



Д. В. Островка, В. М. Теслюк

Національний Університет "Львівська Політехніка", м. Львів, Україна

МОДЕЛЬ СИНТЕЗУ ТРИВИМІРНОГО ЗОБРАЖЕННЯ КОРИСТУВАЧА НА ПІДСТАВІ ІГРОВОГО РУШІЯ SCENEKIT ТА USDZ ФОРМАТУ ПІД ОС IOS

Подано модель синтезу 3D-аватару обличчя користувача, що використовує набір 3D-морфів та їх комбінацію. Проаналізовано ключові характеристики обличчя людини, такі як форма носа, рота та очей, і створення морфів, що відповідають цим особливостям. Отримана 3D-модель може бути доопрацьована коригуванням морфів, поки не буде досягнуто бажаного рівня точності. Розроблено тривимірну модель з урахуванням специфіки відображення 3D об'єктів на мобільній платформі так, щоб займати якомога менше пам'яті на диску та забезпечити оптимізацію при відображенні. Перевагою такого підходу є можливість створення додаткових 3D-морфів для взаємодії моделі з користувачем та відображення емоцій. Під час виконання цієї роботи проаналізовано сучасні наукові дослідження у галузі. На підставі отриманих результатів зроблено висновок щодо оптимальних підходів для синтезу тривимірного аватару користувача на платформі iOS. Базову тривимірну модель розроблено за допомогою відкритого програмного забезпечення Blender, а морфи створені для відображення емоцій користувача за допомогою техніки під назвою blend shapes. Для забезпечення сумісності та максимальної ефективності при рендерингу на мобільній ОС iOS використовується модель, подана у форматі USDZ. Також під час виконання поставленого завдання розроблено алгоритм синтезу тривимірного аватару користувача на платформі iOS з використанням саме ігрового рушія SceneKit та таких засобів, як: апаратно-прішвидшений API для 3D-графіки Metal та фреймворк для роботи з доповненою реальністю – ARKit. Використання саме цих вбудованих методів і засобів дало змогу не залежати від стороннього ПЗ, а також досягнути більшої оптимізації при відображенні та взаємодії із синтезованою моделлю порівняно з наявними аналогами. Результатом розробленої моделі та алгоритму є мобільний додаток для платформи iOS, який дає змогу користувачеві створювати власний цифровий 3D-аватар та взаємодіяти з ним, проєктуючи свої емоції обличчя на відображену модель.

Ключові слова: цифрове обличчя; тривимірне обличчя; ігровий рушій; тривимірне моделювання обличчя; цифровий аватар.

Вступ / Introduction

Синтез тривимірного зображення користувача або ж створення цифрового аватару останніми роками стає дедалі затребуваним завдяки зростанню попиту на віртуальну та доповнену реальність. 3D-цифрові аватари – це віртуальні зображення людей, що можна налаштовувати, анімувати та використання яких надає низку переваг у різних галузях науки та техніки.

В індустрії розваг цифрові 3D-аватари стали популярним способом створення захоплювальних вражень для фільмів, відеоігор і тематичних парків. Здатність створювати високореалістичних і виразних віртуальних персонажів відкрила нові можливості для розповіді історій та інтерактивності. Наприклад, розробники відеоігор можуть використовувати 3D-цифрові аватари для створення реалістичних персонажів, які можуть взаємодіяти із гравцями в режимі реального часу, створюючи більш захоплювальний і динамічний ігровий досвід користувача.

Створення 3D-цифрових аватарів також корисне в

освіті та навчанні. Наприклад, у медичній галузі 3D-цифрові аватари можна використовувати для імітації складних хірургічних процедур, даючи змогу студентам-медикам і фахівцям практикувати і вдосконалювати свої навички в безпечному і контрольованому середовищі. Аналогічно, 3D-цифрові аватари можна використовувати для імітації небезпечних або шкідливих ситуацій, таких як гасіння пожеж або ліквідація наслідків стихійних лих, щоб забезпечити практичне навчання без ризику травмування.

3D-цифрові аватари також корисні у сфері маркетингу та реклами. Компанії можуть використовувати віртуальні аватари для демонстрації своїх продуктів або послуг у більш інтерактивний та цікавий спосіб. Наприклад, компанія, що виробляє одяг, може використовувати 3D-аватар для демонстрації своїх останніх моделей одягу на віртуальному показі. Це дає змогу клієнтам побачити, як одяг виглядає і рухається в реалістичній манері, без потреби фізично приміряти його.

Окрім цього, використання 3D-цифрових аватарів може революціонізувати спосіб спілкування та взаємо-

Інформація про авторів:

Островка Дмитро Васильович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: ostrovd@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4818-3822>

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем управління.

Email: vasyi.m.teslyuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Цитування за ДСТУ: Островка Д. В., Теслюк В. М. Модель синтезу тривимірного зображення користувача на підставі ігрового рушія SceneKit та USDZ формату під ОС IOS. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 1. С. 89–94.

Citation APA: Ostrovka, D. V., & Teslyuk, V. M. (2023). Synthesis model of a three-dimensional image of a user based on the SceneKit game engine and the USDZ format for IOS. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(1), 89–94. <https://doi.org/10.36930/40330112>

дії людей один з одним, особливо у разі пандемій. З поширенням віртуальних зустрічей і віддаленої роботи 3D-цифрові аватари можна використовувати для створення привабливішого віртуального середовища для співпраці. Замість того, щоб дивитися на екран під час відеодзвінка, учасники можуть взаємодіяти у віртуальному просторі з аватарами, які можуть відображати емоції і мову тіла в реальному часі, що полегшує формування почуття спільності і зв'язку.

Водночас мобільні пристрої стають щораз потужнішими і здатними обробляти високоякісну графіку та анімацію, що відкрило нові можливості для використання 3D-цифрових аватарів у мобільних додатках. З огляду на це, створення цифрових 3D-аватарів набуває дедалі більшого значення саме на мобільних пристроях.

Результатом синтезу тривимірного зображення користувача є його рендеринг (відображення) на бажаному пристрої для подальшої взаємодії з користувачем. Процес рендерингу тривимірної графіки керується так званим ігровим рушієм. Ігровий рушій – це програмний фреймворк, призначений для полегшення розроблення відеоігор. Він надає набір інструментів і функцій, які дають змогу розробникам ігор створювати і маніпулювати ігровим контентом і створювати інтерактивний досвід користувача. Галузь розроблення налічує десятки рішень ігрових рушіїв, найпопулярніші з яких такі, як Unity та Unreal Engine, призначені для роботи на різних платформах, враховуючи мобільні, настільні та консольні комп'ютери. Ці рушії дають змогу розробникам створювати ігри один раз, а потім розгортати їх на різних платформах без потреби переписувати код для кожної платформи. Проте можливість використання рішення на багатьох різних платформах має й недоліки порівняно із вбудованими в мобільну ОС рішеннями:

- Крос-платформні ігрові рушії часто мають більші накладні витрати, ніж вбудовані рішення, що може призвести до нижчої продуктивності та більшого використання пам'яті, оскільки їх бібліотеки вимагають попереднього інтегрування в розроблюваний продукт разом з усіма залежностями. Це може бути особливо проблематично для мобільних пристроїв, які часто мають обмежену обчислювальну потужність і пам'ять.
- Вбудовані рішення дають більше можливостей для налаштування та контролю над процесом розроблення. З крос-платформним рушієм розробники можуть бути обмежені доступними функціями і не мати доступу до низькорівневих API системи, що може ускладнити реалізацію певних ігрових механік або оптимізацію продуктивності.
- Крос-платформні ігрові рушії часто складніші за вбудовані рішення, і для їх ефективного використання може знадобитися більше ресурсів та технічних знань. Це може зробити процес розроблення тривалішим і призвести до витрат часу на навчання для розробників, які ще не знайомі з рушієм.
- Вбудовані рішення, такі як SceneKit, тісно інтегровані з платформою iOS, що може полегшити роботу з іншими фреймворками та API для iOS. Крос-платформні ігрові рушії можуть потребувати додаткової роботи для інтеграції з платформою, що може додати складності та потенційних проблем із сумісністю.

Загалом вибір ігрового рушія залежить від конкретних потреб і вимог продукту, що розробляється, а також від навичок команди розробників.

Об'єкт дослідження – синтез тривимірного зображення цифрового аватару користувача.

Предмет дослідження – моделі, методи і засоби синтезу тривимірного аватару користувача в мобільному ігровому рушії.

Мета роботи – розробити модель синтезу цифрового аватару користувача на мобільному ігровому рушії.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- 1) Проаналізувати наявні рішення цього синтезу тривимірного аватару користувача загалом та на мобільних пристроях.
- 2) Розробити модель синтезу тривимірного аватару користувача.
- 3) Розробити алгоритм роботи системи синтезу тривимірного аватару користувача з урахуванням вбудованих методів і засобів.
4. Імплементувати розроблений алгоритм мовою програмування Swift з використанням вбудованих фреймворків для роботи з тривимірною графікою та ігровим рушієм SceneKit.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [2, 3, 4] розроблено методи синтезу реалістичних виразів обличчя для віртуальних аватарів за допомогою глибоких нейронних мереж. Автори пропонують фреймворк, який спочатку генерує нейтральну 3D-модель обличчя, а потім модифікує її для отримання бажаного виразу обличчя. Модифікована модель використовується для синтезу високоякісного зображення обличчя, яке відповідає вхідному виразу користувача. Автори цих робіт фокусуються на створенні виразної та реалістичної міміки для віртуальних аватарів. Хоча результати їх робіт доволі точно відображають вхідне зображення користувача, їх рішення передбачають подальше оброблення вихідних моделей 3D дизайнерами у спеціалізованих середовищах моделювання. Результати цих наукових праць не надають рішень з інтегрування отриманих моделей в конкретні ігрові рушії чи платформи. Також у цих працях не описано уніфікованих підходів для створення емоцій аватарів, таких як посмішка чи кліпання очима.

Варто зазначити, що в роботі [2] також розроблено мобільний додаток під платформу iOS, що дає змогу відообразити результати роботи розробленої моделі. Ігровим рушієм для рендерингу в розглянутому додатку є Unity, що на відміну від розробленого в цій роботі рішення значно збільшує розмір мобільного застосунку. Також розглянуте рішення не взаємодіє і як результат не відображає емоцій користувача.

Роботи [1, 7, 8] базуються на методі отримання одного чи кількох 2D-зображень обличчя користувача, зокрема за допомогою камери мобільного телефону, які потім використовують для генерації 3D-сіткової моделі обличчя. У цих статтях пропонуються схожі алгоритми, які інтерполюють не ключові точки обличчя користувача, що знаходяться між ключовими точками. Цей підхід дає змогу сформувати геометричну сітку вхідного обличчя користувача. Рішення, розроблені в розглянутих статтях відрізняються своєю швидкістю порівняно з працями, пов'язаними з алгоритмами на базі глибоких нейронних мереж. Це відповідно важливо під час розроблення продуктів для мобільних пристроїв, оскільки потрібно враховувати обмеження обчислювальної потужності та пам'яті, що доступна в смартфонах. Проте ці наукові праці також не передбачають наявності уніфікованих рішень для інтерактивного маніпулювання моделями користувачем. Проблеми оптимізації синтезу тривимірних моделей на мобільних пристроях [1] розглянуто тільки на етапі створення моделі та без урахування специфіки платформ та ігрових рушіїв, що можуть бути використані для їх відображення.

Відповідно, розроблена модель синтезу з урахуванням оптимізації рендерингу моделей саме на мобільних пристроях та вбудованих інструментах задля підвищення продуктивності під час відображення 3D аватару, є актуальним завданням сьогодення.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Побудова моделі. Розроблена в цій роботі модель передбачає створення базової 3D-моделі обличчя, яка використовуються як основа для створення 3D-морфів, що можуть бути застосовані до цільового обличчя. Процес охоплює аналіз ключових особливостей обличчя людини, таких як форма носа, рота та очей, і створення морфу, який відповідає цим особливостям. Отримана 3D-модель може бути доопрацьована коригуванням морфів, поки не буде досягнуто бажаного рівня точності. Налаштовуючи різні морфи, можна створити 3D-модель обличчя з високою деталізацією та можливістю її видозміни.

Головною перевагою такого підходу, порівняно з наявними в галузі, є можливість створити додаткові 3D-морфи для взаємодії моделі і користувача та відображення його емоцій. У такий спосіб користувач має змогу синтезувати тривимірну модель свого обличчя та використати додатково змодельовані морфи для відображення емоцій, міміки та навіть створення ефекту говоріння губами. Алгоритм моделі реалізації синтезу тривимірного зображення користувача схематично подано на рис. 1.

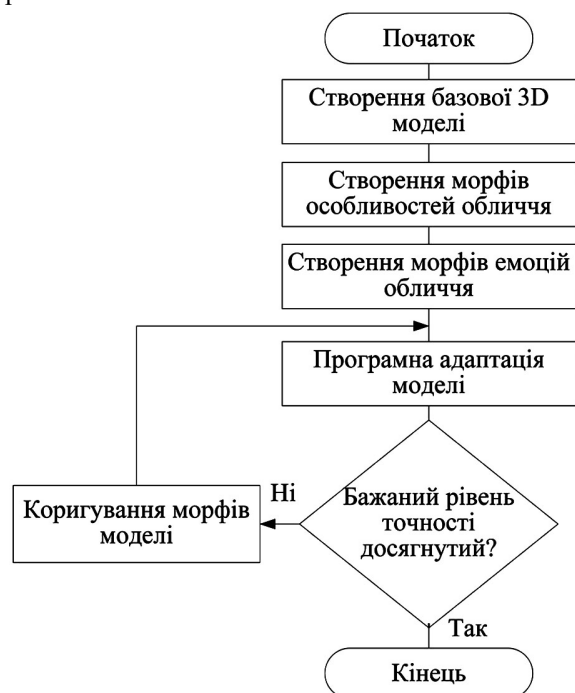


Рис. 1. Модель синтезу тривимірного зображення користувача /
Model for synthesis of a three-dimensional image of a user

Базова тривимірна модель розроблялася за допомогою відкритого програмного забезпечення Blender. Оскільки надалі модель має на меті використовуватися на мобільній платформі, то задля забезпечення оптимізації модель не повинна містити надто велику кількість вершин та полігонів.

Під час створення морфів особливостей обличчя задаються можливі геометричні форми різних частин обличчя, таких як ніс, рот, підборіддя, форма голови, фор-

ма очей. Ці морфи дають змогу користувачу адаптувати модель під свої параметри вже на етапі відображення моделі на мобільному пристрої.

На етапі моделювання потрібно розробити морфи для відображення емоцій користувача. Цю техніку називають змішуванням форм (blend shapes), яка також відома як фігурні ключі (shape keys) або морфінг-цілі (morph targets), використовується в 3D-комп'ютерній графіці для створення анімації або деформації обличчя. Змішування форм дає змогу створити базову сітку, яка потім деформується або змінюється шляхом накладання різних фігур або об'єктів для створення різних виразів обличчя або міміки. Обличчя персонажа моделюється з нейтральним виразом як базова сітка, а потім створюється набір змішуваних форм, щоб змінити певні ділянки обличчя для створення різних виразів, таких як, посмішка чи насуплене обличчя. Змішуючи різні кількості кожної з форм, створюється широкий спектр виразів обличчя. Разом з комбінацією морфів особливостей обличчя у користувача є можливість відобразити велику варіацію унікальних емоцій на тривимірній моделі.

Згідно з результатами в роботах [5, 6] задля забезпечення сумісності та найбільшої ефективності під час рендерингу на мобільній ОС iOS важливо використовувати моделі, подані у форматі USDZ. Під час експорту 3D-моделі з Blender'a до формату USDZ може виникнути низка потенційних проблем, зокрема колізії та складки (деформації) моделі. Колізії виникають, коли два або більше об'єктів у сцені перетинаються або накладаються один на одного, що призводить до небажаних візуальних артефактів або навіть помилок візуалізації. Складки можуть виникати під час поділу або згладжування сітки, що призводить до появи видимих складок або гострих країв, яких немає у вихідній моделі. Задля уникнення таких проблем у цій роботі використано програмні методи адаптації розробленої моделі. Під час програмної адаптації структура вхідної тривимірної моделі модифікується в читабельний для ігрового рушія SceneKit вигляд, в іншому разі розроблені морфи будуть нерозпізнаними в рушії і як наслідок – їх неможливо буде використати.

Синтез алгоритму роботи системи. Під час виконання цієї роботи розроблено алгоритм роботи системи синтезу тривимірного аватару користувача з урахуванням вбудованих методів і засобів в ОС iOS. Цей алгоритм (рис. 2) складається з таких кроків:

Крок 1. Оскільки вихідна тривимірна модель уже попередньо адаптована і збережена у форматі USDZ, вона може бути легко портована в iOS додаток.

Крок 2. Зчитування моделі у підтримуваному форматі USDZ також відбувається на рівні системи і не вимагає додаткових налаштувань. Результатом цього кроку є створення об'єкта SCNNode, що представляє тривимірну модель.

Крок 3. Наступним кроком є рендеринг (відображення) об'єкту SCNNode за допомогою ігрового рушія SceneKit.

Крок 4. Оскільки адаптація моделі проводилася з урахуванням наявності 3D-морфів, а ігровий рушій SceneKit їх підтримує, морфи можуть бути знайдені для подальшого налаштування в об'єкті SCNNode. На цьому етапі роботи алгоритму налаштовуються всі вагові коефіцієнти морфів особливостей обличчя (носа, очей і т.ін.) до бажаного рівня користувача. Вагові коефіцієнти в ігрових рушіях зазвичай мають значення від 0 до 1, що інтерполюються.

Крок 5. Наступним кроком роботи алгоритму є отримання даних вагових коефіцієнтів емоцій користувача від фреймворку, для роботи з AR/VR, ARKit'a. Отримані коефіцієнти потрібно застосувати для розроблених на етапі моделювання змішаних форм (blend shapes). На цьому етапі синтезована та налаштована модель користувача буде віддзеркалювати всю його міміку в режимі реального часу.



Рис. 2. Алгоритм роботи системи синтезу тривимірної аватару користувача на платформі iOS / Algorithm of the system for synthesizing a three-dimensional user avatar on the iOS platform

Структура розробленої системи під ОС iOS (рис. 3) охоплює такі вбудовані в систему методи та засоби, як ігровий рушій SceneKit, апаратно-пришвидшений API для 3D-графіки Metal, а також фреймворк для роботи з AR/VR – ARKit, що відповідає за розпізнавання обличчя користувача та отримання даних його міміки. Також у розробленій структурі використовується синтезована тривимірна модель у форматі USDZ, що за допомогою алгоритмів взаємодії налаштовується під індивідуальні вимоги користувача.



Рис. 3. Структура розробленої системи / Structure of the developed system

Результатом розроблених моделі та алгоритму є мобільний застосунок під платформу iOS, написаний на

мові програмування Swift, що дає змогу користувачу створити власний цифровий 3D-аватар, а також взаємодіяти з ним проєктуванням емоцій свого обличчя на відображену модель. Інтерфейс, а також приклад синтезу зображено на рис. 4. Як видно з цього рисунка, користувач має змогу за допомогою 3D-морфів змінити геометрію обличчя базової моделі. Як уже відомо, ці морфи придатні до коригування та масштабування залежно від продуктових вимог.

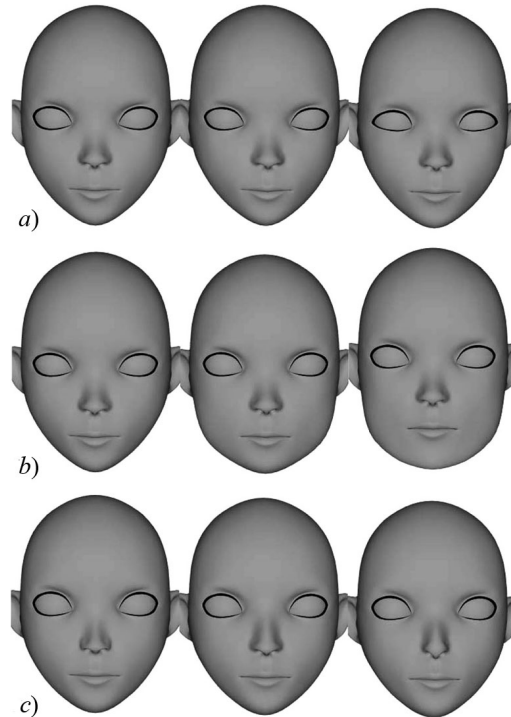


Рис. 4. Приклад налаштування різних морфів цифрового аватару / An example of adjusting different morphs of a digital avatar: a – налаштування форми очей / row adjusting the shape of the eyes; b – налаштування форми підборіддя / row adjusting the shape of the chin; c – налаштування форми носа / row adjusting the shape of the nose

Приклад віддзеркалення емоцій користувача за допомогою вбудованих у систему засобів та розроблених геометричних форм подано на рис. 5. Як видно з цього рисунка, модель може відображати велику комбінацію розпізнаних форм обличчя користувача.

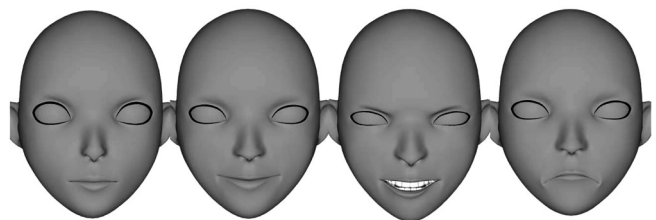


Рис. 5. Приклад віддзеркалення різних емоцій користувача на цифровому аватарі, зліва на право – вхідне положення морфів, емоція посмішки, емоція злості, емоція смутку / An example of displaying different user emotions on a digital avatar, from left to right – the input position of morphs, the emotion of smile, the emotion of anger, the emotion of sadness

Вбудовані засоби ARKit дають змогу одночасно розрізняти до 52 геометричних форм, таких як рівень відкритості лівого/правого ока, рівень зімкнутості губ і т.ін. Як і у випадку морфів налаштування обличчя, морфи геометричних форм також можуть бути відкориговані для більш чи менш несамовитого результату вираження емоцій користувача.

Обговорення результатів дослідження. Порівняно з рішеннями синтезу, наданими в роботах [2, 3, 4], розроблена модель в цій роботі дає користувачу можливість видозмінити налаштування різних елементів обличчя на власний розсуд завдяки створенню відповідних 3D-морфів. Також варто зазначити, що ці морфи можуть бути відкориговані та розширені, з подальшою заміною моделі в системі без потреби внесення змін в алгоритми роботи системи, що робить її гнучкою до масштабування та змін.

Розроблена система використовує саме вбудовані засоби та методи відображення моделей, такі як ігровий рушій SceneKit та USDZ формати файлів. Порівняно з мобільним застосунком у роботі [2], що використовує ігровий рушій Unity, розроблене рішення не вимагає підключення сторонніх бібліотек, і як наслідок – залежності від сторонніх розробників ПЗ, а також дає змогу зменшити обсяг вихідного розміру застосунку. Хоча порівнюваний застосунок також містить додатковий функціонал і не можна сказати скільки точно пам'яті на диску займає саме алгоритм синтезу з використанням рушія Unity, загалом додаток займає близько 300 мб порівняно з ~80 Мб у рішенні, розробленому в ході цієї роботи. Також під час Unity розробки часто використовуються fbx формати файлів для відображення тривимірної моделі. Згідно з дослідженнями в роботі [6] використання USDZ-файлів є оптимальнішим та займає менше місця на диску.

Синтез (від грец. συνθεσις – поєднання, з'єднання, складання) – поєднання абстрагованих сторін предмета і відображення його як конкретної цілісності. Це метод вивчення об'єкта дослідження в його цілісності, у єдиному і взаємному зв'язку його частин. У процесі виконання наукових досліджень синтез пов'язаний з аналізом, оскільки дає змогу поєднати частини предмета, розчленованого у процесі аналізу, встановити їх зв'язок і пізнати предмет як єдине ціле.

Методи синтезу, розроблені в роботах [1, 7, 8], хоча і використовують схожий підхід до створення моделі користувача, проте не описують створення уніфікованих морфів емоцій (blend shapes) так, щоб їх можна було комбінувати з різними налаштуванням морфів зміни обличчя. Також у зазначених роботах [7, 8] не беруть до уваги мобільні платформи для впровадження розроблених методів і як наслідок – не обговорюється питання оптимізації відображення чи взаємодії з тривимірною моделлю. Робота [1], хоча й спрямована на оптимізацію під мобільні платформи, проте методи та засоби для покращення продуктивності синтезу разом зі специфікою конкретних платформ висвітлено частково.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено модель рендерингу тривимірного зображення користувача, яка ґрунтується на використанні ігрового рушія SceneKit, що унеможливорює використання стороннього ПЗ та дає змогу зменшити розмір мобільного застосунку та підвищити його швидкість, а також метод синтезу тривимірного зображення користувача на підставі USDZ-формату, що зменшує розмір тривимірного об'єкта аватару на ОС iOS порівняно з аналогами.

Практична значущість результатів дослідження – можливість використання розробленої системи для інтегрування в наявні продуктові рішення, щоб посилити користувацький досвід взаємодії з мобільним застосунком, підвищити час перебування користувача в додатку, а також для надання додатку елементів гейміфікації, тобто процесу застосування ігрових елементів і механік у неігрових контекстах.

Висновки / Conclusions

Отже, проаналізовано наявні рішення синтезу тривимірного аватару користувача в галузі та на мобільних пристроях. Подано гіпотезу щодо можливого оптимізованого рішення синтезу на мобільних платформах. Сформовано мету та основні завдання дослідження для перевірки гіпотези, що успішно виконані під час наукового дослідження.

Розроблено метод синтезу тривимірного обличчя користувача з використанням 3D-морфів. Важливо було не тільки розробити спосіб створення цифрового аватару, але й алгоритми їх продуктивного відображення та взаємодії з користувачем. Для цього використано вбудовані методи та засоби ОС iOS, а саме ігровий рушій SceneKit та підтримуваний формат представлення тривимірної моделі USDZ. Такий підхід дав змогу створити оптимізовану систему, що порівняно з аналогами займає менше пам'яті на диску. Також завдяки взаємодії ігрового рушія безпосередньо з низькорівневим API апаратного пришвидшення для 3D-графіки досягається найбільш можливий показник якості відображення моделі.

Результатом цієї роботи є мобільний застосунок під iOS платформу, що імплементує розроблену модель синтезу та алгоритм його роботи, що дає змогу користувачу створити власний цифровий аватар, а також взаємодіяти з ним відображаючи емоції користувача в режимі реального часу.

Ці рішення можна використовувати для широкого спектра застосувань, зокрема в індустрії розваг, відеоіграх та системах доповненої і віртуальної реальності. Також створення цифрових аватарів розробленими методами можна використовувати в різних готових рішеннях для покращення користувацького досвіду та збільшення часу, проведеного користувачем в мобільному застосунку.

References

1. Anbarjafari, G., Haamer, R. E., Lusi, I., Tikk, T., & Valgma, L. (2017). 3D face reconstruction with region based best fit blending using mobile phone for virtual reality based social media. *arXiv preprint arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.01089>
2. Lattas, A., Moschoglou, S., Gecer, B., Ploumpis, S., Triantafyllou, V., Ghosh, A., & Zafeiriou, S. (2020). AvatarMe: Realistically Renderable 3D Facial Reconstruction "in-the-wild". In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 760–769. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00084>
3. Lee, G. H., & Lee, S. W. (2020). Uncertainty-aware mesh decoder for high fidelity 3D face reconstruction. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 6100–6109. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00614>
4. Luo, H., Nagano, K., Kung, H. W., Xu, Q., Wang, Z., Wei, L., & Li, H. (2021). Normalized avatar synthesis using stylegan and perceptual refinement. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 11662–11672. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.11423>

5. Ostrovka, D., & Teslyuk, V. (2020). The Analysis of File Format Conversion Tools for Storing 3D Objects for the iOS Platform. *MoML&T&DS*, Ukraine, Lviv.
6. Ostrovka, D., Teslyuk, T., Vesely, P., & Protsko, I. (2019). The Analysis and Comparison of File Formats for Constructions of iOS Three-dimensional Objects for Augmented Reality Systems. *DCSMart*, 325–334.
7. Wu, T., Zhou, F., & Liao, Q. (2016, March). A fast 3D face reconstruction method from a single image using adjustable model. In 2016 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 1656–1660. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2016.7471958>
8. Zhang, Q., & Shi, L. (2012). 3D face model reconstruction based on stretching algorithm. In 2012 *IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems*, 1, 197–200. <https://doi.org/10.24425/bpas.2019.127341>

D. V. Ostrovka, V. M. Teslyuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

SYNTHESIS MODEL OF A THREE-DIMENSIONAL IMAGE OF A USER BASED ON THE SCENEKIT GAME ENGINE AND THE USDZ FORMAT FOR IOS

This study introduces a novel approach for creating a 3D avatar of a user's face by utilizing a set of 3D morphs. The method involves analyzing important facial features such as the shape of the nose, mouth, and eyes, and constructing morphs matching these features to create a 3D model that can be fine-tuned for accuracy. The model has been optimized for mobile devices taking into account disk space and display performance. Furthermore, the model is capable of expressing emotions through additional morphs enabling users to interact with and display their emotions on the model. While working on this paper, extensive research was conducted in the field and the best method for synthesizing a 3D avatar on the iOS platform was established. The basic 3D model was created using open-source software Blender, and blend shapes were utilized to represent the user's emotions. To ensure compatibility and efficiency on the iOS mobile platform, the model was rendered in USDZ format. An algorithm was developed for synthesizing the 3D avatar on the iOS platform using the SceneKit game engine and the ARKit framework for augmented reality. The algorithm includes steps such as reading the model in USDZ format, rendering the model using the SceneKit game engine, customizing the model by adjusting the weighting factors of facial feature morphs, and obtaining the weighting coefficients of user emotions from the ARKit framework. In this study, a mobile application was developed that allows users to create and interact with their own digital 3D avatar by projecting their facial emotions onto the displayed model. The application demonstrates the user's ability to change the geometry of the face of the base model using 3D morphs and display a wide range of emotions on the model through the interface and examples of synthesis.

Keywords: digital face; 3D face; game engine; 3D face modelling; digital avatar.