

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська
політехніка»
д.т.н., професору Івану ЦМОЦЮ

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

доктора технічних наук, професора Грицика Володимира Володимировича на дисертаційну роботу **Островки Дмитра Васильовича** «Інформаційна технологія синтезу тривимірного зображення користувача для мобільних систем доповненої реальності», подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії** з галузі знань 12 «Інформаційні технології» та спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Робота Дмитра Островки присвячена застосуванню інформаційних технологій синтезу тривимірних зображень користувача в мобільних системах доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР). З огляду на зростаюче використання технологій ДР та ВР в мобільних системах, використання тривимірних аватарів стає все більш актуальним способом покращення користувацького досвіду в мобільних застосунках. Дмитро Островка пропонує комплексну інформаційну технологію, яка поєднує розроблені програмно-апаратні методи синтезу, видозміни та інтерактивної взаємодії між користувачем та його тривимірним зображенням враховуючи обмеження обчислюваних ресурсів системи. Дисертаційна робота, акцентуючи на актуальності інноваційних технологій ДР та ВР у сучасних мобільних системах, відкриває нові можливості у персоналізації користувацького досвіду через впровадження тривимірних аватарів.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційна робота Дмитра Островки виконана на кафедрі автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка». Дослідження, результати яких викладено в дисертації, завершено відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка», в рамках виконання науково-дослідних робіт за держбюджетними темами «Експериментальна мобільна робототехнічна платформа з інтелектуальною системою управління та захистом передачі даних» (№ держ. реєстру 0122U000891) та «Експериментальна система нейромережевого криптографічного захисту та передачі даних у реальному часі з використанням баркероподібних кодів» (№ держ. реєстру 0121U109503).

3. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Отримані наукові результати розв'язують актуальну наукову задачу синтезу та візуалізації аватара користувача з забезпеченням малого часу адаптації та врахування обмежених ресурсів системи.

Здобувачем *уперше* розроблено метод синтезу тривимірного зображення користувача з застосуванням *USDZ* формату. Розроблений метод використовує 52 різноманітні форми для точної імітації різноманітних виразів обличчя а також включає в себе процес морфінгу аватара користувача, що дає змогу суттєво змінювати тривимірну структуру аватара. Розроблений метод синтезу аватара користувача зменшує обсяг пам'яті мобільних застосунків на платформі iOS до 3,75 разів порівняно з наявними підходами.

Здобувачем *удосконалено* метод шейдерного зафарбовування аватара користувача на платформі iOS за допомогою інтеграції процесу текстурування та фрагментних шейдерів. Завдяки взаємодії ігрового рушія *SceneKit* та апаратного прискорювача *Metal*, розроблений метод продемонстрував ефективність зменшення обсягу застосування текстур на 57%.

Здобувачем *удосконалено* метод синтезу текстур тривимірного зображення

користувача. Розроблений підхід оптимізує конвеєр рендерингу, зменшуючи кількість обчислень у реальному часі. Зі свого боку, це забезпечує плавний і стабільний користувацький досвід, при частих модифікаціях відображення аватара, зберігаючи при цьому плавність зображення 60 кадрів на секунду.

Також, в роботі *отримала подальший розвиток* інформаційна технологія синтезу тривимірного зображення користувача, адаптована до обмежених ресурсів мобільних систем доповненої реальності. Розроблена інформаційна технологія синтезу забезпечує зменшення часу необхідного для візуалізації аватара користувача. Здобувач представив результати тестування інформаційної технології, які підтверджують надійність та ефективність розробленої системи синтезу, зокрема в контексті взаємодії користувачів з тривимірними аватарами.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

Дисертація Дмитра Островки присвячена покращенню процесу синтезу тривимірних зображень користувача у мобільних системах доповненої та віртуальної реальності.

У *вступі* обговорюється актуальність теми, цілі, завдання, а також новизна і практична значущість дисертаційного дослідження. Додатково подано перелік публікацій автора.

У *першому* розділі зроблено огляд існуючих методів та засобів синтезу тривимірного зображення користувача у мобільних смарт системах. Обговорюються технології доповненої та віртуальної реальності, а також формати файлів для представлення тривимірних моделей, та особливості їх застосування на мобільних платформах. В розділі проаналізовано недоліки існуючих досліджень у галузі застосування інформаційних технологій синтезу аватара користувача, що дало змогу сформулювати задачі дисертаційного дослідження.

У *другому* розділі розроблено метод синтезу тривимірного зображення користувача в мобільних операційних системах. В розділі зроблено висновок,

щодо використання формату *USDZ*, як оптимального для представлення тривимірних моделей на мобільній платформі iOS. Описано розроблений підхід до зменшення розміру синтезованої 3D-моделі користувача з збереженням виразності її представлення.

У *третьому* розділі розроблено метод шейдерного зафарбовування тривимірного зображення користувача, що поєднує техніку текстуровання з фрагментними шейдерами, оптимізованими для ігрового рушія *SceneKit* та апаратного прискорювача *Metal*. Розроблений метод забезпечує зменшення використання текстур та оптимізує обчислювальне навантаження на мобільну систему. Також в розділі розроблено метод синтезу текстур тривимірного зображення користувача, що спрощує рендеринг у реальному часі, використовуючи підхід, який попередньо розраховує текстури, щоб мінімізувати обчислювальні вимоги під час рендерингу.

У *четвертому* розділі описано особливості реалізації та результати роботи розробленої інформаційної технології синтезу тривимірного зображення користувача на мобільних iOS платформах.

У висновках узагальнено результати, обговорено вплив та ефективність розроблених методів та засобів на мобільні додатки ДР та ВР, а також наведено список використаної літератури та додатки.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

У дисертаційному дослідженні Дмитро Островка надав детальні аналітичні та тестові дані розроблених методів та засобів, що підтверджують надійність та достовірність отриманих в роботі результатів. Наукові положення та висновки ретельно обґрунтовані шляхом порівняння з сучасними науковими роботами та практичної апробації розроблених методів.

Результати дослідження ґрунтуються на міцній теоретичній базі, широкому практичному застосуванні та ретельному аналізі відповідної наукової літератури. Зі свого боку, це забезпечує достовірність висновків і

рекомендацій та їх корисність як для наукової спільноти, так і для більш широкої галузі мобільних технологій ДР та ВР.

6. Практичні результати роботи

Розроблені у дисертаційній роботі методи, моделі та засоби реалізовано та апробовано у розрахункових та експериментальних дослідженнях. Результати роботи впроваджені у освітньому процесі Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні освітнього компонента «Доповнена реальність в освіті: впровадження європейського досвіду». Результати дисертації були отримані під час роботи здобувача у держбюджетній науково-дослідній роботі та пройшли дослідницьке випробування.

Додаткове практичне значення одержаних результатів – у роботі розроблено алгоритм створення *USDZ* файлів, що зберігають інформацію про змішані форми тривимірної моделі. Такий підхід дає змогу використовувати оптимальний формат представлення тривимірних моделей на мобільній платформі iOS, зберігаючи при цьому додаткову інформацію про набори змішаних форм, для подальших маніпуляцій з тривимірною моделлю.

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота Дмитра Островки добре структурована та пройшла перевірку на плагіат, де була доведена її унікальність. Аналіз структури і змісту дисертаційної роботи та наукових праць, що опубліковані автором, дає змогу стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані ним особисто і повною мірою опубліковані та апробовані. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Основні результати дослідження опубліковано у 5 статтях в наукових фахових виданнях України, 1 колективній монографії, та у 3 працях апробаційного характеру – у матеріалах і тезах конференцій та препринтах. Висновки та рекомендації логічно зумовлені результатами, представленими в розділах роботи. Основі положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Повний обсяг роботи становить 131 сторінку друкованого тексту, з них основний текст – на 113 сторінках. Список використаних джерел містить 130 найменування. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

8. Мова та стиль дисертаційної роботи

Дисертація написана науково-правильною мовою, доступно, на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», галузі знань 12 «Інформаційні технології».

9. Зауваження до дисертації:

1. В розділі 2.2 варто було би додати визначення чи пояснення до функції форматів представлення тривимірних даних – представлення точної сітки.

2. У формулі 2.11 другого розділу варто було би додати пояснення значення n .

3. В розділі 2.3 для кращого розуміння оптимізації геометричної сітки базової тривимірної моделі варто було би додати кількісне значення для «надто великої кількості вершин та полігонів» та оптимізованої версії моделі.

4. В розділі 2.3 варто було би детальніше описати чому набір розроблених здобувачем змішаних форм для відображення виразу обличчя користувача складається саме з 52 елементів.

5. Рисунки 2.3 та 3.1 варто було би назвати дещо інакше, як-от: «Блок-схема **алгоритму реалізації** методу морфінгу 3D-зображення обличчя користувача» для рисунка 2.3, та «Схема **основних етапів реалізації** методу шейдерного зафарбовування поверхні аватара користувача» для рисунка 3.1.

6. Розділ 4.2 в своїй назві містить слово «архітектура», проте в самому розділі всі рисунки підписані, як такі, що зображають «структуру». Варто замінити згадки про «структуру» оскільки згаданий розділ все ж описує саме архітектуру розробленої здобувачем системи.

7. В роботі при зображенні блок-схем часто деякі блоки обведені в штрих-пунктирну лінію. Варто використовувати стандартизовані підходи до побудови блок-схем і у випадку необхідності зображення додаткових елементів застосовувати елемент «коментар».

8. У дисертаційному дослідженні присутні описки та дрібні недоліки редакційно-стильового оформлення.

Загалом, ці зауваження не є критичними та не знижують наукову та практичну цінність дисертаційної роботи.

Висновки щодо дисертації в цілому

Дисертація Дмитра Островки на тему «Інформаційна технологія синтезу тривимірного зображення користувача для мобільних систем доповненої реальності» є якісною та детально розробленою науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертації вирішено актуальну наукову задачу синтезу та візуалізації аватара користувача з забезпеченням малого часу адаптації та врахування обмежених ресурсів системи.

Тема і зміст відповідають спеціальності 122 – Комп'ютерні науки, а отримані результати є значущими для галузі інформатики та інформаційних технологій.

Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових результатів, висновків та рекомендацій, їх наукову новизну та практичну цінність, повноту викладу матеріалу в наукових публікаціях, відсутність

порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація Дмитра Островки відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор, Островка Дмитро Васильович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Рецензент:

Доктор технічних наук, професор,
професор каф. автоматизованих систем управління
Національного університету
«Львівська Політехніка»

Володимир ГРИЦИК

Підпис д.т.н., професора Грицика В. В.

«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного Університету
«Львівська Політехніка» к.т.н., доцент

“ ” _____ 2022 р.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ