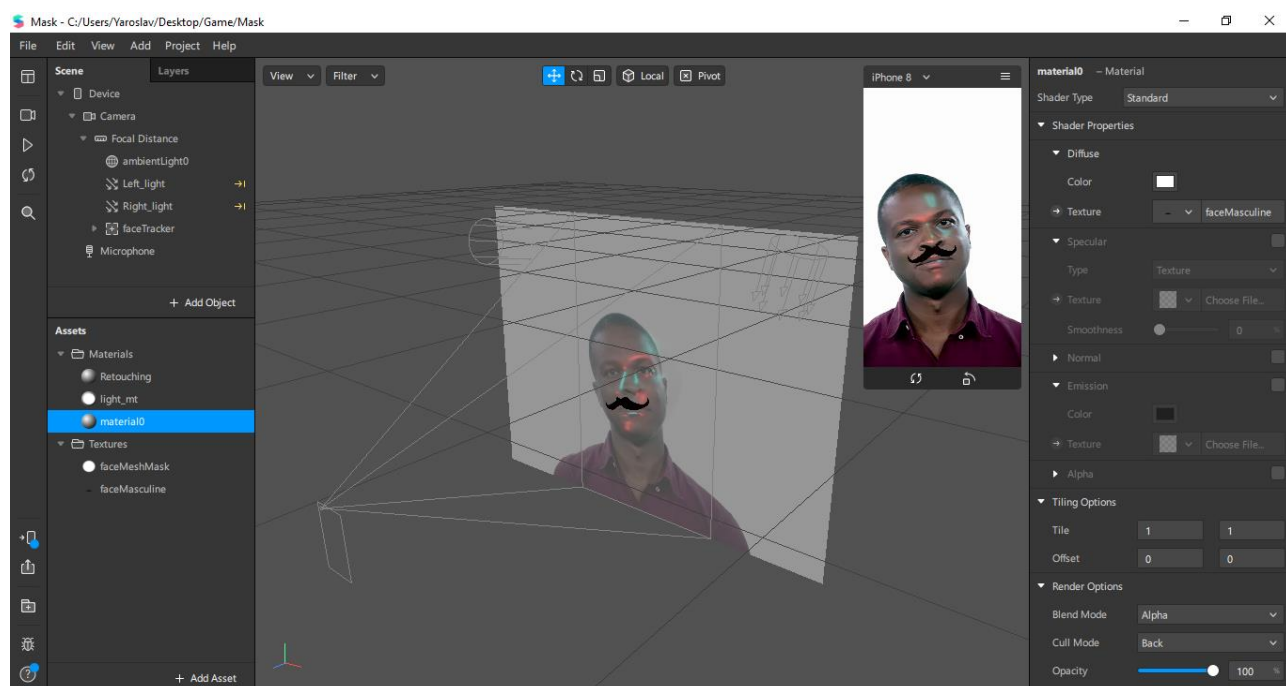
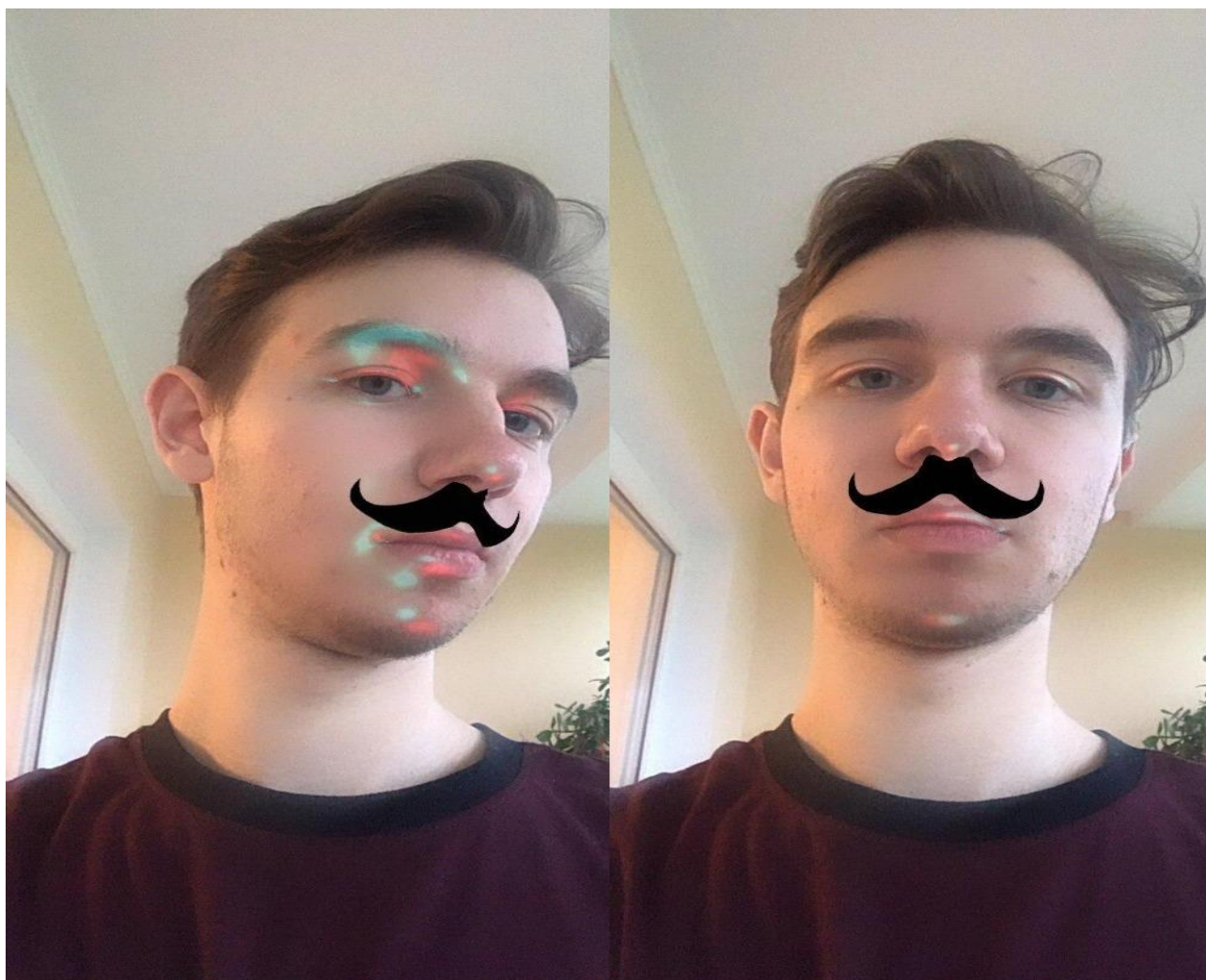


Рисунок 3.10 – Фінальний ефект для маски

Тепер наш ефект для обличчя готовий і ми можемо протестувати його на власному смартфоні. Для цього потрібно завантажити Spark AR Player із App Store чи Play Market в залежності від операційної системи та підключити його Usb-кабелем до комп'ютера.

*Рисунок 3.11 – Приклад роботи застосунку на користувачі*



Отже, ефект для обличчя готовий. Він в режимі реального часу накладає на користувача вуса, додає різнокольорове освітлення і згладжує шкіру обличчя. Тепер добавимо гру в якій персонаж буде стрибати коли користувач кліпає. Для цього завантажимо текстури гри з інтернету та розташуємо їх в додатку.



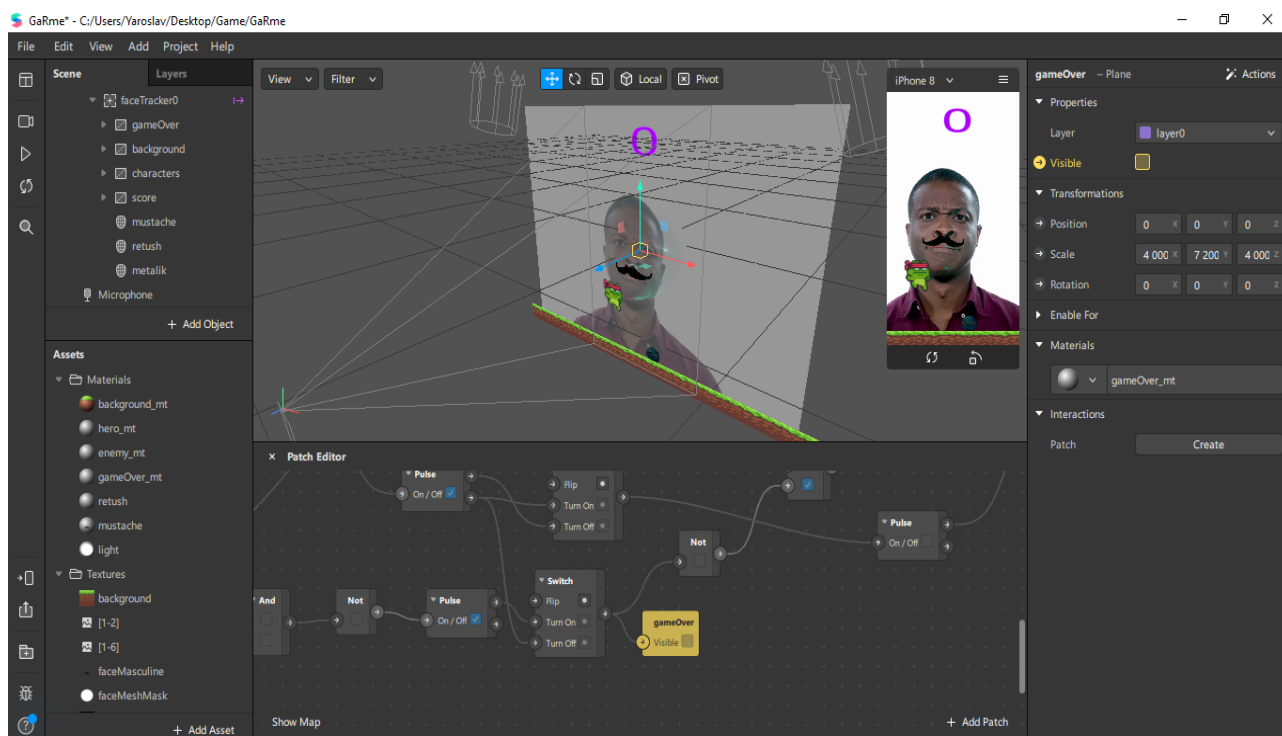


Рисунок 3.12 – Додання текстур для гри

Далі ми пропишемо поведінку для кожної моделі та додамо скрипт для обрахунку рахунку гри.

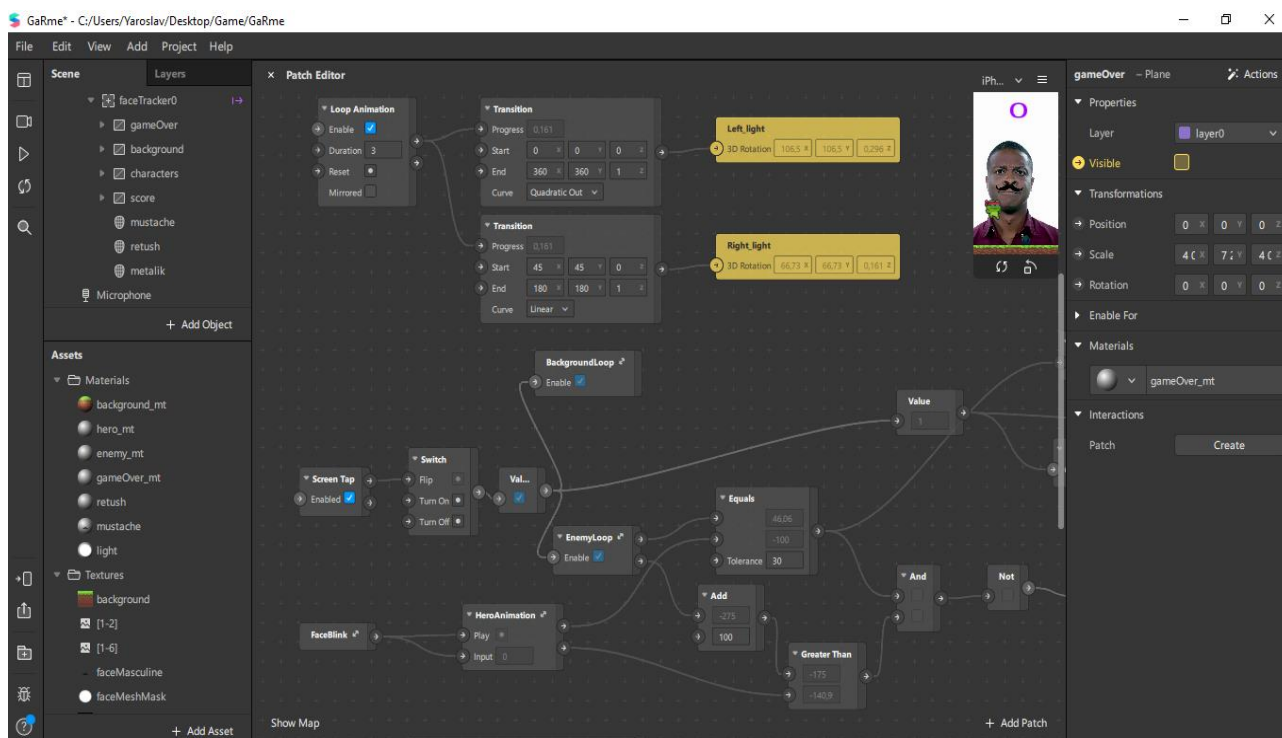
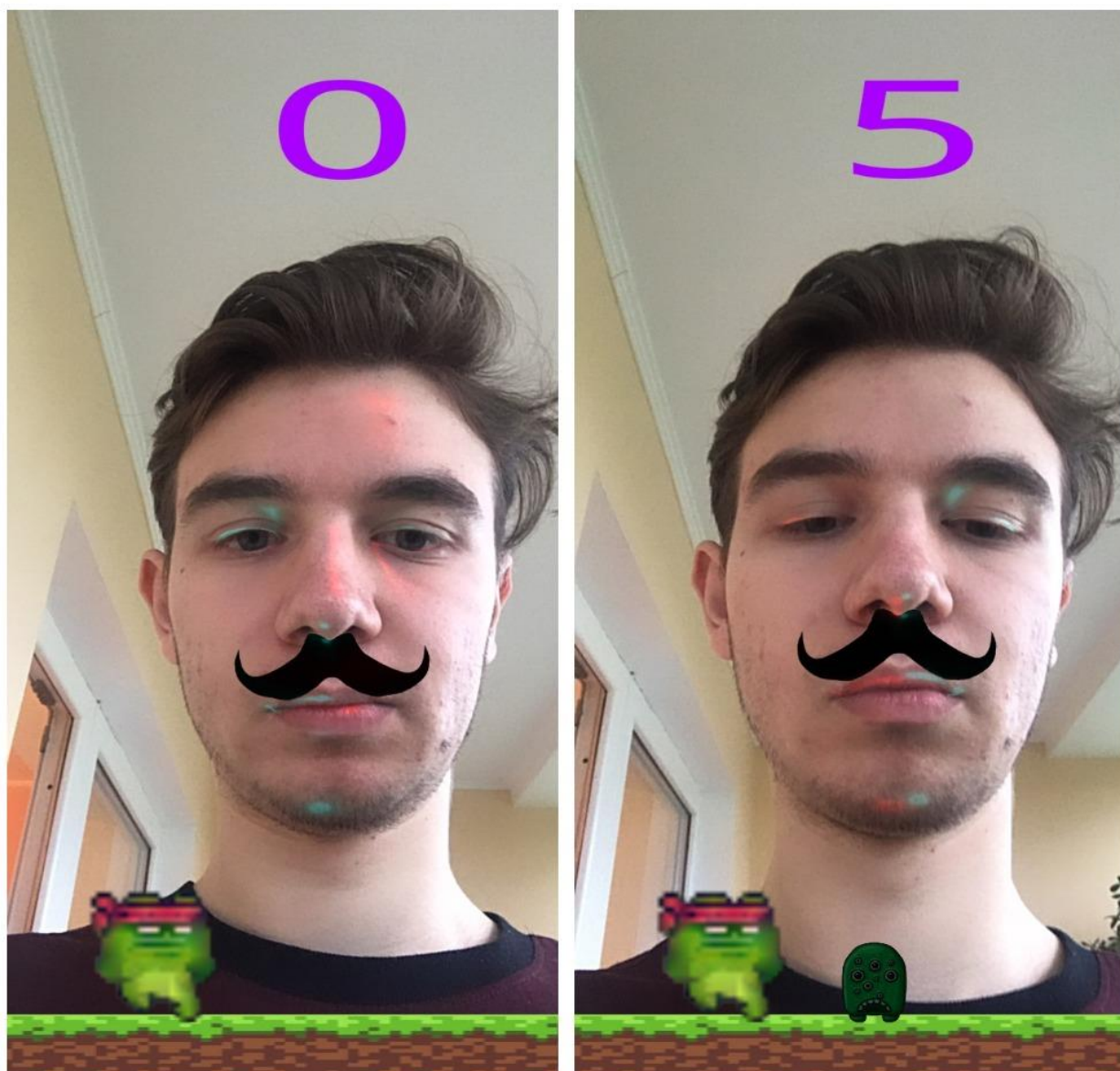


Рисунок 3.13 – Приклад класів та функцій використаних для гри

Ось і все. Застосунок готовий і чекає тестування на мобільному пристрої.



*Рисунок 3.14 – Фінальний результат роботи AR-застосунку*

### 3.3 Підсумок

Закінчивши розробку AR-застосунку, ми можемо розмістити його в соціальній мережі Instagram чи Facebook. Для цього потрібно зайти на офіційний сайт Spark AR, знайти розділ для публікування і завантажити туди свій проект. Після цього він відправиться на перевірку, де буде розглянуто його відповідність вимогам мережі. Протягом декількох днів ви отримаєте відгук і якщо він буде

позитивний, то ваш застосунок буде розміщений в соціальній мережі, де його зможе переглянути і запустити будь-хто охочий.

Попрацювавши з Spark AR, можна сказати, що це зручний метод для розробки AR-застосунків, які будуть підтримуватися усіма мобільними платформами. Він є зрозумілим на інтуїтивному рівні та дуже зручним в плані тестування, адже для цього потрібно лише скачати потрібний додаток і під'єднати телефон до комп'ютера.

У Spark AR присутні усі найсучасніші та найкорисніші функції, які необхідні для розробки AR-застосунків.



## Висновки

За останнє десятиріччя доповнена реальність стала доступною для звичайних людей, оскільки мобільні пристрої здобули необхідний рівень технічного забезпечення і стали більш доступними. З'явилися різні методи для розробки застосунків доповненої реальності. Серед них основними є Spark AR, Vuforia, ARKit, ARCore. Кожний з них має свої особливості щодо ціни та операційної системи на якій здатний працювати. Загалом дані методи мають схожі функції та інструменти для розробки доповненої реальності і відрізняються лише в декількох моментах, які не впливають на вибір даного методу.

Для розробників потрібно звертати увагу на операційні систему та ціну, яку пропонують вищезгадані методи.

## Список використаних джерел

1. Azuma R. A Survey of Augmented Reality [Електронний ресурс] / Ronald Azuma – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.
2. Як працює «доповнена реальність» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://brainberry.ua/uk/newsroom/blog/how-ar-works>.
3. Pescovitz D. “The Master Key”: L. Frank Baum envisions augmented reality glasses in 1901 [Електронний ресурс] / David Pescovitz – Режим доступу до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20130522153011/http://moteandbeam.net/the-master-key-l-frank-baum-envisions-ar-glasses-in-1901>.
4. Sutherland I. A head-mounted three dimensional display [Електронний ресурс] / Ivan Sutherland – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-head-mounted-three-dimensional-display-Sutherland/2be9b23e56ff7949113c4d3169832002ac21b2bf>.
5. Rosenberg L. The Use of Virtual Fixtures as Perceptual Overlays to Enhance Operator Performance in Remote Environments. [Електронний ресурс] / Louis Rosenberg – Режим доступу до ресурсу: <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA292450>.
6. Rosenberg L. Virtual fixtures: Perceptual tools for telerobotic manipulation [Електронний ресурс] / Louis Rosenberg – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semanticscholar.org/paper/Virtual-fixtures%3A-Perceptual-tools-for-telerobotic-Rosenberg/05f5216db65a27833be42478614b5e7e9eb3fee7>.
7. Що таке доповнена реальність? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://teach-hub.com/scho-take-dopovnena-realnist/>.
8. Augmented reality [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality).
9. Chen B. If You’re Not Seeing Data, You’re Not Seeing [Електронний ресурс] / Brian Chen – Режим доступу до ресурсу:

<https://web.archive.org/web/20101225055146/http://www.wired.com/gadgetlab/2009/08/augmented-reality/#more-22882>.

10. Possible applications [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality#Possible\\_applications](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality#Possible_applications).
11. Гончарова Н. ТЕХНОЛОГІЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ПІДРУЧНИКАХ НОВОГО ПОКОЛІННЯ [Електронний ресурс] / Наталія Гончарова – Режим доступу до ресурсу: <http://lib.iitta.gov.ua/716685/1/9c8b6a35b1ea5b7130c1ae9942824e97.pdf>.
12. Morozov M. Augmented Reality in Military: AR Can Enhance Warfare and Training [Електронний ресурс] / Michael Morozov – Режим доступу до ресурсу: <https://jasoren.com/augmented-reality-military/>.
13. Доповнена реальність [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Доповнена\\_реальність](https://uk.wikipedia.org/wiki/Доповнена_реальність).
14. Craig A. Understanding Augmented Reality / Alan Craig., 2013. – 296 с.
15. Augmented Reality System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/augmented-reality-system>.
16. Gyroscope [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>.
17. Global Positioning System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System).
18. Accelerometer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>.
19. Бернатович А. О. Методи та програмні засоби позиціонування об'єктів доповненої реальності : 121 / Бернатович Анатолій Олександрович – Київ, 2019. – 82 с.
20. Fundamental concepts [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://developers.google.com/ar/discover/concepts>.

21. Linowes J. Augmented Reality for Developers / J. Linowes, K. Babilinski // Augmented Reality for Developers / J. Linowes, K. Babilinski., 2017. – С. 14–40.
22. Introduction to ARKit [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://designcode.io/arkit-intro>.
23. ARKit [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://developer.apple.com/documentation/arkit/>.
24. Vuforia Augmented Reality SDK [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia\\_Augmented\\_Reality\\_SDK](https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia_Augmented_Reality_SDK).
25. Vuforia: Market-Leading Enterprise AR [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ptc.com/en/products/augmented-reality/vuforia#>.
26. Spark AR [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://sparkar.facebook.com/ar-studio/features/>.
27. ARToolKit [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://github.com/artoolkit/ARToolKit5>.
28. ARToolKit [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/ARToolKit>.
29. What is the Mixed Reality Toolkit [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://github.com/microsoft/MixedRealityToolkit-Unity>.
30. The State of Mobile Gaming Industry – Statistics and Trends [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.go-globe.com/mobile-gaming-industry/>.