

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська
політехніка»

д.т.н., професору Івану ЦМОЦЮ

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Тимченка Леоніда Івановича 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 за спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(12 - Інформаційні технології)

Актуальність теми дисертаційної дослідження.

Синтез аватарів за допомогою штучного інтелекту (ШІ) стоїть на передовій технологічного прогресу, відображаючи поєднання інновацій та етичних викликів. Ця сфера набирає поширення завдяки здатності ШІ створювати високореалістичні та інтерактивні цифрові копії облич користувачів, покращуючи досвід у доповненій реальності, віртуальній реальності, іграх та різних комерційних додатках.

Проте реалістичність цих аватарів створює потенційні ризики, включаючи питання згоди і приватності, а також викликає занепокоєння щодо їх зловживання, наприклад, для видачі себе за інших людей. Забезпечення балансу між автентичністю та етичними межами стає вирішальним аспектом розвитку цієї технології.

Більше того, виклик рендерингу цих складних аватарів на мобільних платформах з обмеженими ресурсами порівняно з традиційними комп'ютерними пристроями підкреслює потребу в технологічних інноваціях для оптимізації користувацького досвіду без шкоди для етичних стандартів.

У цьому контексті робота Дмитра Островки набуває особливої актуальності зосереджуючись на етичних та практичних аспектах синтезу аватарів користувачів. Також, в своїй роботі, автор досліджує технічні проблеми, пов'язані з відображенням аватарів на мобільних платформах. Дисертаційне дослідження підкреслює важливість оптимізації використання ресурсів для досягнення високоякісного рендерингу – завдання, яке є особливо складним з огляду на обмежені обчислювальні можливості мобільних пристроїв.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Основні теоретичні положення дисертації одержані шляхом коректного застосування методів шейдерного зафарбовування, оптимізації рендерингу, текстуровання, об'єктно-орієнтованого програмування та математичного моделювання. Визначення оптимального формату збереження тривимірних даних для мобільної платформи виконувалось за допомогою розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації з використанням мультиплікативної згортки. Аналіз змісту розділів, методів та засобів разом з способами їх застосування дає змогу зробити висновок про належну обґрунтованість отриманих автором наукових результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, обґрунтовано теоретичним аналізом і підтверджено результатами практичного використання.

Достовірність отриманих результатів підтверджується завдяки всебічному тестуванню розроблених методів та засобів

Все це свідчить про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації Дмитра Островки.

Структура, обсяг роботи.

Дисертація загальним обсягом 131 сторінку складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 130 найменувань

та додатків, у які винесені документи, що підтверджують впровадження результатів роботи. Основний текст дисертації займає 113 сторінок. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.

У вступі автор подає широкий огляд дисертаційної роботи, визначаючи актуальність теми. Чітко окреслено мету дослідження, що супроводжується детальним переліком наукових і практичних завдань, вирішених для досягнення цієї мети. У цьому розділі також висвітлено інноваційні аспекти та практичний внесок дослідження. Крім того, автором подано детальну інформацію про апробацію результатів дослідження та поширення цих результатів за допомогою публікацій.

У першому розділі основна увага приділяється поглибленому вивченню сучасних методів та засобів, що використовуються для створення тривимірних зображень користувачів у мобільних системах. Разом з цим розглядаються технології доповненої та віртуальної реальності, а також різноманітні формати файлів для представлення тривимірних моделей, зокрема, їх застосування в мобільних платформах. Крім того, в цьому розділі представлено критичний аналіз поточних обмежень у дослідженні синтезу аватарів, що послужило основою для визначення ключових областей для подальших досліджень у дисертації.

У другому розділі визначено критерії синтезу користувацьких аватарів у мобільних операційних системах, акцентуючи увагу на модифікації зовнішнього вигляду та геометричних сіток, сумісності з технологіями доповненої та віртуальної реальності та оптимізованому рендерингу для взаємодії в реальному часі на мобільних пристроях. У розділі обґрунтовано вибір формату USDZ для зберігання 3D-моделей в iOS за допомогою вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації. Запропоновано новий метод створення 3D-аватарів користувачів у форматі USDZ, який полягає у

зменшенні розміру моделі та використанні змішаних форм для різних виразів обличчя.

У третьому розділі розроблено метод шейдерного зафарбовування тривимірних зображень користувача, що використовує комбінацію операцій текстуровання та фрагментних шейдерів. Цей підхід, розроблений з застосуванням ігрового рушія SceneKit та графічного прискорювача Metal в ОС iOS. Застосування текстуровання «splat map», яке зазвичай використовується у великих 3D-ландшафтах, дає змогу зменшити використання текстури та вимоги до даних для відображення аватарів. Крім того, в розділі представлено вдосконалений метод синтезу текстур 3D-зображень користувача, який спрощує процес рендерингу, зменшуючи обчислювальні вимоги в реальному часі.

У четвертому розділі представлено інформаційну технології, розроблену для синтезу 3D-зображень користувачів на iOS платформі, з особливостями її архітектури та алгоритмів створення USDZ-файлів. Продемонстровано можливості системи щодо модифікації рис обличчя в реальному часі та ефективного шейдерного зафарбовування, що забезпечує стабільну роботу на різних iOS пристроях. Підкреслено ефективність системи в AR/VR додатках та покращенні взаємодії з користувачем. Порівняльний аналіз показує ефективність розробленої системи та практичну застосовність, підкреслюючи її наукову та практичну значущість у синтезі 3D-зображень.

У додатках представлені документи впровадження результатів дисертації.

Наукову новизну дисертаційної роботи представляють такі основні та вагомні результати:

- Вперше розроблено метод синтезу аватара користувача з використанням формату USDZ, що включає 52 змішані форми для детальної імітації виразу обличчя та процедуру морфінгу для адаптивних 3D-структур.

Цей метод зменшує вимоги до пам'яті в iOS додатках у 3,75 рази порівняно з існуючими методами.

- Удосконалено метод шейдерного зафарбовування аватарів користувачів, поєднавши процедуру текстуровання з фрагментними шейдерами та використовуючи SceneKit і Metal, що дало змогу скоротити використання текстур на 57%.
- Удосконалено метод синтезу текстур для 3D-зображень користувача, що за рахунок оптимізації конвеєра рендерингу та зменшення обчислювального навантаження в реальному часі, призводить до стабільного та плавного користувацького досвіду при частоті 60 кадрів на секунду.
- Крім того, отримала подальший розвиток інформаційна технологія синтезу тривимірних зображень користувачів, пристосована до обмежених ресурсів мобільних систем доповненої реальності. Ця вдосконалена технологія синтезу зменшує час, необхідний для візуалізації аватарів. Автором продемонстровано результати тестування, які підтверджують надійність та ефективність розробленої системи синтезу, особливо у полегшенні взаємодії користувачів з їх аватарами.

Практична цінність дисертації.

Дисертаційне дослідження має практичну цінність, що полягає у розробці інформаційної технології (ІТ) синтезу аватарів користувачів, які включають алгоритми, пристосовані до унікальних особливостей операційної системи iOS. Ця ІТ дає змогу створювати тривимірні зображення користувачів, забезпечуючи можливість їх редагування та інтерактивної взаємодії між користувачем та аватаром. Впровадження розробленої ІТ в iOS застосунки забезпечує підвищення залученості користувачів.

Результати роботи впроваджені у освітньому процесі Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні освітнього компонента «Доповнена реальність в освіті: впровадження європейського досвіду». Також автором розроблено алгоритм створення USDZ-файлів, що забезпечує

оптимальне представлення та маніпулювання тривимірними моделями зі змішаними формами на iOS платформах.

Зв'язок роботи з науковими програмами.

Дисертація Островки Д. В. виконана на кафедрі автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка». Дисертаційне дослідження виконано у 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).

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.

Коло практичних застосувань результатів роботи, на мій погляд, не обмежується розглянутими у ній впровадженнями. Так, наприклад, запропонований автором роботи, у третьому розділі, метод синтезу текстур тривимірного зображення користувача в режимі реального часу можна взяти за основу для оптимізації відображення тривимірних моделей з великою кількістю текстур, особливо в галузі мобільних ігор. Також розроблені методи синтезу в розділі 2 після адаптації до операційної системи Android можуть бути застосовані не тільки на розглянутій автором iOS платформі.

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

Дисертаційна робота Островки Дмитра Васильовича має логічну структуру. Висновки та подальші кроки логічно впливають із результатів попередніх розділів та огляду літератури. У кінці кожного розділу є проміжні

висновки, що підсумовують результати автора. Стиль викладення матеріалів дисертаційного дослідження та наукових положень доказовий і забезпечує доступність їх сприйняття.

У дисертаційній роботі чітко прослідковується авторський стиль подачі матеріалу та формування висновків. Аналіз структури та 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. Підстав для сумнівів у науковій доброчесності здобувача під час детального ознайомлення з дисертацією не виявлено.

Основні результати дисертації висвітлено у 9 роботах автора: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 колективна монографія, а також 3 праці апробаційного характеру – у матеріалах і тезах конференцій та препринтах. Основі положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. У розділі 2, параграфі 1, на сторінці 43 некоректно сформульовано вимогу до синтезованої тривимірної моделі: “придатною до модифікацій зміни”, адже поняття “модифікація” та “зміна” це синоніми.

2. У розділі 2, параграфі 2, на сторінці 44 варто додати числові характеристики для більш детального розуміння поняття “швидкодії роботи системи”, щоб зрозуміти як менший розмір тривимірного файлу на це впливає.

3. У розділі 2, параграфі 5, на сторінці 58 для кращого розуміння розробленого методу морфінгу тривимірного зображення користувача варто додати більш детальний опис базової тривимірної моделі аватара.

4. При описі методу шейдерного зафарбовування в розділі 3, параграфі 1 варто додати аналогічні формули налаштування кольорів тривимірної моделі з наявних наукових праць для кращого розуміння наведених автором формулам (3.1), (3.2) та (3.3).

5. У розділі 3, параграфі 4, рисунок 3.7 коректніше назвати “Блок схема алгоритму оптимізації ...” замість “Алгоритм оптимізації ...”.

6. У розділі 4, параграфі 5, Таблиці 4.3, 4.4 та 4.5 влучніше було би назвати “Результати аналізу ...” замість “Аналіз ...”.

7. У тексті дисертаційної роботи є певні неточності редакційного характеру, окремі синтаксичні і стилістичні недоліки.

Однак, наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи і суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертація Островки Дмитра Васильовича на тему «Інформаційна технологія синтезу тривимірного зображення користувача для мобільних систем доповненої реальності» є завершеною науково-дослідницькою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати та виконана на високому науковому рівні. Зміст роботи засвідчує про її цілісність, яка включає всі необхідні стадії — від формулювання теми дослідження до впровадження здобутих результатів у практику. Для дисертації характерний тісний логічний зв'язок окремих питань дослідження. У дисертації вирішено актуальну наукову задачу синтезу та візуалізації аватара користувача в мобільних системах доповненої реальності з забезпеченням малого часу адаптації та врахування обмежених ресурсів системи.

Одержані висновки та практичні результати містять наукову новизну та практичну цінність і є значущими для галузі інформаційних технологій. Вважаю, що за актуальністю теми дисертації, обґрунтованістю наукових результатів, їх новизною та практичною цінністю, повнотою викладеного

матеріалу в наукових публікаціях, дисертація Островки Дмитра Васильовича відповідає існуючим вимогам відповідного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор – Островка Дмитро Васильович – заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки (галузі знань 12 – Інформаційні технології).

Офіційний опонент

Завідувач кафедри систем штучного
інтелекту та телекомунікаційних
технологій, Державного університету
інфраструктури та технологій,
доктор технічних наук, професор

Леонід ТИМЧЕНКО

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ	
Підпис:	<i>Тимченко Леонід</i>
Засвідчує:	<i>заступник начальника</i>



Відділ кадрів