



Д. В. Островка, В. М. Теслюк

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

МЕТОД МОДИФІКАЦІЇ ГЕОМЕТРІЇ 3D-ПОВЕРХОНЬ В USDZ-ФОРМАТІ З ПОДАЛЬШИМ ВПРОВАДЖЕННЯМ В ІГРОВИЙ РУШІЙ SCENEKIT

Запропоновано метод модифікації геометрії 3D-поверхонь для ігрового рушія SceneKit на платформі iOS. Представлений метод базується на поєднанні готової 3D-моделі та її програмної адаптації в режимі реального часу, що дає змогу користувачеві коригувати синтезовану модель. Алгоритм методу містить попереднє створення набору морфів рис людського обличчя, що дає змогу наповнити 3D-модель великою кількістю геометричних комбінацій, зберігши при цьому розмір вихідної моделі відносно невеликим для портування на мобільну операційну систему. Розроблений набір морфів може бути модифікований та розширений за потреби без додаткових змін у логіці програмної частини. У дослідженні також представлено алгоритм роботи системи, що дає змогу користувачу протестувати розроблений метод на мобільній платформі. Ця система є ефективною і може бути використана в рішеннях доповненої та віртуальної реальності, оскільки процес рендерингу виконується за допомогою ігрового рушія SceneKit. Розроблена система є масштабованою і, завдяки використанню формату USDZ, має оптимізоване зберігання морфів порівняно з поширеними в індустрії форматами, такими як Collada або FBX. Використовуючи можливості формату USDZ, 3D-модель створюється з меншою вагою, що в кінцевому підсумку приводить до скорочення часу завантаження та покращення загальної продуктивності. Отримані результати демонструють, що метод дає змогу унікально видозмінити цифровий 3D-аватар у спосіб модифікації геометрії поверхонь моделі. Запропонований метод вирішує проблему продуктивності рендерингу на мобільних пристроях, що є важливим для досягнення кращого користувацького досвіду і може привести до покращення ефективності відображення цифрових аватарів.

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

Вступ / Introduction

Синтез тривимірної моделі обличчя користувача (3D morphable model), далі цифрового аватару, стає дедалі актуальнішою темою в сучасному технологічному середовищі. Оскільки світ стає щораз більш цифровим, здатність точно моделювати і представляти людські обличчя в 3D-просторі стала важливою сферою досліджень для багатьох галузей, враховуючи комп'ютерний зір, тривимірну графіку і штучний інтелект. За допомогою потужних алгоритмів машинного навчання і передових методів 3D-сканування стало можливим створювати високодеталізовані і реалістичні 3D-моделі людських облич, які можна використовувати в широкому спектрі застосувань.

Сучасні підходи у створенні 3D-моделей обличчя користувачів досягають різних рівнів реалістичності – від реалістичного до мультиплікаційного або напівреалістичного. Хоча реалістичні 3D-моделі найточніше від-

творюють людське обличчя та можуть бути кращим рішенням для певних застосувань, таких як медичні симуляції, їх синтез та використання може бути пов'язане з етичними проблемами. Наприклад, створення реалістичної 3D-обличчя людини без її згоди може бути порушенням її приватного життя. Крім цього, використання таких моделей для певних цілей, як видавання себе за когось або створення фальшивих відео, може мати негативні наслідки для особи, чие обличчя було використано в моделі. Також для синтезу реалістичної 3D-моделі обличчя може знадобитися значна кількість детальних і персональних даних, таких як високоякісні фотографії, відео та 3D-скани, щоб точно передати всі особливості рис обличчя людини. Питання культурно-етичних упереджень при синтезі реалістичних цифрових аватарів привертає увагу як потенційна проблема в низці останніх досліджень [2]. Згорткові мережі, які навчають на конкретних наборах даних, можуть мати труднощі з точним моделюванням осіб з темним відтін-

Інформація про авторів:

Островка Дмитро Васильович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління.

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

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

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

Цитування за ДСТУ: Островка Д. В., Теслюк В. М. Метод модифікації геометрії 3D-поверхонь в USDZ-форматі з подальшим впровадженням в ігровий рушій SceneKit. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 2. С. 67–72.

Citation APA: Ostrovka, D. V., & Teslyuk, V. M. (2023). Method for modifying the geometry of 3D surfaces in USDZ format with further implementation in the SceneKit game engine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(2), 67–72. <https://doi.org/10.36930/40330209>

ком шкіри, що призводить до упереджених або неточних результатів. Пом'якшення цих проблем потребує диверсифікації навчальних даних і постійного врахування етичних міркувань упродовж усього процесу створення і використання цифрових аватарів. З іншого боку, мультиплікаційні або напівреалістичні аватари можуть запропонувати певний захист від низки етичних проблем, оскільки їх з меншою ймовірністю можна сплутати з реальними людьми, а також набагато легше програмно адаптувати кольори моделі.

Іншою проблемою синтезованих тривимірних аватарів є процес редагування геометрії сітки через обмеження статистичних моделей, що використовуються для генерації цих моделей. Ці моделі ґрунтуються на великих наборах даних 3D-сканів і можуть мати різні артефакти, невідповідності та неоднорідну геометрію, що може ускладнити редагування. Окрім цього, згенеровані цифрові аватари можуть не мати узгодженої топології, що ще більше ускладнює процес редагування сітки.

Незважаючи на істотний прогрес у дослідженнях синтезу тривимірних аватарів за останні роки, питанню продуктивності рендерингу аватарів на мобільних пристроях не було приділено належної уваги. Зі зростанням популярності мобільних пристроїв як платформи для споживання 3D-контенту особливо у рішеннях з використанням доповненої реальності [9], оптимізовані 3D-моделі, а також рішення з їх ефективного відображення на цих пристроях, стали необхідністю.

При відображенні 3D-контенту на мобільних пристроях розмір 3D-моделей є важливим аспектом, що впливає на ефективність рендерингу та користувацький досвід при взаємодії з моделями. Щоб забезпечити ефективне використання дискового простору на мобільних пристроях зі збереженням необхідної якості рендерингу, 3D-моделі аватару користувача повинні забезпечувати баланс між розміром моделі і повнотою даних, що в ній містяться. Досягнення такого балансу є складним завданням, оскільки зменшення розміру моделі часто призводить до погіршення якості форми [7], що значно знижує їхню ефективність та негативно впливає на користувацький досвід. Тому вкрай важливо розробити методи, які можуть оптимізувати розмір тривимірних цифрових аватарів без шкоди для їхньої точності та якості. Ці методи повинні бути розроблені з метою оптимальної роботи на мобільних пристроях з їх обмеженою обчислювальною потужністю та ресурсами пам'яті. Завдяки такій оптимізації можна досягнути покращення в зручності взаємодії та ефективності відображення цифрових аватарів на мобільних пристроях, що може допомогти у вирішенні низки продуктивних завдань. До прикладу, збільшення рівня залученості та утримання користувачів продукту або ж навіть до більш широкого використання цих рішень на платформі.

Ця робота фокусується на розробленні методів модифікації геометрії цифрових аватарів користувача з урахуванням проблеми продуктивності рендерингу тривимірних об'єктів на мобільних платформах.

Об'єкт дослідження – процес модифікації геометрії 3D-поверхонь для ігрового рушія SceneKit.

Предмет дослідження – метод та засоби модифікації геометрії 3D-поверхонь для ігрового рушія SceneKit.

Мета роботи – підвищити ефективність процесу модифікації геометрії 3D-поверхонь на підставі розроблення методу для ігрового рушія SceneKit.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*:

1. Провести літературний аналіз методів модифікації геометрії 3D-поверхонь.
2. Розробити метод модифікації геометрії 3D-поверхонь для ігрового рушія SceneKit.
3. Розробити алгоритм роботи системи з використанням методу в пункті 2.
4. Дослідити розроблений метод модифікації геометрії 3D-поверхонь в ігровому рушії SceneKit на платформі iOS.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У дослідженнях, сфокусованих на фотореалістичній 3D-реконструкції обличчя [3, 6, 11] зазвичай використовують системи штучних нейронних мереж та власні методи захоплення та реконструкції детальних 3D-моделей людських облич, що дає змогу досягти високого рівня реалістичності та кастомізації. Зазвичай вони [6] використовують перетворення 2D-зображення користувача, щоб створити тривимірну сітку, або ж навіть згортки нейромережі в 3D-сітковому просторі безпосередньо [3, 11]. Хоча такий підхід наразі показує найбільш реалістичний результат у галузі, такі рішення все ще мають низку недоліків, які взято до уваги у методах, розроблених у цій роботі. Так, до прикладу, складність правильного відтворення темних відтінків шкіри, що пов'язано з наборами даних, які використовують під час навчання нейромереж. Окрім цього, існує етичне занепокоєння щодо можливості використання фотореалістичних 3D-моделей у шкідливих цілях.

Альтернативною фотореалістичним 3D-реконструкціям є синтез тривимірних карикатурних облич, які враховують спотворення та перебільшення певних рис обличчя для комедійного чи художнього ефекту [1, 15, 16]. Хоча такий результат може бути бажаним в деяких галузях, таких як розваги або реклама, результати таких методів дуже вузькоспеціалізовані та мають багато обмежень у використанні, до прикладу, у медичній візуалізації чи у випадках реклами товарів та послуг у сфері краси. Важливо також зазначити, що екстремальність і нереалістичність спотворення потрібно враховувати під час розроблення етичних продуктів. Це особливо важливо для того, щоб гарантувати, що ці рішення не матимуть ненавмисних негативних наслідків. Дана робота пропонує методи, які враховують ці етичні наслідки, що дає змогу розробляти продукти та рішення, які є не тільки ефективними, але й етичними.

Найбільш схожими до рішень, розроблених в цій роботі, є дослідження, пов'язані зі створенням напівреалістичних 3D-аватарів. Деякі з них також використовують підходи тренування власних нейромереж для визначення характеристик обличчя користувача та створення тривимірної моделі, як-от у роботах [5, 14]. У роботі [12] ці рішення посилюються пошуком найбільш відповідних властивостей образу користувача серед наявних у бібліотеці тривимірних моделей, таких як окуляри, волосся на голові чи на обличчі. Однак важливо зазначити, що автори згаданих робіт не розглянули можливість змінювати або налаштовувати отримане 3D-обличчя, а також залишили відкритим питання щодо віддзеркалення міміки користувача для систем доповненої чи віртуальної реальності. Робота [4] хоча й націлена на фотореалістичну 3D-реконструкцію обличчя, також розглядає питання відображення міміки користувача, але дещо в інший спосіб, ніж у цій роботі.

Також у згаданій роботі розглядають мобільний пристрій для більш мобільного і доступного способу синтезу обличчя, проте він використовується тільки в ролі пристрою зчитування, тоді як усі обчислення і сам синтез відбувається на ПК.

Варто зазначити, що всі дотичні роботи фокусуються на створенні тривимірної моделі обличчя користувача, але зазвичай не описують проблеми інтеграції в конкретний ігровий рушій та засобів взаємодії користувача із синтезованим обличчям, особливо на мобільних пристроях.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Розроблення методів модифікації геометрії 3D-поверхонь в USDZ-форматі. Розроблений метод базується на поєднанні готової 3D-моделі та її програмної адаптації. Цей підхід відрізняється від попередніх досліджень, які поклалися виключно на повністю програмні реалізації і як результат дає користувачу можливість коригування синтезованої моделі.

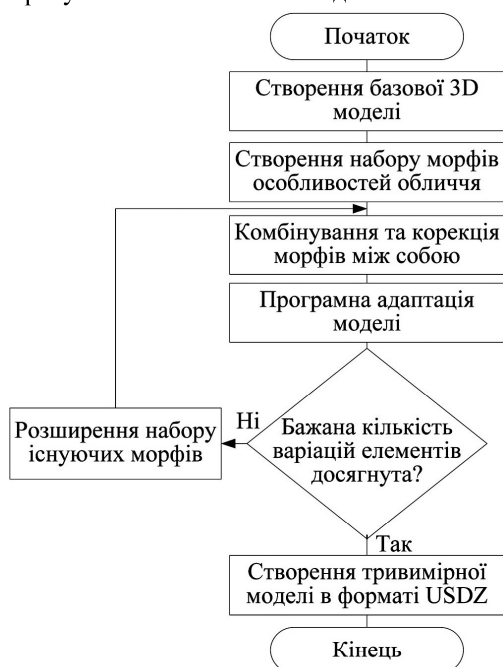


Рис. 1. Алгоритм методу модифікації поверхонь в USDZ-файлі / Algorithm of the method of surface modification in a USDZ file

Алгоритм розробленого методу (рис. 1) охоплює попереднє створення набору морфів особливостей обличчя людини. Це дає змогу наповнити тривимірну модель великою кількістю геометричних комбінацій зберігаючи розмір вихідної моделі відносно невеликим для портування на мобільну ОС (5 Мб без урахування набору текстур). Під час виконання роботи розроблено набір морфів, що використовуються для створення унікальних конфігурацій різних елементів обличчя, таких як ніс, очі, губи, щоки, форма брів та підборіддя. Цей набір подано такою формулою: де S – набір, що містить усі морфи; w_i – ваговий коефіцієнт налаштування конкретного морфа; M_i – геометричне представлення кожного розробленого морфа обличчя користувача; i – кількість морфів:

$$L_{model} = \sum_{i \in S} w_i m_i.$$

Оскільки налаштування вагових коефіцієнтів одного морфа призводить до зміни геометричної сітки моделі,

то формула представлена сумою морфів, оскільки видозміна одного з них буде геометрично впливати на всі інші наявні морфи.

Варто зазначити, що наведений набір морфів може бути видозмінений та розширений за потреби. До того ж зміни на рівні моделі не вимагатимуть додаткових змін логіки реалізації програмної частини.

Базова модель та набір морфів особливостей обличчя людини розроблені за допомогою відкритого програмного забезпечення Blender. Мета цієї роботи передбачає використання розробленої моделі саме на мобільному пристрої, тому тривимірні файли повинні підтримуватися системним ігровим рушієм. Згідно з дослідженнями в роботі [8] формат USDZ найбільш оптимальний для портування на мобільну ОС iOS, а також підтримується вбудованими ігровими рушіями. Проте в роботі [7] досліджують проблеми експортування тривимірних моделей із середовищ їх розроблення у формат USDZ, як-от утворення складок (деформації геометрії) і проблеми відображення анімації моделей. Також у процесі цього дослідження виявлено проблеми представлення розроблених морфів у вихідному файлі тривимірної моделі у USDZ-форматі. Для вирішення перелічених проблем конвертації використано програмні засоби адаптації тривимірної моделі.

Згідно з результатами в роботах [7, 8] 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.

Алгоритм роботи розроблених методів. Під час виконання роботи розроблено алгоритм роботи системи модифікації тривимірних поверхонь аватара користувача з урахуванням вбудованих методів і засобів в ОС iOS. Розроблений алгоритм складається з таких основних кроків:

Крок 1. Портування тривимірної моделі на операційну систему iOS.

Крок 2. Зчитування тривимірної моделі у USDZ-форматі ігровим рушієм SceneKit та створення об'єкта представлення моделі в систему типу SCNNode.

Крок 3. Пошук усіх наявних морфів у моделі. Морфи, що розроблені на етапі моделювання та відповідають за налаштування особливостей обличчя користувача (форми носа, очей і т.ін.), групуються в набори даних для налаштування в наступних кроках.

Крок 4. Рендеринг об'єкта SCNNode тривимірної моделі за допомогою ігрового рушія SceneKit.

Крок 5. За допомогою взаємодії з інтерфейсом налаштування, виконати конфігурування наявних наборів мор-

фів допоки точність відображення аватару не буде задовольняти користувача.

Блок-схему алгоритму роботи системи модифікації геометрії тривимірного аватару користувача на платформі iOS зображено на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм роботи системи модифікації тривимірних поверхонь аватару користувача / Algorithm of the system of modification of three-dimensional surfaces of the user's avatar

Результатом розробленого методу та алгоритму є мобільний застосунок під iOS платформу. Застосунок розроблено мовою програмування Swift, що дає змогу користувачу унікально налаштувати цифровий 3D-аватар у спосіб модифікації геометрії поверхонь моделі. Приклад роботи розробленого методу подано на рис. 3 та на рис. 4. Як можна побачити з рис. 4, геометрична сітка моделі змінюється відповідно до налаштувань вагових коефіцієнтів морфів, що задається користувачем.

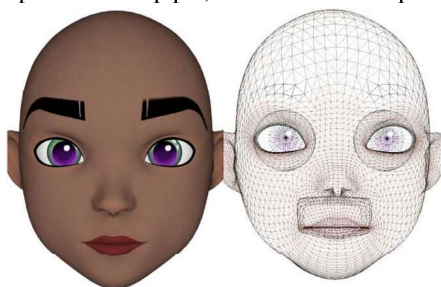


Рис. 3. Базовий вигляд моделі аватару та геометричної сітки моделі / Basic view of the avatar model and the geometric mesh of the model

Варто зазначити, що набір розроблених морфів може бути видозмінений та доповнений новими наборами, для того, щоб дати змогу користувачу налаштувати нові елементи обличчя, до прикладу – зморшки на лобі тощо. Розроблена система придатна до масштабування та завдяки використанню формату USDZ оптимізовано зберігає морфи порівняно з поширеними форматами в галузі, як от Collada чи FBX.

Розроблена система може бути впроваджена в рішення доповненої та віртуальної реальності, оскільки процес рендерингу відбувається засобами ігрового рушія SceneKit. У поєднанні зі системною бібліотекою ARKit, ігровий рушія дає змогу відображати та маніпулювати тривимірними моделями в реальному світі.

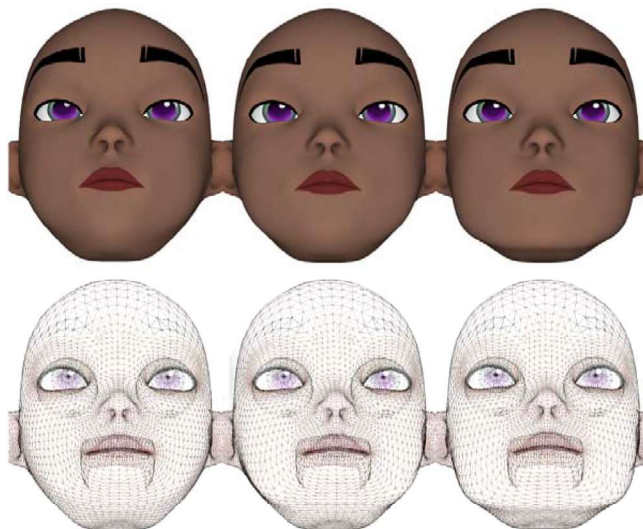


Рис. 4. Приклад модифікації поверхонь моделі: зверху – текстурована модель; знизу – геометрична сітка моделі / An example of modifying model surfaces, top – textured model, bottom – geometric mesh of the model

Обговорення результатів дослідження. На відміну від наявних рішень [6, 11], які покладаються на згорткові мережі для створення реалістичних цифрових аватарів, запропоновані в цій роботі методи дають змогу уникнути етичних проблем, пов'язаних зі створенням несанкціонованих цифрових аватарів, що можуть бути використані проти людини, чиє обличчя синтезували.

Порівняно з карикатурними методами синтезу, поданими в роботах [1, 16], розроблені наші рішення є більш збалансованими та несуть нейтральне (спокійне) вираження геометрії цифрового аватару користувача, щоб запобігти будь-якій потенційній шкоді від надмірної екстремалізації синтезованого обличчя.

Наявні напівреалістичні рішення в роботах [5, 14] також фокусуються на нейтральних цифрових аватарах, проте не передбачають методів редагування тривимірної моделі користувачем. У роботі [12] також подано методи синтезу напівреалістичної тривимірної моделі, що дають змогу підібрати і налаштувати такі додаткові характеристики моделі, як окуляри чи зачіску, проте не описують засоби редагування геометрії елементів обличчя користувача, як-от носа чи рота, як це було зроблено в ході цієї наукової роботи.

У роботі [4] описано також важливість системи синтезу тривимірного аватару для оптимізації на мобільній платформі. Проте тут не подано рішень з оптимізації на конкретну мобільну платформу а сам синтез, окрім збирання вхідних даних, відбувається на ПК. У роботі [4] також використовують підхід комбінування попередньо розроблених морфів з програмним налаштуванням вже під час синтезу, але цей підхід використовується для морфів емоцій користувача. Методи, описані в цій роботі, передбачають використання схожого підходу для видозміни геометрії обличчя аватару, а також поєднання з морфами емоцій користувача, що істотно розширює користувацький функціонал порівняно з роботою [4].

Методи комбінування морфів емоцій користувача та морфів видозміни геометрії обличчя також наведено в роботі [10], проте вона фокусувалася на синтезі обличчя і не описувала методи зміни сітки обличчя аватару, як це зроблено в цій праці.

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

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – набула подальшого розвитку модель модифікації геометрії тривимірної поверхні аватару користувача, яка ґрунтується на комбінуванні попередньо розроблених морфів, що зберігаються в USDZ форматі та їх програмною адаптацією в режимі реального часу в ігровому рушії SceneKit, що порівняно з аналогами, дає змогу покращити користувацький досвід та надати користувачу можливість змінювати тривимірну модель аватару зберігаючи швидкий рендеринг сцени.

Практична значущість результатів дослідження – розроблена модель модифікації геометрії тривимірної поверхні аватару містить етичний і культурно прийнятний дизайн та використовує напівреалістичний підхід на противагу високоточним або карикатурним альтернативам і може бути використаний в продуктивних рішеннях індустрії розваг, ігор, а також системах доповненої та віртуальної реальності.

Висновки / Conclusions

Отже, проаналізовано наявні рішення з модифікації геометрії 3D-поверхонь, що використовуються в різноманітних ігрових рушіях. Представлено гіпотезу щодо можливого рішення з підвищення ефективності цього процесу в мобільному ігровому рушії SceneKit. Сформуовано мету та основні завдання дослідження для перевірки представленої гіпотези, що успішно виконано під час проведення наукового дослідження.

Проаналізовано наявні методи синтезу та тривимірного аватару користувача в галузі та на мобільних пристроях. Сформовано проблеми наявних рішень моделювання реалістичних, напівреалістичних та мультиплікаційних 3D-аватарів користувача. Досліджено, що високоякісні реалістичні рішення, що базуються на нейронних мережах, мають низку невирішених етичних проблем у галузі, а також важко піддаються геометричним модифікаціям. Наявні напівреалістичні та мультиплікаційні рішення можуть містити методи модифікації моделі користувачем, проте не описують методів оптимізації відображення цифрового аватару на мобільних пристроях.

Розроблено метод та описано алгоритм видозміни синтезованого цифрових аватару користувача шляхом поєднання базової моделі з програмною адаптацією. Підхід відрізняється від попередніх досліджень, які поклалися виключно на програмні реалізації, що дає змогу користувачеві вирішити проблему редагування синтезованої моделі. Метод передбачає створення набору морфів рис обличчя людини, які можна використовувати для генерації різних унікальних конфігурацій обличчя. Набір представлений формулою, що містить вагові коефіцієнти та геометричне представлення кожного морфу.

Розроблено алгоритм роботи розроблених методів на платформі iOS з використанням вбудованих методів та засобів платформи, як-от ігрового рушія SceneKit.

Результатом розробленого методу та алгоритму є мобільний додаток для платформи iOS, який дає змогу користувачеві видозмінити цифровий 3D-аватар у спосіб модифікації геометрії поверхонь моделі. Розроблена система є масштабованою, а завдяки використанню

формату USDZ вона оптимально зберігає морфи порівняно з поширеними в індустрії форматами, такими як Collada або FBX. Система може бути впроваджена в рішеннях доповненої та віртуальної реальності. На прикладі розробленого методу продемонстровано, що геометрична сітка моделі змінюється відповідно до налаштувань ваг морфів, заданих користувачем.

Запропоновані рішення можуть бути застосовані в різних сферах, враховуючи індустрію розваг, відеоігри, а також системи доповненої та віртуальної реальності. Крім цього, використання розроблених методів створення цифрових аватарів може покращити користувацький досвід та сприяти тривалому використанню мобільних додатків у численних комерційних контекстах.

References

1. Cai, H., Guo, Y., Peng, Z., & Zhang, J. (2021). Landmark detection and 3D face reconstruction for caricature using a nonlinear parametric model. *Graphical Models*, 115. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.09190>
2. Egger, B., Smith, W. A., Tewari, A., Wuhler, S., Zollhoefer, M., Beeler, T., & Vetter, T. (2020). 3 d morphable face models-past, present, and future. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 39(5), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3395208>
3. Feng, Y., Wu, F., Shao, X., Wang, Y., & Zhou, X. (2018). Joint 3D Face Reconstruction and Dense Alignment with Position Map Regression Network. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 534–551. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.07835>
4. Ichim, A. E., Bouaziz, S., & Pauly, M. (2015). Dynamic 3D avatar creation from hand-held video input. *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, 34(4), 1–14. <https://doi.org/10.1145/2766974>
5. Lin, J., Yuan, Y., & Zou, Z. (2021). Meingame: Create a game character face from a single portrait. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35(1), 311–319. <https://doi.org/10.1609/aaai.v35i1.16106>
6. Lombardi, S., Saragih, J., Simon, T., & Sheikh, Y. (2018). Deep appearance models for face rendering. *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, 37(4), 1–13. <https://doi.org/10.1145/3197517.3201401>
7. Ostrovka, D., & Teslyuk, V. (2020). The Analysis of File Format Conversion Tools for Storing 3D Objects for the iOS Platform. MoMLeT&DS, Ukraine, Lviv.
8. 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, Ukraine, Lviv, 325–334.
9. Ostrovka, D. V., & Teslyuk, V. M. (2021). The current state and prospects of advanced reality technology in smart mobile devices. House of University of Technology, Katowice, 179–190.
10. 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 UN-FU*, 33(1), 89–94. <https://doi.org/10.36930/40330112>
11. Ranjan, A., Bolkart, T., Sanyal, S., & Black, M. J. (2018). Generating 3D faces using convolutional mesh autoencoders. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*, 704–720. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.10267>
12. Sang, S., Zhi, T., Song, G., Liu, M., Lai, C., Liu, J., & Luo, L. (2022). AgileAvatar: Stylized 3D Avatar Creation via Cascaded Domain Bridging. In *SIGGRAPH Asia 2022 Conference Papers*, 1–8. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.07818>
13. Shi, T., Yuan, Y., Fan, C., Zou, Z., Shi, Z., & Liu, Y. (2019). Face-to-parameter translation for game character auto-creation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 161–170. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00025>
14. Shi, T., Zuo, Z., Yuan, Y., & Fan, C. (2020). Fast and robust face-to-parameter translation for game character auto-creation. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34(02), 1733–1740. <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i02.5537>

15. Wu, Q., Zhang, J., Lai, Y. K., Zheng, J., & Cai, J. (2018). Alive caricature from 2d to 3d. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 7336–7345. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00766>
16. Ye, Z., Xia, M., Sun, Y., Yi, R., Yu, M., Zhang, J., & Liu, Y. J. (2021). 3D-CariGAN: an end-to-end solution to 3D caricature generation from normal face photos. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.06841>

D. V. Ostrovka, V. M. Teslyuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

METHOD FOR MODIFYING THE GEOMETRY OF 3D SURFACES IN USDZ FORMAT WITH FURTHER IMPLEMENTATION IN THE SCENEKIT GAME ENGINE

The paper proposes a novel method for creating semi-realistic three-dimensional avatars on the iOS mobile platform. The method involves the use of an approach similar to modifying the geometry of the avatar's face and also includes combining with user emotion morphs, which significantly extends the user functionality compared to existing solutions. In addition, the proposed algorithm for rendering and manipulating a synthesised avatar on the iOS mobile platform using the USDZ file format and the SceneKit game engine provides a more optimal way of storing both the model mesh and morphs, which leads to increased efficiency when porting the model to the platform and when scaling the model to a larger number of morphs. The proposed method also avoids ethical issues related to the creation of unauthorized digital avatars that can be used against the person whose face has been synthesized. Compared to existing caricatured synthesis methods, the solutions developed in this paper are more balanced and carry a neutral expression of the geometry of the user's digital avatar to prevent any potential harm from over-extremalization of the synthesised face. The paper also compares the size of the output files in different 3D file formats and demonstrates that the USDZ model takes up the least amount of disk space compared to other formats. Additionally, the method for dynamically changing the geometry of 3D models using the USDZ format developed in this work has yielded better results than other popular methods using formats such as COLLADA and FBX. Using the capabilities of the USDZ format, a 3D model is created with less weight, which ultimately leads to faster loading time and improved overall performance. The use of the USDZ file format and the SceneKit game engine ensures smooth and accurate rendering of 3D models, thus providing a more immersive and realistic user experience. The proposed method also avoids ethical issues related to the creation of unauthorized digital avatars, is more balanced and carries a neutral expression of the user's digital avatar.

Keywords: 3D avatar; digital avatar; SceneKit; USDZ; semi-realistic avatar.