

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента на дисертаційну роботу
Товсточуба Ігоря Сергійовича
на тему ««Методи генерації графічних об'єктів у відеоіграх на основі
паралельних обчислень»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

Актуальність теми дисертації.

Сучасний етап розвитку індустрії відеоігор характеризується зростанням складності віртуальних світів та підвищенням вимог до візуальної реалістичності графічного контенту. Процедурна генерація графічних об'єктів стала невід'ємною складовою створення масштабних ігрових середовищ, проте існуючі послідовні методи генерації вже не відповідають сучасним вимогам щодо швидкості та масштабованості.

Еволюція апаратного забезпечення, зокрема поширення багатоядерних процесорів та розвиток хмарних обчислювальних платформ, створює технологічні передумови для впровадження паралельних методів генерації контенту. Водночас, специфіка ігрових систем, що включає жорсткі вимоги до часу відгуку та необхідність синхронізації між багатьма учасниками, вимагає розробки спеціалізованих алгоритмів та методів паралелізації.

Особливу актуальність набуває проблема ефективного розподілу обчислювального навантаження в мережевих іграх, де традиційні централізовані підходи створюють вузькі місця продуктивності. Мережецентричний підхід, досліджений у дисертації, відкриває нові можливості для оптимального використання розподілених обчислювальних ресурсів усіх учасників ігрового процесу.

Враховуючи вищевикладене, тема дисертаційної роботи Товсточуба І.С., присвячена розробці методів паралельної генерації графічних об'єктів на основі мережецентричного підходу, є надзвичайно актуальною та відповідає сучасним викликам ігрової індустрії.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено модель для визначення показників паралельної генерації контенту в ігрових системах, яка за рахунок комплексного врахування

продуктивності генерації, часу генерації, обсягу даних для синхронізації та часу синхронізації дозволяє визначити оптимальну кількість обчислювальних вузлів для генерації графічних об'єктів.

2. Удосконалено метод мережевої паралелізації генерації графічних об'єктів, який за рахунок використання розробленої моделі та етапів оцінки можливостей вузлів, початкової сегментації ігрового світу, реалізації пріоритезації генерації дозволяє підвищити ефективність використання обчислювальних ресурсів системи.

3. Розроблено метод адаптивного розподілу генерації графічних об'єктів, який за рахунок використання мережецентричного підходу та динамічної адаптації до змін у мережевому довкіллі забезпечує оптимальне функціонування системи.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним використанням математичного апарату, результатами експериментальних досліджень та впровадженням у виробничий процес трьох ІТ-компаній.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Товсточуба І.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «123 Комп'ютерна інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Комп'ютерна інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій.

Розглянувши представлені матеріали, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Товсточуба І.С. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи неправомірних запозичень. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою з коректним використанням наукової термінології. Матеріал викладено логічно та послідовно, супроводжується необхідними ілюстраціями, формулами та таблицями. Стиль викладення відповідає вимогам до наукових праць та забезпечує доступність сприйняття матеріалу.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації 103 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, наукову новизну та практичне значення результатів.

У *першому розділі* містить системний аналіз проблематики паралелізації в ігровій індустрії. Автор досліджує статичні та динамічні алгоритми паралелізації, детально аналізує архітектури Unity DOTS, Unreal Engine Task Graph та Godot Engine Server System. Розглянуто фундаментальні обмеження паралельних обчислень (закони Амдала та Густавсона-Барсіса) та їх вплив на генерацію ігрового контенту. Запропоновано мережецентричний підхід як перспективний напрямок розв'язання проблеми. У підсумку наведені висновки до розділу

Другий розділ містить теоретичний фундамент дослідження. Запропоновано формальне представлення розподіленої ігрової системи у вигляді математичної моделі. Розроблено комплексну модель оцінки ефективності, що враховує чотири ключові параметри системи.. Запропоновано метод мережевої паралелізації з трирівневою архітектурою та метод адаптивного розподілу генерації. У підсумку наведені висновки до розділу

Третій розділ присвячений практичній реалізації запропонованих методів та моделей. Описано концепцію додатку з мережевим паралельним генеруванням контенту та детальну архітектуру програмного комплексу. Реалізовано три модулі генерування контенту: централізованого, локального паралельного та мережевого паралельного генерування. Впроваджено механізми синхронізації в мережевій паралельній генерації та алгоритми вирішення конфліктів у розподіленій генерації. Розроблено систему адаптивної генерації контенту, що враховує обчислювальні можливості пристрою користувача. Представлено методику експериментальних досліджень програмного комплексу. У підсумку наведені висновки до розділу.

Четвертий розділ представляє результати комплексного експериментального дослідження. Виконано експериментальні дослідження часу генерації при різних методах паралелізації, продуктивності генерації графічних об'єктів, впливу затримки синхронізації на ефективність паралельної генерації та обсягу даних при паралельній генерації. Виконано порівняльний аналіз централізованого та мережецентричного підходів до генерації графічного контенту. Результати підтверджують ефективність запропонованих методів та їх практичну придатність. У підсумку наведені висновки до розділу.

Наприкінці дисертації наведені *загальні висновки* дослідження, що підсумовують усі отримані результати роботи.

У *списку використаних джерел* автором представлено 90 наукових праць, включаючи джерела мережі Інтернет.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових фахових виданнях України (категорія Б) за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія та 7 тез виступів на міжнародних наукових конференціях.

Результати дисертації були апробовані на 6 міжнародних наукових конференціях.

Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок про повноту викладення здобутих наукових результатів в опублікованих працях. Це свідчить про науковий рівень публікацій дисертанта та його дотримання принципів академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У розділі 1.6 при порівнянні особливостей генерації 2D та 3D графічних об'єктів автор недостатньо висвітлює питання оптимізації для гібридних 2.5D середовищ, які набувають популярності в сучасних іграх.

2. Математична модель у розділі 2 базується на припущенні про стабільність мережевого з'єднання, однак не враховує сценарії з високою варіативністю якості зв'язку, характерні для мобільних мереж 4G/5G.

3. У програмній реалізації (розділ 3) відсутні механізми автоматичного відновлення після критичних збоїв системи, що може призвести до втрати прогресу генерації при несподіваних відключеннях.

4. Експериментальні дослідження проводилися на відносно невеликій кількості вузлів (до 5), тоді як сучасні ММО-ігри можуть включати сотні одночасних учасників. Масштабованість методів для таких сценаріїв залишається недослідженою.

5. У роботі не розглянуто інтеграцію запропонованих методів з технологіями штучного інтелекту для покращення якості генерованого контенту.

Зазначені недоліки мають рекомендаційний характер і не применшують наукової цінності та практичної значущості отриманих результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Товсточуба Ігоря Сергійовича на тему «Методи генерації графічних об'єктів у відеоіграх на основі паралельних обчислень» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 - 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

На підставі зазначеного вище вважаю, що Товсточуб Ігор Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний рецензент:

доцент кафедри
штучного інтелекту
Державного університету
інформаційно-комунікаційних технологій
кандидат технічних наук, доцент

Олександр ЗВЕНИГОРОДСЬКИЙ

«30» червня 2025 року

Підпис

О. Звенігородського

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар

Державного університету

інформаційно-комунікаційних технологій



Т. Любова