

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Дудника Олександра Олександровича
«Методи та засоби підвищення реалістичності та продуктивності
текстурування у системах комп'ютерної графіки»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти**

Актуальність теми дисертаційної роботи

Засоби графічної візуалізації використовуються практично в усіх сферах діяльності людини, оскільки в цьому випадку найпростіше організувати ефективний інтерфейс між комп'ютером та людиною. Це пояснюється високою інформативністю графічних зображень і оперативністю сприйняття графічної інформації людиною через зоровий інформаційний канал.

На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки особливу увагу приділяють тривимірним зображенням, що найбільш адекватно відтворюють процеси або об'єкти.

При формуванні тривимірних зображень використовують моделі з високим рівнем деталізації поверхні, для кожної точки якої з урахуванням багатьох факторів визначають значення кольору та екранні координати. Це призводить до довготривалої візуалізації графічних сцен.

Для досягнення високого ступеня відповідності моделей об'єктам реального світу на полігональні поверхні накладають фрагменти реальних зображень – текстур.

Прості методи накладання текстур не забезпечують необхідної для забезпечення високого рівня реалістичності точності визначення кольорів пікселів. Тому доцільною є розробка точніших методів текстурування, що дасть можливість підвищити реалістичність візуалізації тривимірних сцен.

Оскільки етап текстурування є одним із найтрудомісткіших етапів кінцевої візуалізації і становить 30-70% від загального обсягу обчислень, доцільним є розробка методів і засобів, які б забезпечили суттєве спрощення

процедур накладання текстур, що дасть змогу скоротити тривалість візуалізації складних проектів.

У даний час розширюються сфери застосування комп'ютерної графіки, де вимагається побудова динамічних зображень в реальному часі. При цьому висуваються жорсткі часові обмеження, які ще більше посилюються при збільшенні деталізації поверхонь, роздільної здатності екрану і використанні складних методів текстуровання. Формування в цьому випадку динамічних зображень у реальному масштабі часу наштовхується на можливості сучасних засобів комп'ютерної графіки, що створює протиріччя, для розв'язку якого необхідний розвиток теорії кінцевої візуалізації у напрямку розробки моделей та методів, орієнтованих, насамперед, на підвищення продуктивності та реалістичності відтворення сцен. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи Дудника О. О. є актуальною і відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки та техніки.

Структура дисертації та зміст її розділів

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 138 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 202 сторінки. Основний зміст дисертації викладено на 127 сторінках, із них на 1 сторінці розміщено рисунок, що займає повну площу сторінки.

У вступі відображену актуальність теми дисертації, обґрунтовано мету та задачі дослідження. Визначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У першому розділі охарактеризовано основні етапи графічного конвеєра та останні нововведення. Показано, що етап текстуровання є одним із найбільш трудомістких.

Проаналізовано методи та засоби формування тривимірних зображень на стадії кінцевої візуалізації, зокрема, методи накладання текстур, імітації нерівностей поверхонь і фільтрації текстур. Розглянуто особливості

архітектурної побудови систем формування тривимірних зображень та обґрунтовано необхідність підвищення їх продуктивності та реалістичності. Визначено критерії ефективності систем рендерингу, а також основні вимоги їх побудови.

У другому розділі запропоновано методи підвищення реалістичності накладання текстур у системах комп'ютерної графіки.

Запропоновано модель піксела, яка враховує форму проекції піксела на площину текстури. Використання запропонованої моделі при усередненні кольорів текселів забезпечує підвищення точності визначення вагових коефіцієнтів, що дає можливість підвищити реалістичність графічних зображень.

Запропоновано нові формули для виконання субтекселної анізотропної фільтрації з використанням гаусівської моделі піксела, що забезпечує підвищення точності визначення кольорів пікселів за рахунок врахування їх геометричних властивостей.

Запропоновано модифікацію методу Фонга для використання при анізотропній фільтрації текстур, особливість якої полягає у визначенні коефіцієнтів затінення із урахуванням перспективних перетворень, що дало змогу реалістичнішого відтворення відбиття світла текстурованими поверхнями об'єктів.

У третьому розділі запропоновано методи підвищення продуктивності накладання текстур.

Розроблено метод підвищення продуктивності анізотропної фільтрації текстур за рахунок використання спеціальних текстурних карт вагових коефіцієнтів. Запропоновано для підвищення швидкодії виконувати вибірку з текстурної пам'яті розрахованих заздалегідь вагових коефіцієнтів замість їх розрахунку в реальному часі.

Запропоновано нові ітераційні формули для визначення текстурних координат на основі методу Хекберта. Нові формули забезпечують підвищення

продуктивності за рахунок зміни етапів виконання операцій, скорочень та повторного використання вже обчислених значень.

Запропоновано нові формули визначення параметрів рівняння еліпса для анізотропної фільтрації текстур при перспективно-коректному текстуруванні. Отримано формули для зменшення кількості повторних обчислень, які мають місце при використанні цих методів.

Запропоновано метод текстурування із виконанням процедурних операцій в об'єктному просторі та фільтрацією в площині екрана. Метод забезпечує високу реалістичність без застосування трудомістких процедур анізотропної фільтрації.

Четвертий розділ присвячено розробці методів підвищення продуктивності та реалістичності рельєфного текстурування.

Розроблено метод комбінованого застосування технології parallax mapping та анізотропної фільтрації, що дало можливість усунути артефакти розмиття, які характерні для зображень, сформованих при поєднанні цих технологій, за рахунок вилучення з процесу анізотропної фільтрації текселів, які відповідають невидимим для користувача ділянкам рельєфних поверхонь.

Розроблено модифікацію методу parallax mapping Донеллі, яка відрізняється від класичного методу використанням уточненої карти відстаней до поверхні. Уточнення полягає в урахуванні умов видимості текселів карти відстаней, що сприяє зменшенню кількості ітерацій трасування видового вектора та підвищенню продуктивності parallax mapping.

Запропоновано використання спеціальної MIP-піраміди для карт висот. Формування вищих рівнів піраміди здійснюється не шляхом усереднення значень чотирьох сусідніх текселів, а шляхом вибору максимального із них. У результаті трасування вектора на вищих MIP-рівнях дає можливість вилучення з обчислювального процесу ділянок поверхні, на яких гарантовано немає точок перетину із поверхнею, та підвищити продуктивність формування сцени.

У п'ятому розділі розглянуто практичну реалізацію запропонованих методів накладання текстур у системах комп'ютерної графіки.

Розроблено програмні засоби: для моделювання та тестування продуктивності методів текстуровання; для порівняння сформованих зображень із еталонними; для проведення експертних оцінок реалістичності зображень; шейдери, що реалізують запропоновані методи визначення текстурних координат, фільтрації текстур і рельєфного текстуровання. Програми для моделювання та тестування дозволили отримати порівняльні оцінки методів за точністю та продуктивністю.

Проведено експериментальні дослідження розроблених методів. Отримані значення нормованих середньоквадратичних похибок показали, що в переважній більшості випадків запропоновані в роботі методи підвищення продуктивності текстуровання порівняно з базовими забезпечують формування візуально однакових об'єктів.

Розроблено структури систем кінцевої візуалізації для різних застосувань.

Розроблено алгоритми і програми, на які отримано 8 свідоцтв на реєстрацію авторського права на твір у Державному департаменті інтелектуальної власності України та Міністерстві економічного розвитку і торгівлі України.

Наукова новизна

Наукова новизна одержаних результатів полягає у подальшому розвитку методів кінцевої візуалізації тривимірних графічних об'єктів за рахунок розробки нових методів і засобів текстуровання.

Основними науковими досягненнями є такі:

– запропоновано метод накладання текстур, особливість якого полягає у виконанні процедурних операцій в об'єктному просторі та фільтрації в площині екрана, що не потребує виконання анізотропної фільтрації текстур, і, як наслідок, дає можливість підвищити продуктивність формування графічних сцен;

– запропоновано математичну модель проекції екранного пікселя в текстурний простір, яка враховує зміну форми пікселя при перспективному

проектуванні для реалізації вагової функції при анізотропній фільтрації текстур, що дозволило підвищити точність визначення кольорів пікселів;

– запропоновано комбінований метод виконання рельєфного текстурування з використанням технології parallax mapping та анізотропної фільтрації, що дозволяє підвищити реалістичність формування графічних сцен за рахунок урахування рельєфу поверхні при анізотропній фільтрації;

– запропоновано модифікацію методу Хекберта, у якому використано ітераційні формули для визначення координат текселів, що дозволило зменшити кількість операцій додавання та множення для визначення текстурних координат піксела, і, як наслідок, підвищити продуктивність формування графічних сцен;

– подальшого розвитку отримав метод анізотропної фільтрації текстур, в якому при перспективно-коректному текстуруванні використано нові формули для прискореного обчислення параметрів рівняння еліпса, що дозволяє підвищити продуктивність анізотропної фільтрації текстур за рахунок зменшення кількості арифметичних операцій;

– подальшого розвитку отримав метод Донеллі, в якому, на відміну від існуючого, при формуванні карти відстаней до поверхні враховуються умови видимості текселів, що дозволило зменшити кількість ітерацій трасування видового вектора та підвищити продуктивність рендерингу.

Практична цінність роботи

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень для систем комп'ютерної графіки розроблено комплекс програмних і апаратних засобів формування тривимірних зображень з використанням нових методів накладання текстур.

Створено діючі високопродуктивні програмні засоби для рендерингу тривимірних зображень у системах комп'ютерної графіки. Розроблено структурні схеми систем формування тривимірних зображень, що є основою для виготовлення конкурентоспроможних зразків цієї продукції. Розроблено

програмні засоби для моделювання та тестування методів рендерингу, які дозволяють отримати порівняльні оцінки за точністю та продуктивністю.

Впровадження результатів досліджень підтверджено відповідними актами в компаніях «ДЦ Інжиніринг» та ПМВП «Фотоніка Плюс» та на кафедрі програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету для використання у навчальному процесі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів отриманих у дисертації

Достовірність наукових результатів і висновків підтверджується строгим математичним доведенням теоретичних положень, коректним використанням математичного апарату теорії чисел і чисельних методів, теорії алгоритмів, теорії інтерполювання функцій, методів аналітичної геометрії, лінійної алгебри, диференціального й інтегрального числення.

Результати експериментальних досліджень підтверджують підвищення реалістичності та продуктивності формування зображень при застосуванні запропонованих автором методів.

Коректність прийнятих допущень, достовірність запропонованих моделей і методів підтверджується результатами комп'ютерного моделювання, а також результатами практичного використання в конкретних розробках.

Висновки дисертації закономірно витікають з основних наукових положень, що захищаються автором, сформульовані коротко, мають безперечне наукове і практичне значення.

Апробація та повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях

Основні результати досліджень опубліковано в 33 наукових працях, у тому числі 13 статей у фахових виданнях України, 8 – у матеріалах конференцій, 1 входить до наукометричних баз Scopus та IEEE Xplore, 8 авторських свідоцтв про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

Відповідність автореферату дисертації

Автореферат адекватно відображає основний зміст дисертації та її наукові та практичні результати.

Мова та стиль дисертації і автореферату

Дисертація і автореферат написані українською мовою на високому науково-професійному рівні у загальноприйнятому для наукових видань стилі. Викладення результатів досліджень, висновків та рекомендацій є чітким і доступним для сприйняття підготовленим фахівцем.

Основні недоліки дисертації

1. У вступі та розділі 1 обґрунтовано потребу в підвищенні продуктивності текстурування, проте не наведено конкретних кількісних показників.
2. У розділі 3, в пункті 3.2 пропонується кілька алгоритмів визначення текстурних координат на основі нових формул, проте не приведено рекомендацій щодо вибору того чи іншого алгоритму для конкретної задачі.
3. В розділі 3, в пунктах 3.2, 3.3 автор пропонує використання ітераційних формул для підвищення продуктивності текстурування, проте ітераційні формули мають послідовний характер виконання обчислень, що може призвести до зворотного ефекту при певному наборі вхідних даних.
4. В розділі 5 перелік інструментальних засобів розробки програмних компонентів (мови програмування, стандарти графічних API) має констатуючий характер, не приведено критеріїв їх вибору.
5. При порівнянні продуктивності методів використовуються лише показники натуральних замірів без теоретичної оцінки складності алгоритмів.
6. У роботі не розглядається можливість застосування запропонованих методів у системах комп'ютерної графіки на основі технологій NVIDIA SLI або AMD CrossFireX.
7. В роботі дуже стисло йдеться про особливості впровадження результатів досліджень.

Наведені зауваження суттєво не зменшують науковий рівень та цінність дисертаційної роботи.

Висновки

Тема дисертаційної роботи та одержані результати відповідають паспорту спеціальності 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти.

Автореферат дисертації і публікації автора з необхідною повнотою та об'єктивно відображає зміст виконаної роботи.

У підсумку, на основі проведеного аналізу, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Дудника О. О. є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримано нові, науково обгрунтовані результати, що дають розв'язання важливої науково-прикладної задачі підвищення продуктивності та реалістичності текстурування у системах комп'ютерної графіки. Теоретичні результати роботи отримали достатнє відображення у публікаціях і підтвержені впровадженням практичних результатів у промислових підприємствах та установах.

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота «Методи та засоби підвищення реалістичності та продуктивності текстурування у системах комп'ютерної графіки» за критеріями наукової новизни та практичної значимості одержаних результатів, обсягу та оформленню відповідає вимогам п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», які висуваються до кандидатських дисертацій, та паспорту спеціальності 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти, а її автор, Дудник Олександр Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.


Офіційний опонент,

директор Інституту комп'ютерних систем

Одеського національного політехнічного університету

д.т.н., професор

Антощук С. Г.

Вчений секретар  *Ринд Шевчук В. І.*