

ВІДГУК

офіційного опонента 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

Сучасна індустрія відеоігор характеризується постійним зростанням вимог до візуальної якості та складності ігрових світів. Процедурна генерація графічних об'єктів стає ключовим компонентом створення динамічних та варіативних ігрових середовищ. З розвитком багатоядерних процесорів, хмарних обчислень та розподілених систем з'являються нові можливості для паралельної генерації ігрового контенту, однак їх ефективне використання потребує спеціалізованих методів та алгоритмів.

Традиційні підходи до генерації графічних об'єктів у відеоіграх, які базуються на послідовних обчисленнях, вже не здатні задовольнити зростаючі потреби індустрії у створенні реалістичних, динамічних світів значного масштабу. Особливості сучасних мережеских ігор, де можуть одночасно брати участь тисячі гравців, вимагають нових підходів до розподілу обчислювального навантаження. Централізовані методи генерації створюють критичні вузькі місця в системі, що призводить до неоптимального використання доступних обчислювальних ресурсів та погіршення ігрового досвіду.

Мережецентричний підхід до розподілу обчислювальних ресурсів відкриває нові можливості для оптимізації процесів генерації графічних об'єктів. Цей підхід дозволяє ефективно використовувати розподілені обчислювальні потужності всіх учасників ігрового процесу, що є особливо

актуальним в контексті розвитку хмарних технологій. Однак реалізація таких систем пов'язана зі значними технічними викликами, включаючи синхронізацію стану між вузлами, балансування навантаження та забезпечення стійкості до мережових затримок. Тому, зазначена в рамках теми дисертації Товсточуба І.С. наукова задача, а саме розробка ефективних методів паралельної генерації графічних об'єктів у відеоіграх на основі мережецентричного підходу, що забезпечують оптимальне використання розподілених обчислювальних ресурсів, є вкрай актуальною.

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.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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 і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Робота має логічно правильну структуру, матеріал викладений послідовно, змістовно, з усіма необхідними поясненнями, розрахунками та графічними ілюстраціями, термінологія використовується загальноновживана, що дає змогу легко сприймати матеріал.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації 103 сторінки.

У вступі чітко та обґрунтовано висвітлено актуальність досліджуваної тематики, коректно сформульовано об'єкт, предмет, мету, завдання та методи дослідження. Крім того, вступ висвітлює наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надає інформацію про впровадження та апробацію результатів дослідження, а також публікації здобувача зі зазначенням особистого внеску.

У першому розділі проведено комплексний аналіз сучасних підходів до паралелізації генерації графічних об'єктів у відеоіграх. Здобувачем досліджено алгоритми паралелізації, що застосовуються у розробці відеоігор, включаючи статичні та динамічні алгоритми. Проаналізовано архітектури паралельних обчислень у провідних ігрових рушіях (Unity DOTS, Unreal Engine Task Graph System, Godot Engine Server Thread System) з детальним порівняльним аналізом їх переваг та обмежень. Розглянуто основні закони та обмеження паралельних обчислень у генерації ігрового контенту, включаючи закони Амдала та Густавсона-Барсіса. Проаналізовано типові проблеми паралельної обробки в ігрових рушіях та особливості паралельної генерації 2D та 3D графічних об'єктів. У підсумку наведені висновки до розділу.

Другий розділ присвячений формальному представленню розподіленої генерації графічних об'єктів. Висвітлює комплексну математичну модель для визначення показників паралельної генерації контенту, що включає аналіз продуктивності генерації, часу генерації, обсягу даних для синхронізації та часу синхронізації. Запропоновано метод мережевої паралелізації генерації графічних об'єктів на основі мережецентричного підходу з трирівневою архітектурою системи. Розроблено метод адаптивного розподілу генерації графічних об'єктів, що забезпечує динамічну адаптацію до змін у мережевому середовищі. Математичний апарат роботи є обґрунтованим та відповідає поставленим завданням дослідження. 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 містить результати всебічного експериментального дослідження розроблених методів. Проведено 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 експериментів 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.

Ознайомлення з дисертацією та копіями статей і тез дозволяє зробити висновок про повноту викладення здобутих наукових результатів в

опублікованих працях. Це свідчить про високий науковий рівень публікацій дисертанта та дотримання ним принципів академічної доброчесності.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У розділі 1.3 автор детально розглядає архітектури різних ігрових рушіїв (Unity, Unreal Engine, Godot), проте недостатньо уваги приділено практичним аспектам їх інтеграції з розробленими методами мережевої паралелізації.

2. У розділі 2 при розробці математичної моделі автор використовує припущення щодо мережевої топології (формула 2.6), приймаючи, що ігрова система містить приблизно половину зв'язків порівняно з повним графом. Це припущення може не повністю відображати реальні умови функціонування сучасних мережевих ігор з різноманітними топологіями.

3. У розділі 3 при описі реалізації програмного комплексу не наведено достатньо деталей щодо реагування на критичні ситуації, такі як втрата з'єднання з ключовими вузлами або виникнення каскадних відмов у системі.

4. У роботі недостатньо розглянуто питання безпеки та захисту від зловживань при розподіленій генерації контенту, що є важливим аспектом для комерційних ігрових систем, особливо в контексті можливості маніпуляції результатами генерації зловмисними учасниками.

5. У дисертації відсутній детальний аналіз енергоефективності запропонованих методів, що стає все більш актуальним для мобільних платформ.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що 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. Здобувач Товсточуб Ігор Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри інформаційних технологій

Національного транспортного університету

доктор технічних наук, професор

«24» червня 2025 року



Валерій ЗАВГОРОДНІЙ

