

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет прикладної математики
Кафедра системного програмування і
спеціалізованих комп'ютерних систем**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ
«__» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Системне програмування та
спеціалізовані комп'ютерні системи»**

зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

**на тему: «Способи покращення алгоритмів трасування променів за
допомогою штучного інтелекту»**

Виконав:
студент II курсу, групи КВ-21мп
Ядуха Богдан Володимирович _____

Науковий керівник:
к.т.н., доцент
Тарасенко-Клятченко О.В. _____

Рецензент:
к.т.н., доцент, доцент кафедри ПЗКС
Заболотня Т.М. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студент _____

Київ – 2024

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет прикладної математики

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 123 «Комп'ютерна інженерія»»

Освітньо-професійна програма «Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

«__» _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Ядусі Богдану Володимировичу

1. Тема дисертації «Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи», науковий керівник дисертації доцент кафедри СПСКС, к.т.н. Тарасенко-Клятченко О.В., затверджені наказом по університету від «9» листопада 2023 р. №5217-с.

2. Термін подання студентом дисертації 10 січня 2024 р.

3. Об'єкт дослідження: алгоритми трасування змін та їх використання в різних галузях.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Проаналізувати існуючі алгоритми трасування променів, їх особливості, недоліки, які можна покращити.
2. Розробити комп'ютерну програму з покращеними алгоритмами трасування променів за допомогою штучного інтелекту.

5. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу - презентація.

6. Орієнтовний перелік публікацій - 2 тези.

7. Дата видачі завдання 1 листопада 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Ознайомлення з теоретичною базою щодо алгоритмів трасування променів та ШІ	01.10.2022	
2.	Створення та наступне узгодження технічного завдання МД	04.10.2022	
3.	Розпочав дослідження можливостей використання ШІ для оптимізації алгоритмів трасування	10.10.2022	
4.	Підготовка матеріалів першого розділу МД	18.05.2023	
5.	Підготовка матеріалів другого розділу МД	11.06.2023	
6.	Розробка ПЗ	03.07.2023	
7.	Тестування ПЗ	10.8.2023	
8.	Оформлення МД	19.8.2023	
9.	Третій розділ магістерської дисертації з висновками	22.9.2023	
10.	Четвертий розділ магістерської дисертації з висновками	22.10.2023	
11.	Попередній захист магістерської дисертації	14.12.2023	
12.	Надання керівнику остаточного варіанту магістерської дисертації для перевірки на запозичення та збіг/ідентичність/схожість	05.01.2024	
13.	Здача всіх документів магістерської дисертації секретарю комісії	10.01.2024	

Студент

Богдан ЯДУХА

Науковий керівник

Оксана ТАРАСЕНКО-КЛЯТЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Актуальність дослідження. Сучасні технології відкривають широкі можливості для вдосконалення алгоритмів трасування променів, що використовуються у різноманітних областях, таких як комп'ютерна графіка, медичне моделювання та візуалізація. Взаємодія променів з поверхнями об'єктів стає складною задачею у разі складних сценаріїв та великої кількості геометричних об'єктів. У цьому контексті розробка ефективних та швидких алгоритмів трасування променів є невід'ємною частиною досягнення реалістичної графіки та точної симуляції.

Штучний інтелект (ШІ) вносить значний вклад у вдосконалення цих алгоритмів, надаючи можливості оптимізації та адаптації до різних умов. Використання методів машинного навчання та глибокого навчання може значно покращити швидкість та точність трасування променів у складних сценах. У даній дипломній роботі досліджуються різноманітні підходи та стратегії, спрямовані на оптимізацію алгоритмів трасування променів за допомогою методів штучного інтелекту, з метою досягнення високої якості та продуктивності графічних застосунків.

Об'єкт дослідження - об'єктом дослідження є алгоритми трасування променів, які застосовуються у комп'ютерній графіці та інших сферах візуалізації для симуляції освітлення та візуалізації тривимірних сцен. Зокрема, розглядаються алгоритми, що забезпечують відстеження променів у реальному часі та в умовах великої складності сцени.

Предмет дослідження - предметом дослідження є методи та стратегії використання штучного інтелекту для оптимізації алгоритмів трасування променів. Розглядаються підходи, що базуються на машинному навчанні, глибокому навчанні та інших методах штучного інтелекту для покращення продуктивності та якості графічних застосунків.

Мета дослідження - метою дипломної роботи є розробка та вдосконалення алгоритмів трасування променів за допомогою штучного

інтелекту для досягнення високої продуктивності та реалістичності візуалізації графічних сцен. Основний акцент робиться на оптимізації роботи алгоритмів у реальному часі та в умовах великої складності сцен.

Відповідно до мети були визначені наступні завдання:

- 1) дати загальну характеристику трасування променів та алгоритмів його реалізації в науковій літературі;
- 2) визначити способи модифікація методу трасування променів;
- 3) провести дослідження з удосконалення алгоритмів трасування променів за допомогою штучного інтелекту;
- 4) проаналізувати особливості реалізації та тестування програмного додатку трасування променів за допомогою штучного інтелекту.

Наукова новизна полягає в наступному – розроблено нові підходи та методи для успішної інтеграції штучного інтелекту, таких як машинне навчання та нейронні мережі, в алгоритмі трасування променів. Це включає спеціалізованих моделей ШІ для вдосконалення відстеження змін та покращення реалізму сцени.

Практична цінність - дослідження та вдосконалення алгоритмів трасування променів за допомогою штучного інтелекту включає в себе ряд важливих аспектів:

1. Покращення реалістичності графічного зображення: покращені алгоритми трасування променів з ШІ дозволяють створити більш реалістичні та деталізовані графічні зображення.

2. Медична діагностика і обробка зображення: удосконалені алгоритми можуть допомогти лікарям покращити точність діагнозу та лікування медичних зображень, що може сприяти підвищенню якості медичної допомоги та зниженню ризику діагностичних помилок.

3. Використання автономних автомобілів та робототехніка: покращені алгоритми трасування променів можуть допомогти автономним автомобілям та роботам уникати перешкод, навчатися

виявляти та реагувати на оточуюче середовище, що забезпечує безпеку та ефективність їх функціонування.

Апробація роботи. Основні ідеї та результати роботи представлені на XVI науково-практичній конференції магістрантів та аспірантів ПМК-2023 (Київ, 28-30 листопада 2022 р.). Опублікована стаття на V міжнародній студентській науковій конференції «ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ НАУКИ ЯК ВИКЛИК СЬОГОДЕННЯ» (08.12.2023 р., м. Суми, Україна).

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 61 найменування. Повний обсяг роботи: 117 сторінок.

ABSTRACT

The relevance of the topic. Modern technologies provide extensive opportunities to enhance ray tracing algorithms used in various fields such as computer graphics, medical modeling, and visualization. The interaction of rays with object surfaces becomes a challenging task in complex scenarios with a large number of geometric objects. In this context, the development of efficient and fast ray tracing algorithms is an integral part of achieving realistic graphics and accurate simulation.

Contribution of Artificial Intelligence: Artificial Intelligence (AI) contributes significantly to improving these algorithms by providing optimization and adaptation capabilities to different conditions. The use of machine learning and deep learning methods can significantly improve the speed and accuracy of ray tracing in complex scenes. This diploma work explores various approaches and strategies aimed at optimizing ray tracing algorithms using AI methods to achieve high-quality and high-performance graphical applications.

The object of research is ray tracing algorithms applied in computer graphics and other visualization areas to simulate lighting and visualize three-

dimensional scenes. Particularly, real-time ray tracing algorithms under conditions of scene complexity are considered.

The subject of research is the methods and strategies of using artificial intelligence to optimize ray tracing algorithms. Approaches based on machine learning, deep learning, and other AI methods to enhance the performance and quality of graphical applications are discussed.

The goal of the work is to develop and improve ray tracing algorithms using artificial intelligence to achieve high performance and realism in the visualization of graphical scenes. The main emphasis is on optimizing algorithm performance in real-time and under conditions of scene complexity. Research Tasks:

1. Provide a general overview of ray tracing and its algorithm implementations in scientific literature.
2. Identify methods for modifying ray tracing techniques.
3. Conduct research on improving ray tracing algorithms using artificial intelligence.
4. Analyze the implementation and testing features of a ray tracing application using artificial intelligence.

The scientific novelty lies in the development of new approaches and methods for the successful integration of artificial intelligence, such as machine learning and neural networks, in ray tracing algorithms. This includes the creation of specialized AI models to enhance change tracking and improve scene realism.

Approbation of work. Presentation of the work. The main ideas and results of the work were presented at the XVI Scientific and Practical Conference of Master's and Ph.D. students PMK-2023 (Kyiv, November 28-30, 2022). An article has been published in the V International Student Scientific Conference "DIGITALIZATION OF SCIENCE AS A CHALLENGE OF TODAY" (December 8, 2023, Sumy, Ukraine).

The practical value: The practical value of researching and improving ray tracing algorithms using artificial intelligence encompasses several crucial aspects:

1. **Improved Realism in Graphic Rendering:** Enhanced ray tracing algorithms with AI enable the creation of more realistic and detailed graphic images.
2. **Medical Diagnosis and Image Processing:** Improved algorithms can assist doctors in enhancing the accuracy of medical image diagnosis and treatment, contributing to improved healthcare quality and reduced diagnostic errors.
3. **Autonomous Vehicles and Robotics:** Ray tracing algorithms with AI in autonomous vehicles and robots enable obstacle avoidance, learning to detect and respond to the surrounding environment, ensuring safety and efficiency in their operation.

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources containing 61 names. Full volume of work: 117 pages.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
1.1. Поняття та сутність трасування променів	4
1.2. Аналіз існуючих підходів та алгоритмів трасування променів	11
1.3. Особливості практичного застосування технології трасування променів та її перспективи в геймдизайні	18
1.4 Постановка задачі	23
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ	26
2.1. Математичні моделі та методи трасування променів	26
2.2. Аналіз методики застосування штучного інтелекту для покращення алгоритмів трасування променів	29
2.3. Опис запропонованого методу покращення алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту	44
Висновки до другого розділу	49
РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	50
3.1. Побудова алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту	50
3.2. Проектування програмного забезпечення	54
3.3. Загальна структура програмного забезпечення	59
Висновки до третього розділу	68
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	69
4.1. Аналіз результатів дослідження методів покращення алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту	69
4.2. Тестування роботи алгоритму	82
4.3. Аналіз ефективності функціонування алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту	84
Висновки до четвертого розділу	98
ВИСНОВКИ	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	101

ВСТУП

В сучасній комп'ютерній графіці, особливо в ігровій індустрії, вимоги до реалістичності та деталізації сцен значно зросли. Великі та складні ігрові світи вимагають від алгоритмів трасування променів великої швидкодії та високої якості візуалізації. Існуючі методи, такі як відстеження променів в реальному часі, стикаються з труднощами у забезпеченні оптимального балансу між продуктивністю та графічною якістю.

Методи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, визначаються як потужний інструмент для вдосконалення процесу визначення та взаємодії зі сценою. Автоматизовані стратегії вибору променів, оптимізація розподілу обчислювальних ресурсів та підтримка апаратного забезпечення графічної платформи – усе це стає предметом уваги для досягнення найвищої продуктивності та візуальної якості.

Алгоритми трасування променів є ключовим елементом у досягненні реалістичності графічних сцен, але сучасні виклики включають в себе необхідність реалізації цих алгоритмів у реальному часі для великої кількості об'єктів та складних сценаріїв.

Штучний інтелект, зокрема методи машинного навчання, дозволяє знаходити інноваційні рішення для оптимізації алгоритмів трасування променів. Активне використання глибокого навчання та нейронних мереж в цьому контексті може допомогти ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з обчислювальною складністю та високими вимогами до апаратних ресурсів.

Враховуючи швидкий темп розвитку галузі штучного інтелекту та його успішне використання в інших сферах, вивчення та впровадження ШІ в алгоритми трасування променів стає необхідністю. Це актуально не лише для ігрової індустрії, але й для віртуальної реальності, комп'ютерного моделювання та інших областей, де відображення реалістичних візуальних сцен в реальному часі вимагає вдосконалених алгоритмів.

Отже, робота має велике значення у контексті вирішення актуальних проблем та впровадження новаторських рішень в сфері алгоритмів трасування променів за допомогою штучного інтелекту.

Алгоритми трасування променів є одними з найпоширеніших методів симуляції освітлення в комп'ютерній графіці. Вони дозволяють створювати реалістичні зображення сцен, що містять складні об'єкти та освітлення. Однак алгоритми трасування променів є досить витратними з точки зору обчислювальних ресурсів, що обмежує їх використання в реальному часі. Тема є актуальною у сучасному світі і має велике значення з точки зору різних галузей, таких як комп'ютерна графіка, медицина, автономні автомобілі, наукові дослідження та багато інших.

Штучний інтелект можна використовувати для прогнозування результатів трасування променів, що може призвести до значного зменшення кількості необхідних розрахунків. Існує кілька різних підходів до цього, наприклад використання ШІ для навчання моделі, яка може прогнозувати значення освітлення для будь-якої точки сцени або прибирання шумів після алгоритмів трасування променів.

Отже, актуальність теми визначається її потенціалом щодо покращення різних аспектів нашого життя, від розваг та медицини до наукових досліджень та автомобільної промисловості.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ТА АЛГОРИТМИ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1. Поняття та сутність трасування променів

Трасування променів (Ray Tracing) – це технологія тривимірної графіки, яку легко пояснити, лише розглядаючи світ навколо себе. Ми спостерігаємо відбиті від об'єктів промені світла, які досягають наших очей. Коли ми дивимосся на реальні об'єкти, ми сприймаємо світло, відбите від них, у вигляді світлових променів. Промінь світла – це лінія, по якій передається світлова енергія; промені вирушають від джерела світла і взаємодіють з об'єктами оточуючого середовища. Серед цих взаємодій можна виділити такі явища, як відбивання, переломлення та поглиблення. Всі ці явища впливають на траєкторію світлових променів, що потрапляють на сітківку наших очей, і формують зображення того, що відбувається навколо нас. Можна сказати, що ми спостерігаємо відбите світло.

Знаючи це, можна моделювати траєкторію світлових променів у тривимірній графіці, що й є суттю трасування променів. Трасування променів – це технологія рендерингу тривимірної графіки, яка використовує цей принцип для створення дуже реалістичного освітлення, що майже не відрізняється від реального. Алгоритм враховує точне місце, де промінь світла торкається об'єкта, враховує властивості його поверхні та розраховує, як промінь буде відбиватися, змінювати колір і відкидати тінь [23, с. 56].

Серед переваг трасування можна відзначити те, що складність методу майже не залежить від геометричної складності сцени, і розрахунки можна легко розпаралелити, трасуючи кілька променів одночасно та розділяючи поверхню екрана на зони для обчислень на різних обчислювальних ядрах.

Важливо відзначити, що трасування променів імітує реальне поширення світлових променів, що призводить до отримання зображень високої якості порівняно з растеризацією. Растеризація має свої недоліки, такі як відсутність відображення об'єктів, які не входять у сцену, але можуть відбивати видимі тіні та відображатись у поверхні, яка відбиває зображення (дзеркало), а оптимізація растеризації може пропустити ці ефекти. Відображення, переломлення і тіні – це складні ефекти, які трасування променів відтворює краще.

Також трасування променів має перевагу в тому, що воно дозволяє виводити відображення частин об'єкта одна на одну, що складно виконати за допомогою растеризації. Ще однією важливою перевагою трасування є рендеринг прозорих об'єктів. Растеризація ускладнює імітацію ефектів прозорості через потребу в сортуванні прозорих полігонів, тоді як алгоритм трасування променів легко створює будь-які ефекти прозорості з ідеальною якістю.

Також однією з переваг трасування перед растеризацією є відтворення тіней. У випадку растеризації використовуються тіньові карти (shadow mapping), які також базуються на растеризації. Однак рендеринг для створення цих карт проводиться з іншого ракурсу з іншими параметрами. З іншого боку, трасування дозволяє автоматично вирішувати проблему тіней без необхідності використання додаткових алгоритмів та об'єктів пам'яті, а також надає можливість отримати реалістичні м'які тіні [31, с. 78].

Метод трасування променів є засобом рендерингу графіки, що моделює фізичну поведінку світла. Це нещодавно відкритий спосіб створення тривимірної графіки, який знайшов застосування у кінематографії, анімації, тривимірному моделюванні і т.д., особливо коли важливий реалізм рендерингу, незважаючи на обмежені системні ресурси та час рендерингу. Експерименти з цією технологією розпочалися ще

наприкінці 60-х років минулого століття, а одним із піонерів був Айвен Сазерленд – творець програми Sketchpad для імітації відображення світла на поверхнях. Проте через складність та високі витрати рейтрейсингу протягом багатьох років графічні рушії в основному опирались на растеризацію, пряме освітлення та бейкінг.

Технологія трасування променів діє, моделюючи поведінку світла під час його проходження через віртуальну сцену. Процес починається з генерації променів, які виходять з точки зору камери та направляються у віртуальну сцену. Всі об'єкти віртуальної сцени розділяються на групи, які взаємодіють зі світлом – поглинають, пропускають чи відбивають його. Очі гравця використовуються як вихідна точка, з якої випускається віртуальний промінь. Вздовж свого шляху промінь взаємодіє з усіма об'єктами, такими як NPC, ігрові персонажі, будинки, автомобілі, меблі, ящики, бочки і т.д. Коли промінь зіштовхується з об'єктом, розраховується точка перетину променя з поверхнею об'єкта, яка містить інформацію про колір та яскравість. Ці дані використовуються для створення остаточного зображення. З певного погляду імітація променів – це спроба відтворити сприйняття світла людським оком.

Промені, які виходять від джерела світла та взаємодіють з поверхнею об'єкта, можуть відбиватися, поглиблюватися та переломлюватися, імітуючи при цьому фізичні закони світла в реальному світі. Крім того, рейтрейсинг вміє створювати реалістичні тіні, використовуючи фізичні властивості об'єкта та положення джерела світла. Ці властивості можуть бути використані для створення складних ефектів, таких як дощ у сонячну погоду, пронизаного неоновим світлом туману в Cyberpunk 2077 або відображення Людини-Павука в машинах, які проходять поруч. В результаті отримується більш живе та правдоподібне зображення з реалістичним освітленням, тінями і відображеннями, навіть у грах, які призначені виглядати менш привабливо. Прикладом цього є порівняння

роликів з Minecraft і Quake 2. Графічно обидві гри можуть виглядати застаріло, як печерні малюнки, але з додаванням нового освітлення вони оживають новими кольорами [11, с. 50].

Зазначимо відразу, що трасування променів - це досить складний та ресурсомісткий процес, який накладає серйозне навантаження на відеокарту. Виробники відеокарт прагнуть вирішити цю проблему різними шляхами: наприклад, Radeon, як завжди, намагається розробити хитре програмне рішення, доступне для більшості простих гравців. З іншого боку, NVIDIA обрала шлях максимальної якості і вирішила використовувати окремі обчислювальні ядра для рейтрейсингу (прикладом є відеокарти серії Turing, Ampere і Ada Lovelace).

Перші реалізації цієї технології були відзначені певними суперечками. У 2019 році відеокарти значно подорожчали, тому нововведення обійшло стороною звичайних геймерів. Крім того, самі розробники ігор не завжди повністю розуміли, що відбувається, і часто додавали підтримку "RT On" просто для відзначення, подібно до тривимірного кіно після успіху першого "Аватара". Як результат, в іграх, таких як Cyberpunk, Battlefield V і Metro Exodus, з додаванням рейтрейсингу помітно покращилися продуктивність роботи. Але в Call Of Duty: Modern Warfare та Shadow Of The Tomb Raider відеокарти практично диміли від підвищеного навантаження, а графіка майже не змінювалася [18, с. 54].



відеокартах GeForce RTX 30XX

Щоб переконати громадськість у серйозності та тривалості рейтрейсингу, осінню 2020 року керівництво NVIDIA представила нове покоління відеокарт GeForce Ampere з RT-ядрами нового покоління. Кількість ядер для обробки освітлення була збільшена, їх ККД підвищено, а все це приправлено новими алгоритмами імітації та оптимізації освітлення. Наприклад, новий метод трасування вторинного рівня (Secondary Ray Tracing) ефективно працює з глобальним та локальним освітленням, точніше обробляє динамічні тіні і моделює поверхню матеріалів у внутрішньоігровій сцені [10, с. 36].

З впровадженням технології SCG (Simultaneous Computer and Graphics), відеокарти RTX 30XX можуть розділяти графічну та обчислювальну роботу між різними типами ядер, виконуючи їх незалежно одна від одної. Розвиток технології штучного масштабування DLSS 2.0 дозволив інженерам суттєво знизити навантаження рейтрейсингу на відеокарту, залучаючи ШІ для домальовування пропущених кадрів. Загалом результат вийшов набагато красивіший та ефективніший, ніж пару років тому. Однак це був лише проміжний етап перед завершальним актом.

Один із найпростіших алгоритмів визначення видимості для певного пікселя полягає в тому, що з центру проектування через даний піксель випускається промінь і знаходиться перетинання цього променя з гранями сцени, що найближче до картинної площини (рис. 1.2.).

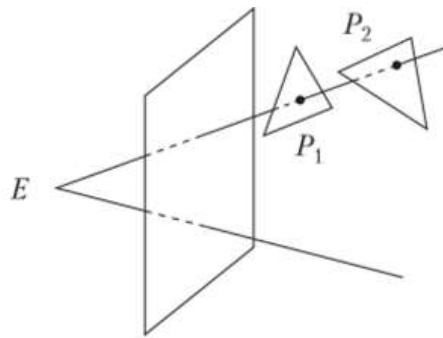


Рис. 1.2. Метод трасування променів

Цей алгоритм називається *методом трасування променів (ray casting)*. Даний метод отримання фотореалістичних зображень можна узагальнити до трасування променів. Сам алгоритм трасування променів можна представити у вигляді такого фрагмента псевдокоду:

```
python
for кожен піксель:
    for кожен об'єкт:
        знаходження перетину та порівняння відстані
```

Найпростіша реалізація цього алгоритму має обчислювальну складність $O(NP)$, де N - кількість об'єктів, P - кількість пікселів. Проте існують оптимізації, що дозволяють отримати оцінку $O(P \log N)$. Однією з переваг цього алгоритму (окрім його простоти) є можливість обробки різноманітних об'єктів, які не обов'язково є багатокутниками. Основна вимога до об'єкта - здатність знаходження точок перетину об'єкта з будь-яким променем [15, с. 88].

Проте на практиці цей алгоритм рідко використовується для рендерингу в режимі реального часу і є досить витратним за ресурсами.

Трасування променів ідеально підходить для ситуацій, де можна ігнорувати відносно довгий час рендерингу, таких як статичні комп'ютерні зображення чи візуальні ефекти у кіно та телебаченні. Однак в реальному часі цей підхід, як правило, не є оптимальним і частіше за все використовується для додатків, де продуктивність має вирішальне значення, таких як відеоігри. Останнім часом апаратне прискорення для трасування променів у реальному часі стало стандартом для комерційних графічних карт, і графічні API дотримуються цього стандарту, заохочуючи розробників впроваджувати цей підхід у ігри та інше програмне забезпечення, де продуктивність у реальному часі є ключовою.



Рис. 1.3. Використання трасування променів для зеркального відображення на гладких поверхнях

Рейтрейсинг - це метод, що імітує фізичну поведінку світла, забезпечуючи реалістичне освітлення та тіні у віртуальних сценах. Алгоритм трасування променів використовує промені світла, які перетинають віртуальну сцену, взаємодіючи з об'єктами та створюючи фотореалістичні зображення.

Трасування променів має вагомі переваги, такі як можливість моделювання відбиття, переломлення та тіней, що дозволяє отримати більш реалістичні зображення порівняно із традиційним методом растеризації. Алгоритми трасування променів, хоч і більш ресурсомісткі, дозволяють створювати вражаючі візуальні ефекти та отримувати високу якість зображень [4, с. 156].

Також варто зазначити, використання трасування променів у сучасних відеокартах, де виробники, такі як NVIDIA, використовують спеціальні обчислювальні ядра для рейтрейсингу, спрямовані на підвищення продуктивності та якості зображень. Попри те, що трасування променів залишається витратним за ресурсами для рендерингу в реальному часі, апаратне прискорення і технічні інновації зменшують його обмеження, забезпечуючи великий потенціал для фотореалістичної графіки у майбутньому.

1.2. Аналіз існуючих підходів та алгоритмів трасування променів

Відомі компанії, які спеціалізуються на візуальних ефектах та розробці мультфільмів, такі як PIXAR, а також провідні виробники апаратного забезпечення для ПК, включаючи INTEL, nVidia та AMD, активно працюють над оптимізацією та прискоренням алгоритмів трасування променів. PIXAR та інші компанії, які виробляють візуальні мультфільми, обмежують використання цього методу, щоб уникнути перевантаження обчислювальних потужностей.

INTEL планує використовувати інструкції пакетної обробки даних SSE 1,2,3,4,5+ для прискорення обробки векторів. Трасування променів ідеально підходить для паралельних обчислень, і алгоритм може використовувати переваги сучасних процесорних технологій, таких як SIMD, Hyper-Threading та багатоядерні процесори.

Використання SIMD для трасування променів виявляється складнішим через залежність алгоритму від пропускну здатності пам'яті, оскільки кожен промінь обчислюється для перевірки перетинання з примітивами. Тем не менш, nVidia використовує власний підхід, використовуючи CUDA та OptiX Engine, що дозволяє розпаралелювати обчислення на графічних чипах та значно прискорює рендеринг в порівнянні із програмними методами [16, с. 78].

AMD також може похизуватися аналогічним рішенням - AMD Cinema 2.0. Цей продукт базується на движку OTOY, який представляє собою результат співпраці між AMD, Otoy та Lightscape. "Cinema 2.0" розроблено як інструмент для реального часу розрахунку трасування променів на графічних процесорах Radeon (серії чипів v7x0, v8x0, де старші моделі мають обчислювальну потужність близько 1 TFLOP при роботі з числами формату QFLOAT) і центральних процесорах AMD Phenom.

Компанія Caustic пропонує готовий OpenGL і GLSL API, а також багатоплатформенний OpenRL SDK, який став стандартом для розробки комплексних рішень із синтезу зображень за допомогою технології трасування променів. Вони також представили своє унікальне апаратне рішення, CausticONE, яке дозволяє синтезувати зображення за допомогою бібліотек OpenRL до 20 разів швидше, ніж сучасні GPU і CPU.

Splutterfish випустила свою систему рендерингу - Brazil r/s (Brazil Rendering System). Це основний продукт SplutterFish, який реалізований як плагін до популярних програм AutoDesk, таких як 3ds Max, Rhinoceros, Autodesk Maya, а також як окремий модуль standalone. На комерційній основі в даний час доступна тільки версія для 3ds Max, тоді як версія для Rhino 3D перебуває в відкритому бета-тестуванні через McNeel and Associates. Brazil r/s використовує рейтрейсінг для рендерингу та має кілька алгоритмів обчислення глобального освітлення, таких як QMC і Photon

Mapping. Ці технології були використані компанією Lucas Arts при створенні ефектів для фільму "Зоряні війни: Епізод 3" [24, с. 88].

Адаптивна вибірка променів – це техніка, яка регулює кількість та розподіл променів, що випускаються для заданого пікселя, враховуючи складність сцени в цьому пікселі. Це може значно поліпшити ефективність рендерингу та якість зображення.

Існує кілька різних методів адаптивної вибірки променів. Ось деякі з найпоширеніших:

- Локальна адаптивна вибірка (Local adaptive sampling): найпростіший метод адаптивної вибірки променів, який використовує локальну оцінку складності сцени для визначення кількості променів для кожного пікселя. Наприклад, алгоритм може використовувати варіюваність результатів попередніх вибірок променів для оцінки складності пікселя.
- Мультивимірна адаптивна вибірка (Multidimensional adaptive sampling): більш складний метод, який використовує багатовимірну оцінку складності сцени для визначення кількості променів на піксель. Наприклад, алгоритм може використовувати глибину найближчого перетину для оцінки складності пікселя.
- Адаптивна вибірка з кількома швидкостями (Adaptive multi-rate sampling): використовує кілька різних швидкостей вибірки променів для різних областей сцени. Наприклад, низька швидкість для менш складних областей і висока для більш складних.

Вибір конкретного методу залежить від вимог до рендерингу. Місцева адаптивна вибірка є простою та ефективною, підходить для більшості випадків. Мультивимірна адаптивна вибірка точніша, але може бути менш ефективною [3]. Адаптивна вибірка з кількома швидкостями представляє хороший компроміс між точністю та ефективністю [30, с. 45].

Нижче наведено кілька прикладів того, як адаптивна вибірка променів може покращити якість зображення:

- Зменшення шуму: використання адаптивної вибірки променів дозволяє зменшити шум на рендерованих зображеннях. Це досягається за допомогою алгоритму, який кидає більше променів для областей сцени, які є більш складними або мають велику ймовірність містити шум.

- Покращення точності відображення: адаптивна вибірка променів може підвищити точність відображення складних сцен. Це досягається завдяки алгоритму, який кидає більше променів для областей сцени, які ймовірно містять складні геометричні форми або матеріали.

- Підвищення продуктивності: використання адаптивної вибірки променів може покращити продуктивність рендерингу. Це досягається через алгоритм, який кидає менше променів для областей сцени, які є простими або ймовірно не містять важливої інформації.

Метод трасування променів є засобом генерації зображень високої фотографічної якості і вважається одним із найбільш реалістичних методів. У процесі побудови зображення промінь відправляється у зазначеному напрямку для оцінки світлової енергії, враховуючи освітленість першої поверхні, з якою він зіштовхується.

Механізм виникнення освітленості можна пояснити наступним чином: кожне джерело світла випромінює промені у всі напрямки. При потрапленні на поверхню промінь частково відбивається, частково переломлюється і частково розсіюється. Якщо промінь пройшов через прозорий матеріал, відбувається природне ослаблення [19, с. 76].

Виділяють пряме і зворотне трасування променів. Пряме трасування променів є неефективним, оскільки воно починається з джерела світла. У зворотньому трасуванні променів відслідковуються лише ті промені, які потрапляють в око спостерігача. Це виконується так, що через кожен піксель екранної площини ока спостерігача пропускається промінь, який потім відслідковується в зворотньому напрямку. Коли промінь зіштовхується з поверхнею, інтенсивність відповідного пікселя екрана

визначається освітленістю найближчої точки перетинання променя з поверхнею. У випадку відсутності об'єкта на шляху променя освітленість береться з навколишнього простору (наприклад, небо або земля за допомогою спеціально спроектованої однорідної моделі поверхні).

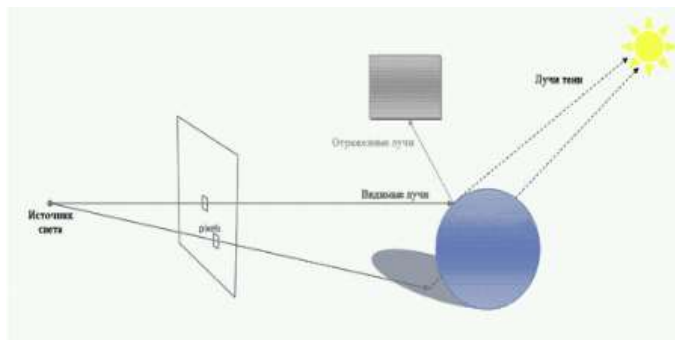


Рис. 1.4. Алгоритм трасування променів

У даному алгоритмі використовуються прості математичні співвідношення. На етапах геометричних перетворень, розрахунку параметрів освітленості і растровання вони виконуються одночасно. Однак це призводить до значних втрат часу, що до недавнього часу обмежувало його використання як методу синтезування комп'ютерної графіки.

Для прискорення алгоритму трасування променів були розроблені алгоритми міжпіксельної інтерполяції. Щодо оптимізації самого алгоритму трасування променів, можливість виконати аналіз перетинання променів і об'єкта або розпаралелізувати окремі завдання [24, с. 78].

З огляду на те, що для багатьох застосувань швидкість рендерингу є важливішою, ніж точність відображення, в алгоритм Ray-Tracing вносились різні модифікації для прискорення його роботи. Зазначимо, що збільшення частоти кадрів часто досягалося шляхом зниження якості зображення під час руху камери та об'єктів.

Додано примечание ([1]): в цьому реченні
бракує скгогось дієслова

Зрозуміло, що суміжні пікселі трасуємого зображення мають приблизно однаковий колір. У практиці, для сцени середньої завантаженості більше 70% піксельних сегментів (областей пікселів, які мають менше ніж 1% різниці в кольорі), і всього лише приблизно 8% становлять крайні області (області пікселів, які відрізняються більш ніж на 25% в кольорі). Ці дані вказують на те, що більшість часу витрачається на обробку пікселів з приблизно однаковим кольором. Основна ідея полягає в зміні цієї ситуації.

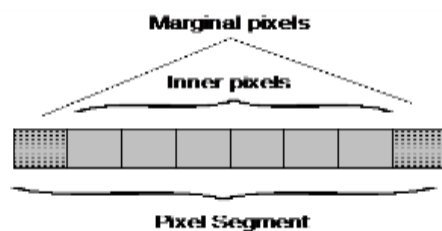


Рис. 1.5. Рядкова піксельна інтерполяція

Навіть якщо фактична довжина сегмента може варіюватися, найчастіше вона становить 4-6 пікселів. В такому випадку складне застосування методів інтерполяції стає недоцільним, і в цій роботі розрахунок кольору внутрішніх пікселів виконується за формулою 1:

$$P_{inner} = (P_{left} + P_{right}) / 2 \quad (1)$$

Основна перевага такого підходу полягає в його простоті і високій ефективності. Але виникає питання, як визначити місцезнаходження сегментів. Класичний алгоритм трасування променів слідкує за кожним пікселем площини незалежно, тож без попередньої інформації не можна гарантувати точне виділення однорідних сегментів пікселів [24, с. 78].

Отже, ідея модифікації алгоритму трасування полягає в наступному:

1. Трасувати менше пікселів, ніж загальна кількість, яка визначається розміром зображення.

2. Застосовувати механізм інтерполяції для отримання значення непростежених пікселів.

3. Використовувати крок трасування та коефіцієнт максимального розходження в кольорі крайніх пікселів для досягнення бажаної якості рендерингу.

4. При неефективності трасування коригувати його крок.

Інтерполяція - це спосіб обчислення проміжних значень величини, враховуючи наявний дискретний набір відомих значень.

Блокова міжпіксельна інтерполяція:

1. Кожному пікселю зображення призначається свій процесорний елемент (PE) (можливо, віртуальний).

2. Два суміжні PE обчислюють крайні пікселі одного сегмента.

3. У кожного PE є ідентифікатор, що змінюється в межах від 0 до N_{max} .

4. Усі процесорні елементи мають ідентичну структуру.

Якщо розглядати зображення 1024 на 1024 пікселі, і кожному пікселю призначений свій процесорний елемент, отримаємо велике число процесорів (1 058 576), що є неефективним. Таким чином, застосування методу, в якому блоки розміром 4 на 4 пікселя повністю обґрунтоване.

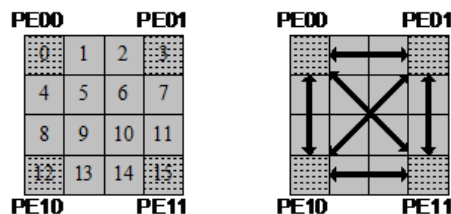


Рис. 1.6. Блокова піксельна інтерполяція 4 на 4 пікселя

Отже, трасування виконується лише для чотирьох пікселів, які знаходяться в кутах блока. Значення інших пікселів визначається за допомогою інтерполяції згідно з формулою 1. Таким чином, досягається

підвищення продуктивності порівняно з простим алгоритмом трасування променів.

1.3. Особливості практичного застосування технології трасування променів та її перспективи в геймдизайні

Трасування променів або Ray Tracing є методом рендерингу в іграх, який дозволяє дуже точно імітувати відображення світла від об'єктів, створюючи більш реалістичні тіні, відображення і світлові ефекти.

Ray Tracing дозволяє створити надзвичайно реалістичне освітлення, що практично не відрізняється від реального. Алгоритм враховує, де саме промінь світла стикається з об'єктом, враховує властивості поверхні і обчислює, яким чином цей промінь поводить, враховуючи розсіювання, відбиття від інших об'єктів, зміну кольору та тінь [34, с. 67].

Можна сказати, що в цифровому середовищі просто перенесено роботу світла з реального світу, за винятком того, що замість справжнього фотона використовується віртуальний, який взаємодіє з віртуальним об'єктом, що має певні властивості. Точка зіткнення з моделлю визначає подальший рух променя.

У певному сенсі трасування променів є спробою симулювати спосіб, яким працює людський зір.

Ray Tracing в ігровій індустрії використовується для покращення графічного відображення об'єктів, освітлення та тіней у відеоіграх. Він може створювати більш точне і реалістичне освітлення, тіні та рефлексії, що відображаються на об'єктах в грі. В ідеальному комп'ютерному світі трасування має враховувати нескінченну кількість променів та відбиттів, але для оптимізації в іграх використовується лише обмежена кількість джерел світла та ітерацій Ray Tracing. Це дозволяє створювати реалістичні картини, не перевантажуючи графічну підсистему [14, с. 78].

На рисунках 1.7 та 1.8 представлено застосування Ray Tracing в іграх та порівняння якості з увімкненим та вимкненим трасуванням променів.



Рис. 1.7. Приклад RayTracing в грі Cyberpunk 2077



Рис. 1.8. Приклад RayTracing в грі Metro:Exodus

Однак трасування променів (Ray Tracing) вимагає значно більше обчислювальної потужності, ніж традиційні методи рендерингу, і, таким

чином, не всі ігри використовують цей метод. Проте, завдяки появі нових технологій та потужних пристроїв, Ray Tracing стає все більш популярним в ігровій індустрії, надаючи можливість створювати надзвичайно деталізовані та реалістичні світи в іграх [25, с. 78].

Технологія трасування променів RTX (Ray Tracing eXperience) є інноваційною складовою сучасної ігрової графіки. Вона моделює реалістичну поведінку світла, що дозволяє отримати максимально реалістичне зображення в іграх та передає складні візуальні ефекти, такі як відображення на поверхні, зміна кольору, поява тіней та інші. Зазвичай у комп'ютерних іграх для імітації світлових ефектів використовується метод растеризації, який використовує створені раніше зображення та тіні. Однак цей метод не враховує руху променів світла в реальному часі, що робить гру менш реалістичною. Технологія RTX піднімає візуалізацію на новий рівень, дозволяючи візуальним ефектам відображатися так, як це відбувається в реальному житті.



Рис. 1.9. Приклад трасування променів

Для того, щоб розраховувати всі промені в реальному часі, необхідна відповідна потужність. З цією метою NVIDIA створює відеокарти з RT-ядрами.

Серед популярних відеоігор, які підтримують трасування променів, можна виділити такі, як Battlefield V, Control, Metro Exodus, Quake 2 RTX, Shadow of the Tomb Raider, Stay in the Light, Wolfenstein Youngblood, Call of Duty: Modern Warfare, Cyberpunk 2077, Watch Dogs: Legion, Deliver Us the Moon. Планується випуск ще більшої кількості ігор із підтримкою цієї технології, а також деякі розробники обіцяли вбудувати трасування променів в ігри, які вже вийшли.

Технологія RTX має перспективи в індустрії комп'ютерних ігор, дозволяючи покращити не лише візуальну частину, але й звук та поведінку штучного інтелекту. Наразі відеокарти з підтримкою трасування променів відносяться до високого цінового сегменту, проте є надія, що вони стануть доступнішими для більшого кола геймерів у найближчому майбутньому.

RTX 2070 Super, заснована на архітектурі NVIDIA Turing та обладнана швидким графічним процесором з 320 тензорними та 40 RT-ядрами, визначається як кращий вибір для тих, хто хоче насолодитися RTX-променями. Вона забезпечує високу тактову частоту, що приносить переваги в іграх і забезпечує більш швидку роботу в додатках для обробки відео та зображення [25, с. 89].

Головні переваги цієї моделі включають:

1. Сучасний графічний процесор NVIDIA Turing із підтримкою технології RTX, шейдерами нового покоління та розширеними можливостями штучного інтелекту, що забезпечує до 6 разів більшу продуктивність порівняно з попереднім поколінням NVIDIA Pascal 10-ої серії.

2. Завдяки тензорним ядрам операції з підключенням штучного інтелекту мають продуктивність 100 T-FLOPS та вище, що значно покращує швидкодію відеокарти в іграх.

3. Використання RT-ядер прискорює процес трасування променів, дозволяючи відображати об'єкти на екрані з реалістичними світловими ефектами, такими як тіні та відображення.



Рис. 1.10. Ефективність трасування променів

Основні технічні характеристики відеокарти GeForce RTX 2070 Super включають:

- Архітектура GPU - Turing 4.
- Ядро - TU-104.
- Частота роботи ядра - від 1605 до 1770 МГц.
- Частота роботи пам'яті (DDR) - 1750 (14000) МГц.
- Фреймбуфер (об'єм відеопам'яті) - 8 ГБ GDDR6.
- Шина - 256-бітна з пропускною спроможністю 448 ГБ/с.

RTX 2070 Super є ідеальним вибором для тих, хто бажає насолодитися всіма перевагами інноваційної ігрової графіки та сучасного геймдизайну [45, с. 78].

Розглянемо трасування променів (Ray Tracing) в ігровій індустрії та його використання в відеокарті GeForce RTX 2070 Super. Техніка

трасування променів дозволяє створювати реалістичні візуальні ефекти в іграх, враховуючи взаємодію світла з об'єктами.

GeForce RTX 2070 Super використовує інноваційну технологію трасування променів (RTX) для забезпечення максимально реалістичного відображення світла в іграх. Відзначаються технічні характеристики відеокарти, такі як архітектура GPU Turing 4, ядро TU-104, частота роботи ядра від 1605 до 1770 МГц, 8 ГБ пам'яті GDDR6 та інші параметри, що сприяють високій продуктивності.

Трасування променів в іграх, як показано на прикладі популярних тайтлів, таких як Battlefield V, Control та інші, дозволяє отримати вражаючу реалістичність відображення світла та тіней. Інноваційні технології, такі як RTX, забезпечують високу якість графіки та створюють можливість для майбутнього розвитку в галузі комп'ютерних ігор [24, с. 68].

Важливо відзначити, що технологія трасування променів вимагає значних обчислювальних потужностей, і вона стає доступною завдяки відеокартам, таким як GeForce RTX 2070 Super, які оснащені RT-ядрами для оптимізації цього процесу. Індустрія комп'ютерних ігор поступово рухається в напрямку використання трасування променів для створення більш реалістичних іммерсивних геймплейів.

1.4 Постановка задачі

Відповідно до мети, завдання роботи полягає у модифікації алгоритму трасування променів для підвищення продуктивності рендерингу зображення у реальному часі за допомогою штучного інтелекту. Також зображення модифікація не має залежати від апаратних додатків, працювати на відеокартах з підтримкою шейдерів.

Вимоги до програмно-технічного забезпечення:

Апаратне забезпечення:

1. Процесор – Intel Core i3 або вище;
2. Оперативна пам'ять – від 4 Gb;
3. Жорсткий диск від 500 Gb;
4. Відеокарта з підтримкою шейдерів;
5. Клавіатура та миша;
6. Вільний доступ до інтернету.

Програмне забезпечення:

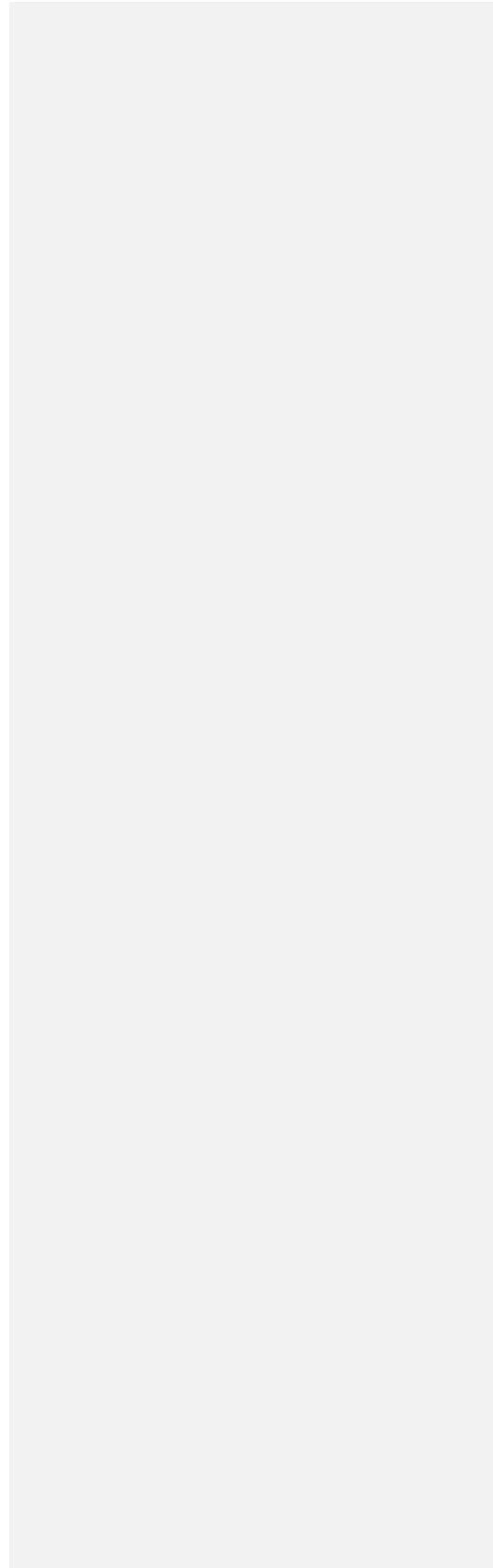
1. Операційна система – Microsoft Windows 10 або вище;
2. Мова програмування – C++;
3. Компілятор – MSVC;

Висновки до першого розділу

Аналізуючи теоретичні засади трасування променів, було з'ясовано, що цей підхід є важливим елементом у створенні реалістичних графічних зображень. Алгоритми трасування променів дозволяють моделювати розповсюдження світла та взаємодію з поверхнею об'єктів, що призводить до створення реалістичних та ефективних візуальних ефектів. Окрім того, досліджено різні підходи та алгоритми реалізації трасування променів, від простих до складних. З'ясовано, що вибір конкретного алгоритму залежить від конкретних умов завдання та вимог до реалізації.

У ході аналізу були виявлені важливі аспекти оптимізації алгоритмів трасування променів, спрямовані на покращення їхньої продуктивності та ефективності в умовах реального часу. Велика увага приділена питанням оптимізації алгоритмів у контексті сучасних вимог до візуалізації та графічних додатків.

Вдосконалення алгоритмів трасування променів може бути корисним для розвитку віртуальної реальності, комп'ютерних ігор, архітектурного візуалізації та інших сфер. Це може призвести до нових можливостей для творчості та інновацій у галузі графічних технологій.



РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ

2.1. Математичні моделі та методи трасування променів

Математичні моделі та методи трасування променів в комп'ютерній графіці складаються з різноманітних технік, спрямованих на моделювання поведінки світла при взаємодії з поверхнею об'єктів. Ці моделі і методи визначають візуальні аспекти сцени та враховують освітлення, кольори, відбиття та тіні.

Одним із підходів є рівняння Фонга, яке визначає освітленість поверхні, враховуючи кут падіння світла, нормаль поверхні та напрямок спостерігача. Додатково, рівняння Ньютона використовується для моделювання відбиття і преломлення світла на поверхнях з різними оптичними властивостями.

Метод трасування променів полягає в імітації руху світлових променів від джерела світла до камери чи очей спостерігача. Ці промені взаємодіють з об'єктами, збираючи інформацію про освітленість та кольори поверхонь. Пряме та зворотне трасування є основними методами, де пряме трасування моделює світлове випромінювання від джерел, а зворотне трасування визначає видимі промені для оптимізації обчислень [32, с. 57].

Додаткові методи, такі як алгоритми тінювання, амбієнтного освітлення та використання карт тіней, допомагають поліпшити реалізм сцени. Використання статистичних підходів, таких як метод Монте-Карло, дозволяє моделювати реальні світлові явища та досягати фотореалістичних ефектів.

Загалом, ці математичні моделі та методи утворюють основу для створення вражаючих візуальних ефектів у графіці та дозволяють досягти реалістичного відображення сцен в комп'ютерних іграх і кінематографії.

У даному дослідженні розглядаються три методи боротьби із шумом: використання штучного інтелекту для усунення шуму (OptiX Denoiser), використання нелокальних методів для усунення шуму (Non-local means) та підхід, який комбінує просторове та часове усунення шуму (рис. 2.1, 2.2, 2.3). Ефективність цих методів, їх обчислювальна складність та застосовність у програмах для трасування променів у реальному часі є об'єктом оцінки та порівняння в рамках дослідження. Також аналізуються математичні засади, на яких ґрунтуються ці алгоритми.



Рис. 2.1. Усунення шуму з використанням штучного інтелекту (OptiX)

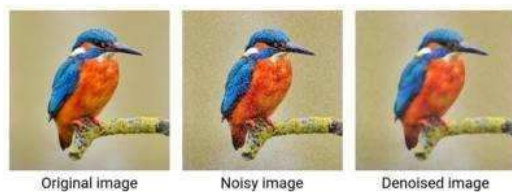


Рис. 2.2. Усунення шуму нелокальними засобами (Non-local means)



Рис. 2.3. Усунення шуму комбінованими методами

Оптимізовано рушій OpenGL для використання обчислювальних шейдерів при трасуванні променів на відеокарті NVIDIA RTX 3060. Вибраний алгоритм усунення шумів інтегрується в рушій, а оцінка його ефективності здійснюється з урахуванням показників, таких як час на кадр і якість зображення.

Порівняльний аналіз методів усунення шумів спрямований на розуміння їхніх переваг і недоліків у сценаріях трасування променів у реальному часі. Крім того, інтеграція обраного методу в рушій на основі OpenGL відображає його практичне використання та потенціал для подальших вдосконалень [24, с. 78].

Вивчення літератури від авторів, таких як Galvan A., Kalantari N. K., та Lehtinen J., надає міцну теоретичну базу для проведеного дослідження. Отримані результати можуть сприяти розробці більш ефективних та візуально привабливих програм трасування променів у реальному часі.

У підсумку, оптимізація рушія OpenGL для обчислювальних шейдерів у трасуванні променів на відеокарті NVIDIA RTX 3060 відкриває шлях до вдосконалення ефективності та візуальної якості графіки в режимі реального часу. Аналіз різних методів усунення шумів вказує на те, що

інтеграція цих методів може призвести до значного покращення у відображенні реальних сценаріїв.

Важливим аспектом є практичне застосування обраного алгоритму у рушії на основі OpenGL, що підкреслює його реальний потенціал у сфері трасування променів. Знання, отримане з результатів цього дослідження, відображається в теоретичних підставах відомих дослідників, що сприяє виробленню поглиблених і узгоджених рішень у розробці програмного забезпечення для трасування променів у реальному часі.

У даному контексті проведено дослідження трьох методів усунення шуму в контексті трасування променів на відеокарті NVIDIA RTX 3060: OptiX Denoiser, Non-local means та комбінований просторовий та часовий метод. Проведене порівняння цих методів включає аналіз їхньої ефективності, обчислювальної складності та придатності для використання в програмах трасування променів у реальному часі [43, с. 67].

Оптимізація рушія OpenGL для обчислювальних шейдерів та інтеграція вибраного алгоритму у рушій на основі OpenGL дозволяють покращити якість зображення та зменшити шум у трасуванні променів на даній відеокарті. Це дослідження демонструє практичне застосування обраного методу та вказує на його потенціал для майбутніх удосконалень.

Отримані результати, враховуючи літературні дані від таких дослідників, як Galvan A., Kalantari N. K. та Lehtinen J., можуть слугувати основою для подальших досліджень та розробки більш ефективних та візуально привабливих програм трасування променів у реальному часі.

2.2. Аналіз методики застосування штучного інтелекту для покращення алгоритмів трасування променів

Алгоритми штучного інтелекту внесли кардинальні зміни у галузі ігор, охоплюючи моделювання фізики, анімацію, рендеринг в реальному часі та розширені можливості стрімінгу. NVIDIA революціонізує рендеринг

у реальному часі за допомогою технології гладенького рендерингу DLSS (Deep Learning Super Sampling) на базі штучного інтелекту. Нова версія DLSS 2.0 відзначається значними досягненнями у цьому напрямку.

DLSS 2.0 - це вдосконалена глибока нейронна мережа, яка ефективно використовує тензорні ядра та процесори для обчислень штучного інтелекту в графічних картах GeForce RTX. Вона прискорює частоту кадрів та одночасно покращує якість графіки у іграх. Ця технологія дозволяє геймерам зберігати продуктивність при високих налаштуваннях трасування променів та підвищує роздільну здатність зображення [32, с. 67].

DLSS 2.0 відрізняється декількома ключовими поліпшеннями. По-перше, висока якість зображення забезпечується при рендерингу всього половини пікселів. Технологія використовує тимчасову обробку для підвищення деталізації та стабільності зображення від кадра до кадра. По-друге, ефективність масштабування на всіх відеокартах GeForce RTX та при всіх роздільних здатностях значно покращена. Нова модель штучного інтелекту працює у два рази швидше, підвищуючи частоту кадрів та знімаючи обмеження на підтримку GPU, налаштування якості та роздільності. По-третє, універсальна нейромережа DLSS 2.0 працює у всіх іграх, спрощуючи реалізацію технології та розширюючи кількість ігор з DLSS. Індивідуально налаштовані параметри якості зображення у режимах "Якість", "Баланс" та "Продуктивність" надають гравцям більше можливостей вибору і підвищують продуктивність, зокрема, режим "Продуктивність" тепер забезпечує 4X супер-роздільність(рис. 2.4).



Рис. 2.4. Ефективність неймережі DLSS

Deliver Us the Moon. DLSS 2.0 істотно покращує продуктивність, при цьому зберігаючи, а іноді поліпшуючи, якість зображення. Технологія NVIDIA DLSS 2.0 вже доступна в іграх, таких як Deliver Us The Moon, Wolfenstein: Youngblood, Mechwarrior 5: Mercenaries і Control. Тепер розробники, які використовують Unreal Engine 4, можуть впроваджувати цю технологію через DLSS Developer Program, що дозволяє прискорити інтеграцію технології в одному з найпопулярніших ігрових рушіїв у світі. Деталі можна знайти тут [29, с. 67].

Розглянемо технологію DLSS 2.0. Фреймворк NGX навчає глибоку нейронну мережу за допомогою десятків тисяч еталонних зображень високої роздільної здатності, створених офлайн за допомогою суперкомп'ютера з низькою частотою кадрів у роздільній здатності 16K. Засновуючись на даних, отриманих під час тривалого навчання, неймережа може використовувати низькоякісне вихідне зображення і створювати високоякісний кадр.

Неймережа DLSS 2.0 використовує дві основні вхідні структури:

1. Зображення в низькій роздільній здатності без згладжування, яке створено ігровим рушієм.

2. Вектори руху в низькій роздільній здатності для тих самих зображень, створених ігрових рушіїв.

Вектори руху вказують, як об'єкти переміщуються від кадра до кадра. Ці вектори можна застосовувати до попереднього кадра високої роздільної здатності, раніше створеного нейромережею, щоб підвищити роздільну здатність поточного кадра (рис. 2.5).

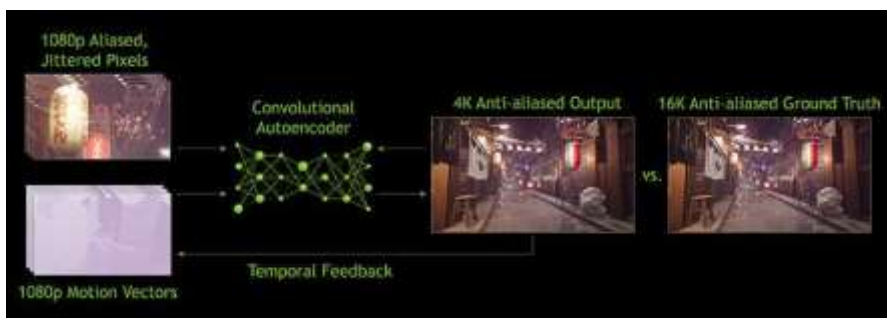


Рис. 2.5. Схема роботи DLSS

Архітектура DLSS 2.0 Специфічний тип ШІ глибокого навчання - згортковий автокодер - використовує поточний кадр у низькій роздільній здатності, порівнює його з попереднім кадром у високій роздільній здатності та піксельно визначає, як створити поточний кадр у високій роздільній здатності. Під час навчання мережі вихідне зображення порівнюється з еталонним у роздільній здатності 16K, і дані про відмінності передаються назад у мережу. Цей процес дозволяє ШІ навчатися та поліпшувати свої результати [25, с. 67].

DLSS 2.0 в іграх Технологію DLSS 2.0 можна оцінити у таких іграх, як Control, Deliver Us The Moon, Mechwarrior 5: Mercenaries, Wolfenstein: Youngblood.

Control У 2019 році гра Control від Remedy Entertainment стала однією з кращих ігор для одного гравця, а також найбільш передовою завдяки

ефектам трасування променів, які піднесли реалізм гри на новий рівень. Оригінальна версія гри використовувала попередню версію DLSS, яка, за допомогою алгоритму обробки зображень, підвищувала частоту зміни кадрів більше ніж на 70%. У березні 2023 року Remedy випустила оновлення, яке включає новий контент і нову версію DLSS 2.0 на основі глибокої нейронної мережі.

"У Control ми прагнули створити вражаючий, реалістичний світ", - поділився Міка Вехкала (Mika Vehkala), директор з технологій в Remedy Entertainment. "Трасування променів у реальному часі та NVIDIA DLSS надали неймовірну графіку в Control, а оновлення до DLSS 2.0 ще більше підвищило якість зображення".

Під час тестування DLSS 2.0 в режимі "Якість" продуктивність зросла на 76% при роздільності 1920x1080 та 2560x1440 (рис. 2.6, рис 2.7). У роздільності 4K (3840x2160) режим "Продуктивність" забезпечив прискорення в 2-3 рази(рис. 2.8), що дозволяє гравцям на GeForce RTX 2060 грати на максимальних налаштуваннях із стабільними FPS.



Рис. 2.6. Підвищення ефективності за допомогою DLSS при роздільній здатності 1920x1080



Рис. 2.7. Підвищення ефективності за допомогою DLSS при роздільній здатності 2560x1440



Рис. 2.8. Підвищення ефективності за допомогою DLSS при роздільній здатності 3840x2160

Незважаючи на те, що перша версія технології DLSS в Control підвищувала продуктивність та забезпечувала відмінну якість зображення в більшості сцен, виникали труднощі в областях із рухомими об'єктами. У свою чергу, DLSS 2.0 справляється з такими фрагментами набагато ефективніше, як це видно на рисунку 2.9.



Рис. 2.9. Різниця у відображенні рухомих об'єктів DLSS і DLSS 2.0

Знімок виконано у роздільній здатності 1080p з увімкненим режимом "Якість" у DLSS 2.0. Ця оновлена версія технології також значно покращує деталізацію та якість зображень, особливо при відображенні більш тонких деталей. Для кращого порівняння, нижче наведені зразки порівняння між оригінальною версією DLSS і вдосконаленою DLSS 2.0.

Оригінальна версія DLSS вже привнесла значне поліпшення якості графіки, але вона може виявляти обмеження у відтворенні деталей у складних областях. Завдяки оновленому DLSS 2.0 це обмеження стає менш

помітним, і тепер вдається забезпечити ще більшу чіткість і реалізм у відображенні найдрібніших деталей сцени [32, с. 67].

Нова версія технології DLSS підвищує якість графіки, ретельно враховуючи навіть маленькі деталі. У порівнянні з попередньою версією, оновлений DLSS 2.0 виявляється більш ефективним у відтворенні складних структур і подробиць. На зображеннях нижче можна побачити, як нова версія технології привносить додатковий рівень деталізації та реалізму у геймплей.



Рис. 2.10. Різниця у деталізації DLSS і DLSS 2.0

Знімок був створений з використанням роздільної здатності 1440p і активованим режимом "Якість" у технології DLSS 2.0. Зазначимо, що в інших частинах зображення, зокрема, на печатках та інших елементах, також відзначається помітне покращення. Це значно підвищує загальну

якість візуалізації та рівень деталізації у порівнянні з попередніми версіями технології.

DLSS 2.0 не тільки ефективно підвищує загальний рівень деталізації в зображенні, але також приділяє увагу деталям, таким як текст на печатках та інші малим предметам. Це відзначається вираженою якістю зображення та поліпшеною чіткістю деталей. Завдяки цим змінам у новому режимі "Якість" DLSS 2.0, гравець може насолоджуватися ще більш якісним та реалістичним візуальним досвідом у грі.



Рис. 2.10. Різниця у відображенні тексту DLSS і DLSS 2.0

Фотографія була зроблена при використанні роздільної здатності 1440p та увімкненого режиму "Якість" у технології DLSS 2.0. Зазначимо,

що плоскі текстурні елементи, такі як плакати і карта, відзначаються значним покращенням чіткості та деталізації. Це відчутно підвищує різкість зображення, що стосується не лише об'єктів обробки, але й деталей в середовищі [45, с. 78].

Завдяки технології NVIDIA DLSS 2.0 у грі Deliver Us The Moon, спостерігаємо приріст продуктивності на рівні 60% (покращення продуктивності в залежності від роздільної здатності (рис. 2.11, рис. 2.12, рис. 2.13). Цей інноваційний підхід не лише значно покращує роботу гри, але й забезпечує високу якість зображення, що порівнянна з нативним дозволом [53, с. 67].

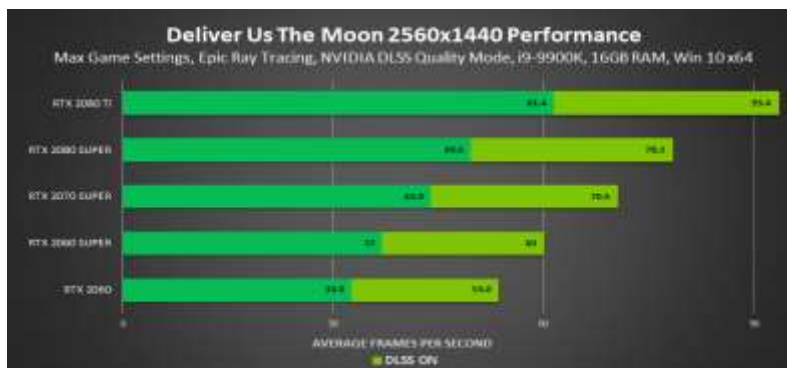


Рис. 2.11. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 при роздільній здатності 2560x1440

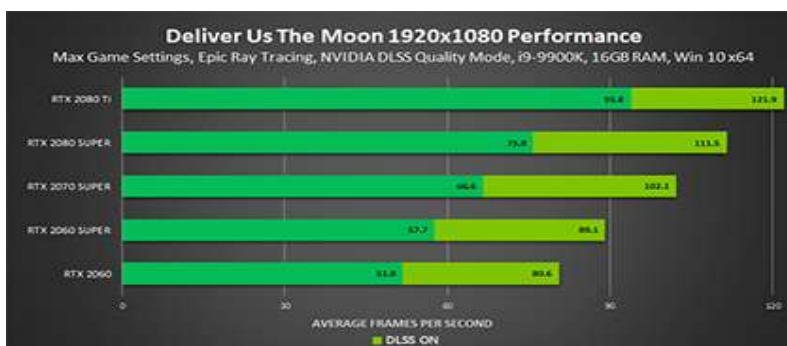


Рис. 2.12. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 при роздільній здатності 1920x1080

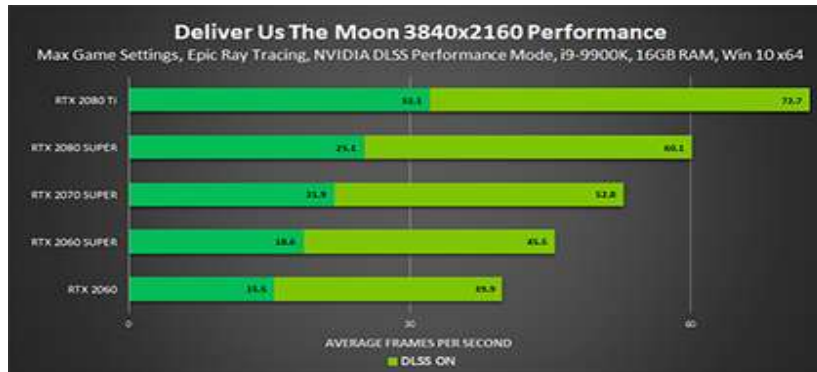


Рис. 2.13. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 при роздільній здатності 3840x2160

DLSS 2.0 в Deliver Us The Moon використовує вбудований у гру метод тимчасового згладжування, щоб надати гравцям неперевершене візуальне сприйняття. Приріст продуктивності на рівні 60% дозволяє поглибитися в ігровий світ без турботи про зниження продуктивності.

Не лише DLSS 2.0 забезпечує вражаючий приріст продуктивності, але й відзначається високою якістю зображення. Порівняно з нативним дозволом, технологія пропонує покращену деталізацію, особливо на поруччі та інших дрібних елементах. Таким чином, в грі Deliver Us The Moon ви не лише насолоджуєтесь плавністю гри, але також насолоджуєтесь кращою реалістичністю і деталізацією графічного відображення.

В інших випадках DLSS 2.0 забезпечує значне поліпшення, наприклад для металевої сітки (рис. 2.14), яка відрізняється більш високою якістю й стабільністю (чіткість при переміщенні погляду гравця). А на численних дисплеях і поверхнях із дрібним текстом у грі DLSS 2.0 показує більше промальованих деталей.



Рис. 2.14. Підвищення якості за допомогою DLSS 2.0

У грі Mechwarrior 5: Mercenaries від Piranha Games найновіша технологія NVIDIA DLSS 2.0 була впроваджена недавно, відкриваючи нові перспективи для геймерів. Ця інноваційна технологія надає значні переваги, зокрема вражаючий приріст продуктивності, що досягає навіть 75% в режимі "Якість" [41 ,с. 67].

DLSS 2.0 дозволяє гравцям насолоджуватися відмінною якістю зображення і, водночас, забезпечує істотне поліпшення продуктивності. У грі Mechwarrior 5: Mercenaries це особливо помітно, коли вибраний режим "Якість". Новий рівень деталізації і реалізму, який пропонує DLSS 2.0, додає глибину геймплею та робить ігровий процес ще захоплюючішим для шанувальників бойових роботів.

Ця інтеграція технології DLSS 2.0 в Mechwarrior 5: Mercenaries відкриває нові можливості для вдосконалення геймплею та візуального враження від гри. Гравці отримують високу якість графіки без втрати продуктивності, дозволяючи їм повністю поглибитися в захоплюючий світ майбутнього.

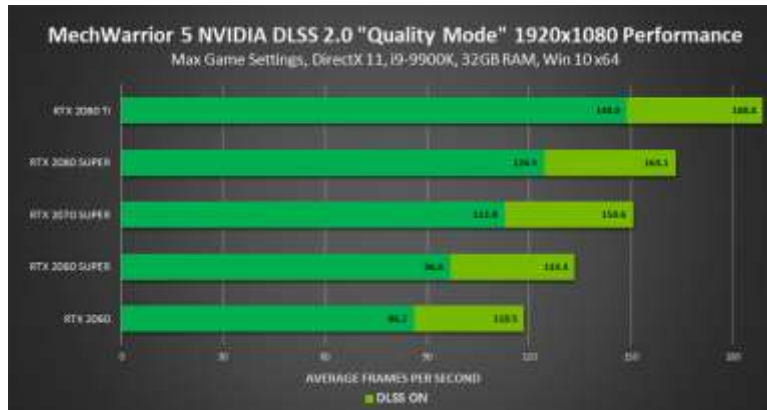


Рис. 2.15. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 в режим покращеної якості при роздільній здатності 1920x1080

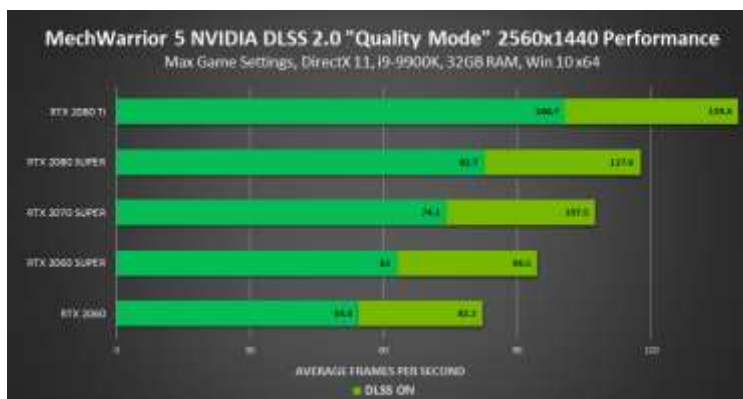


Рис. 2.16. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 в режим покращеної якості при роздільній здатності 2560x1440

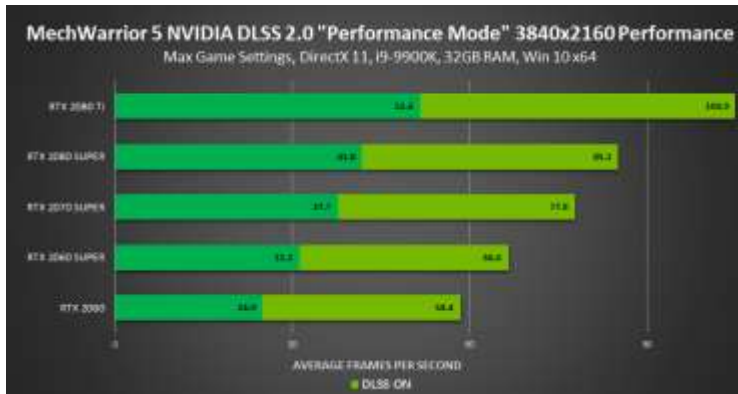


Рис. 2.17. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 в режим покращеної якості при роздільній здатності 3840x2160

"NVIDIA DLSS 2.0 із суттєвим приростом продуктивності, не порушуючи якість зображення, стає найціннішим інструментом для геймерів", - відзначає Русс Буллокк (Russ Bullock), президент Piranha Games. "SDK NVIDIA дозволяє просту і швидко інтеграцію технології, і ми з легкістю впровадили її в Mechwarrior 5".

NVIDIA DLSS 2.0 виходить за межі простої підвищення продуктивності, пропонуючи також вражаюче покращення якості зображення в різноманітних сценах гри. На порівняльному скриншоті, знятому в роздільній здатності 1440p з використанням режиму "Якість", DLSS 2.0 надає деталізацію та реалізм хутру складних об'єктів, таких як потертості та ступінь зношування на хутрі. Додатково, технологія стабілізує металеву сітку у верхній частині будівлі, що підвищує чіткість і гладкість образу під час ігрового процесу [35, с. 66].

Такий інтегрований підхід DLSS 2.0 у грі Mechwarrior 5: Mercenaries допомагає геймерам отримати не тільки більше продуктивності, але й вдосконалити візуальний досвід (рис. 2.18), роблячи гру ще більш деталізованою та реалістичною.



Рис. 2.18. Підвищення ефективності за допомогою DLSS 2.0 в режим покращеної якості при роздільній здатності 3840x2160

DLSS визначає новий стандарт у сфері трасування променів, даруючи гравцям вражаючий рівень реалістичності в їхніх улюблених іграх. Технологія трасування променів дозволяє сценам в грі максимально точно відтворювати поведінку світла, забезпечуючи захоплюючий іммерсивний геймплей.

NVIDIA DLSS 2.0, зокрема, виступає не лише як інструмент, що підвищує частоту зміни кадрів, але й як ключовий фактор для досягнення великолепної графіки та продуктивності. Наші досягнення у сфері графіки та продуктивності з DLSS 2.0 відзначаються високою якістю візуальних ефектів, які досягаються завдяки унікальним можливостям технології [24, с. 67].

Що стосується інтеграції, DLSS 2.0 від NVIDIA виводить цей процес на новий рівень, забезпечуючи геймерам і розробникам простий і ефективний спосіб використання технології. З розвитком штучного інтелекту в III мережі DLSS постійно вдосконалюється, забезпечуючи миттєве оновлення для підтримуваних ігор і ще більше покращень у графіці та продуктивності.

У світі геймінгу та візуальних технологій NVIDIA DLSS 2.0 виступає як справжній піонер, що визначає майбутнє геймдизайну і пропонує неперевершені можливості для всіх ентузіастів відмінних графічних та ігрових вражень.

2.3. Опис запропонованого методу покращення алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту

Новий метод трасування променів на основі штучного інтелекту представляє інноваційний підхід до графічного відтворення в ігровій індустрії. Цей метод використовує комбінацію адаптивної вибірки променів із застосуванням штучного інтелекту для оптимізації процесу трасування променів і поліпшення загальної якості зображення в іграх.

Однією з ключових особливостей цього методу є використання штучного інтелекту для аналізу складності сцени. Замість традиційних методів оцінки складності, штучний інтелект використовує попередньо навчену модель, що дозволяє точніше визначити, скільки додаткових променів необхідно сгенерувати для кожного пікселя.

Такий підхід дозволяє покращити продуктивність алгоритму за рахунок зменшення кількості обчислень, а використання штучного інтелекту забезпечує адаптивність методу до різних геометричних та освітлювальних умов сцени. Основна перевага полягає в здатності

оптимізувати процес трасування променів, підвищуючи якість графічного відтворення в ігрових додатках [32, с. 67].

Наведений метод представляє собою новаторську комбінацію адаптивної вибірки променів із використанням штучного інтелекту, утворюючи ефективний підхід для оптимізації трасування променів. Його перевага полягає в забезпеченні високої якості зображення при економічному використанні обчислювальних ресурсів. Основні етапи роботи цього методу можна детальніше описати:

1. Генерація початкової вибірки променів для кожного пікселя. Процес розпочинається зі створення початкового набору променів для кожного пікселя сцени.

2. Оцінка складності сцени з використанням штучного інтелекту. На відміну від інших алгоритмів, де оцінка складності сцени визначається за допомогою певного алгоритму, тут вона базується на попередньо нетренованій моделі штучного інтелекту. Це дозволяє визначити кількість додаткових променів для кожного пікселя.

3. Кинути додаткові промені для уточнення результатів вибірки. Залежно від оцінки складності сцени, додаткові промені кидаються в напрямках, які мають найбільший потенціал для уточнення результатів вибірки для кожного конкретного пікселя.

Загалом, основна ідея методу полягає в оптимізації продуктивності алгоритму шляхом раціонального використання обчислювальних ресурсів і вдосконалення результатів трасування променів. Такий підхід сприяє високоякісному рендерингу, не обтяжуючи систему зайвими обчисленнями.

Даний метод, який комбінує адаптивну вибірку променів із використанням штучного інтелекту, є кроком вперед у сфері трасування променів та оптимізації графічних алгоритмів. Особливість цього підходу полягає в його універсальності та здатності підвищувати ефективність

обчислень, не жертвуючи при цьому якістю візуального відтворення [40, с.57].

Використання штучного інтелекту для оцінки складності сцени виявляється значущим елементом, оскільки це дозволяє точно визначити, скільки додаткових променів слід викинути для кожного пікселя. Такий підхід робить алгоритм адаптивним до різних сценаріїв і забезпечує високу якість зображення, навіть у випадках зі складною геометрією чи великою кількістю джерел світла.

Важливим аспектом є також ефективне використання обчислювальних ресурсів. Метод не лише зменшує кількість обчислень, але й спрямовує їх туди, де це найбільше потрібно, оптимізуючи час рендерингу. Це зокрема дозволяє підвищити частоту зміни кадрів і стабільність гри, навіть при високих налаштуваннях трасування променів.

Враховуючи те, що технології трасування променів і штучного інтелекту постійно розвиваються, дана методика вирізняється своєю інноваційністю та можливістю покращити якість графіки в іграх, забезпечуючи більш реалістичні та захоплюючі враження від віртуального світу.

Запропонований підхід до адаптивної вибірки променів з використанням штучного інтелекту є інноваційним методом отримання високоякісного зображення при ефективному використанні обчислювальних ресурсів. Цей метод забезпечує виняткову ефективність та точність у відтворенні графічних сцен в реальному часі.

Оцінка складності сцени, що використовується в даному методі, базується на попередньо навчаній моделі, яка здобула знання, аналізуючи набір зображень, створених за допомогою традиційних методів трасування променів. Це надає моделі глибокі знання про геометричні та освітлювальні особливості сцени.

При використанні цієї оцінки для кожного пікселя визначається оптимальна кількість додаткових променів, які слід сгенерувати для максимальної деталізації та реалістичності. Такий індивідуальний підхід до генерації променів дозволяє оптимізувати використання ресурсів, уникати зайвих обчислень та забезпечувати ефективну реалізацію в графічних додатках.

Отже, впровадження запропонованого методу не лише підвищить продуктивність трасування променів, але й дозволить отримати вражаюче зображення в ігрових середовищах, зберігаючи економії обчислювальних ресурсів [42, с. 67].

Такий підхід не лише забезпечує ефективність, але і дозволяє отримати зображення високої якості, зберігаючи реалізм і деталізацію в кожному пікселі.

Окрім того, інтеграція штучного інтелекту в процес трасування променів відкриває шлях для подальших інновацій у галузі візуальних ефектів у відеоіграх та комп'ютерній графіці загалом. Персоналізований підхід до кожного пікселя і врахування динамічних змін у сцені роблять цей метод особливо ефективним у різних контекстах, від ігрових світів до віртуальних середовищ.

Такі технології відкривають нові можливості для розробників графічного програмного забезпечення та геймерів. Зростання продуктивності та покращення якості зображення стають доступнішими, що сприяє розвитку індустрії в цілому. Отже, використання методу адаптивної вибірки променів на основі штучного інтелекту відображає не лише сучасні тенденції в обчислювальній графіці, але і перспективи для майбутнього розвитку в цій сфері.

Завдяки новому методу адаптивної вибірки променів, заснованому на штучному інтелекті, галузь комп'ютерної графіки рухається вперед, впроваджуючи інновації, які відкривають безмежні можливості для

реалістичного відтворення віртуальних світів. Цей підхід не лише оптимізує процес трасування променів, роблячи його більш ефективним, але також піднімає планку щодо якості зображень у відеоіграх та інших застосуваннях комп'ютерної графіки.

Можемо очікувати, що такі технології будуть продовжувати еволюцію, надаючи геймерам та розробникам нові інструменти для творчості та вдосконалення графічного враження. Разом із зростанням використання штучного інтелекту в галузі комп'ютерної графіки, ми можемо спостерігати за розквітом нових стандартів у відтворенні віртуальних світів, що дозволить нам ще більше занурюватися у захопливі та реалістичні віртуальні реальності.

Зокрема, DLSS 2.0 дозволяє покращити деталізацію та якість зображення при використанні різних режимів, таких як "Якість", "Баланс" і "Продуктивність". Ця технологія також робить трасування променів більш реалістичним, що сприяє створенню вражаючих віртуальних світів [32 ,с .57].

Важливим етапом у розвитку комп'ютерної графіки є новий метод трасування променів, який використовує штучний інтелект для адаптивної вибірки променів. Цей метод відкриває шлях до ефективного оптимізованого трасування променів, що веде до високоякісних зображень при економному використанні обчислювальних ресурсів.

Зазначено, що ці технології не лише покращують графічний досвід гравців, але і сприяють зростанню індустрії в цілому. За допомогою штучного інтелекту та глибоких нейронних мереж, спостерігаємо еволюцію галузі, що дає нові можливості для творчості та реалізації найбільш амбіційних графічних концепцій у світі відеоігор.

Висновки до другого розділу

Отже, вивчення та аналіз різних методів модифікації дозволили визначити оптимальні підходи для покращення візуалізації складних сцен та оптимізації обчислювальних витрат. Варто відзначити, що вибір конкретного методу модифікації повинен залежати від конкретних вимог проекту та характеристик сцени. Застосування комбінації різних стратегій може мати синергетичний ефект, що сприяє більш ефективному вирішенню завдань трасування променів. Алгоритми трасування променів вимагають багато ресурсів, тому потрібно оптимізувати їх для конкретних завдань. Наприклад, для відеоігор можна зменшити кількість променів, які відслідковуються для об'єктів, які знаходяться далеко від камери.

Здійснені дослідження вказують на важливість вибору та інтеграції різноманітних стратегій, щоб досягти балансу між якістю візуалізації та обчислювальною ефективністю.

РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

3.1. Побудова алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту

Запропонований метод адаптивної вибірки променів, побудований на основі штучного інтелекту, визначається його унікальністю в оптимізації процесу трасування променів. У контексті цього методу, для отримання високоякісного зображення при економному використанні обчислювальних ресурсів, використовується попередньо навчена модель, яка базується на наборі зображень, створених за допомогою традиційних методів трасування променів.

Основний принцип роботи алгоритму полягає в розгляді кожного пікселя окремо. Початкова вибірка променів генерується для кожного пікселя, і відмінність даного методу полягає в тому, що оцінка складності сцени не визначається за алгоритмом, а використовується попередньо навчена модель. Ця модель навчається на наборі високоякісних зображень, які були створені за допомогою традиційних методів трасування променів [24, с. 88].

Після отримання оцінки складності сцени для кожного пікселя, визначається кількість додаткових променів, які необхідно кинути для отримання більш точного та деталізованого зображення. Ці додаткові промені кидаються в напрямках, що визначаються моделлю, які є найбільш вірогідними для уточнення результатів вибірки.

Отже, алгоритм адаптивної вибірки променів на основі штучного інтелекту використовує інноваційний підхід, об'єднуючи традиційні методи

трасування променів з потужністю штучного інтелекту для оптимізації та поліпшення графічних обчислень у реальному часі.

Розглянемо структуру алгоритму. Перед тим як розпочати виконання алгоритму, необхідно ініціалізувати наступні параметри:

- $Himg$, $Wimg$ - висота та ширина підсумкового зображення в пікселях.

- $Nspp$ - кількість променів, які запускаються через кожен піксель. Це необхідно для згладжування границь на підсумковому зображенні.

- $Ndepth$ - кількість допустимих відбиттів променя. Це потрібно для того, щоб алгоритм завершив свою роботу.

- $Cambient$ - фонове світло (колір пікселя при відсутності перетинань променя та об'єктів). – Cam - камера, у якої визначені параметри, такі як:

- $Ocam$ - позиція.

- $Dcam$ - напрямок. – $Urcam$ - одиничний вектор, що визначає напрямок вгору в просторі камери (для визначення базису простору камери).

- $FOVcam$ - кут огляду.

$Scene$ - зібрана сцена, у якій:

- Вказані всі об'єкти.
- У кожного об'єкта вказаний його матеріал.
- Побудована ієрархія обмежуючих об'єктів.

Сам алгоритм складається з двох функцій - $Render$ і $Castray$. Функція $Render$ перебирає всі пікселі та $Nspp$ раз викликає функцію $Castray$ для кожного пікселя, яка запускає промінь у вказаному напрямі та повертає колір [43, с. 67].

Функції виглядають таким чином:

Algorithm 1: CastRay

Input: $R(t)$, $Ndepth$, $Scene$, $Cambient$ Output: $Cout$

$Bres$, $Material$, $Phit$, u , v , $N = Intersect(R(t), Scene);$

```

    if Bres = True then Cemit = EmitMaterial(Material, u, v);
    Cattenuate, R0(t) = ScatterMaterial(Material, R(t), u, v, Phit, N);
    return Cemit + Cattenuate · CastRay(R0(t), Ndepth - 1, Scene,
Cambient); else return Cambient; end

```

Algorithm 2: Render

```

i = 0;
j = 0;
while i < Himg do while j
< Wimg do Col = Black; n = 0;
n = n + 1;
Img(i, j) = Col;
j = j + 1; end i = i + 1;
end
return Img;

```

Для реалізації даного методу була обрана мова C++ стандарту 2017 року, через його продуктивність. Для реалізації математичних обчислень була обрана бібліотека glm, тому що вона відрізняється своєю легковестністю й оптимізацією, тому що дана бібліотека підтримує SIMD. У якості тестової сцени будемо використовувати Cornell box. Дана сцена досить часто застосовується для тестування методів рендеринга.

Для реалізації цього методу була вибрана мова програмування C++ стандарту 2017 року через її високу продуктивність. Для виконання математичних обчислень було обрано бібліотеку glm, оскільки вона відрізняється легкістю та оптимізацією, а також підтримує технологію SIMD [24, с. 57].

В ролі тестової сцени використовується Cornell box. Ця сцена широко застосовується для перевірки різних методів рендерингу.

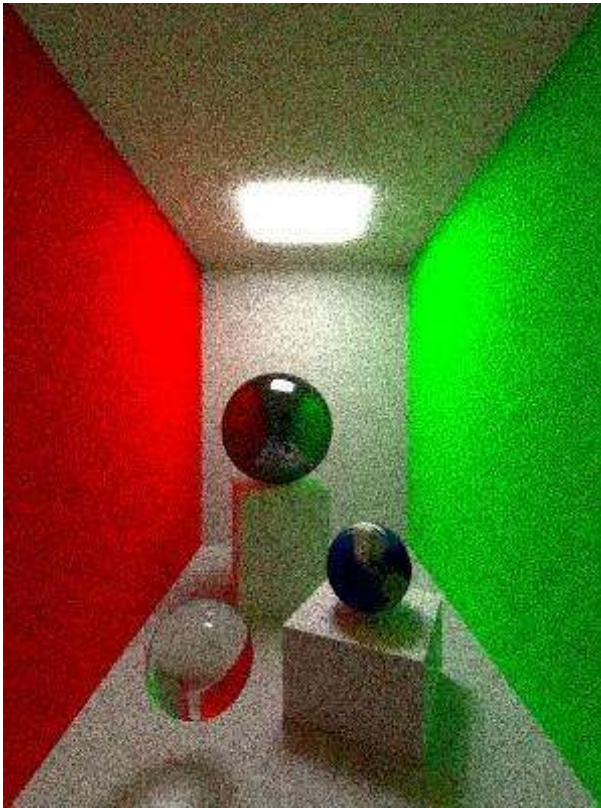


Рис. 3.1. Cornell box створений даним методом

В результаті, обрана комбінація мови програмування та бібліотеки покликана забезпечити ефективну і оптимізовану реалізацію методу. Використання стандарту C++ 2017 дозволяє користуватися оновленими можливостями мови, а бібліотека glm, підтримуючи SIMD, сприяє оптимальній роботі з математичними обчисленнями [24, с. 67].

Обрана тестова сцена Cornell box має високий ступінь використання для перевірки та порівняння різних методів рендерингу. Використання такої сцени дозволить детально оцінити ефективність розробленого алгоритму та порівняти його результати з іншими методами візуалізації сцен.

У цьому процесі розробки методу трасування променів на основі штучного інтелекту використовується комбінація мови програмування C++ стандарту 2017 та бібліотеки glm для забезпечення продуктивності і оптимізації. Вибір тестової сцени у вигляді Cornell Box дозволяє визначити ефективність алгоритму та порівняти його з іншими методами рендерингу. Основний алгоритм включає функції CastRay та Render, які взаємодіють для отримання зображення з урахуванням певних параметрів та особливостей сцени. Застосування штучного інтелекту у вигляді попередньо навченої моделі дозволяє адаптивно налаштовувати вибірку променів, покращуючи ефективність алгоритму та забезпечуючи високу якість зображення при обмежених обчислювальних ресурсах.

3.2. Проектування програмного забезпечення

Першим етапом у процесі проектування є створення структури програмного забезпечення за допомогою діаграм класів, що є ключовим інструментом у сфері об'єктно-орієнтованого програмування. Діаграми класів надають можливість відображення класів, їх атрибутів та методів, а також взаємозв'язків та іншої інформації про систему [23, с. 57].

Основні переваги використання діаграм класів включають:

1. Візуалізація структури системи: діаграми класів сприяють усвідомленню того, як класи взаємодіють та впливають на функціонування системи в цілому.
2. Виявлення проблем: вони можуть виявити проблеми у дизайні системи, такі як зайві залежності між класами або невідповідність між інтерфейсами класів.
3. Покращення комунікації: діаграми класів полегшують обговорення та розуміння структури системи серед розробників та інших зацікавлених сторін.

4. Підтримка генерації коду: вони можуть бути використані для автоматичної генерації коду, що спрощує розробку та зменшує ризик виникнення помилок.

Узагальнюючи, діаграми класів сприяють зрозумінню та відображенню складної системи у формі простої моделі, що полегшує процес розробки, аналізу та управління проектом.

На рисунку 3.2 представлено схему взаємодії компонентів розробленої системи, яка об'єднує 8 компонентів. Компонент "VirtualEnvironment" відповідає за віртуальне оточення для агентів, а модуль агента має під-модуль навігації, який взаємодіє з віртуальним оточенням.

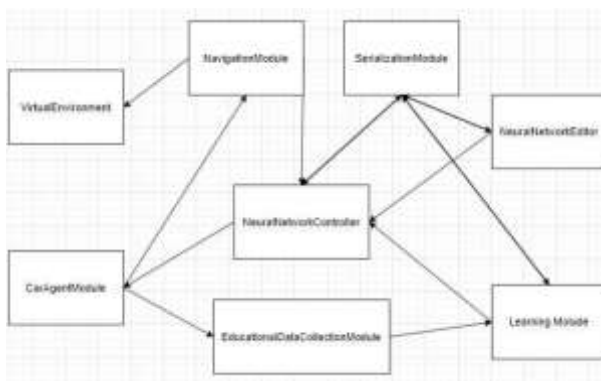


Рис. 3.2. Діаграма зв'язків між модулями розробленої системи

Система навчання нейронних мереж складається з двох модулів: LearningModule, який призначений для запуску процесу навчання на основі зібраних навчальних даних, отриманих від EducationalDataCollectionModule. Крім того, окремим компонентом є редактор, в якому можна створювати та редагувати моделі нейромереж.

Модуль Serialization необхідний для перетворення моделі ШІ в формат JSON та оберненого процесу.

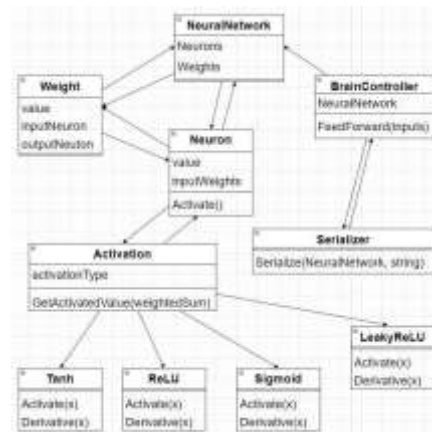


Рис. 3.3. Діаграма класів розробленої моделі нейронної мережі

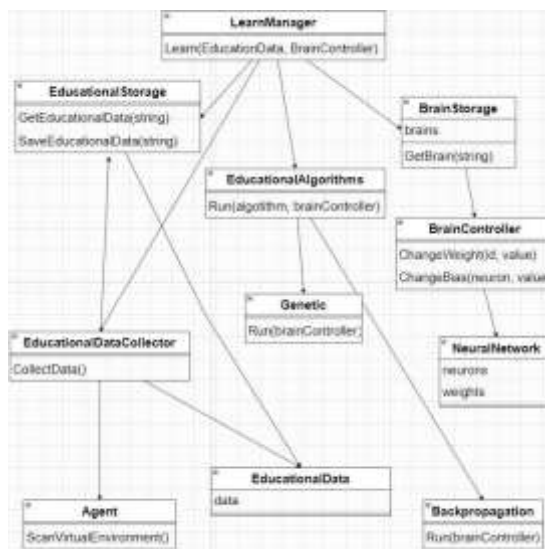


Рис. 3.4. Діаграма класів модуля навчання нейронної мережі

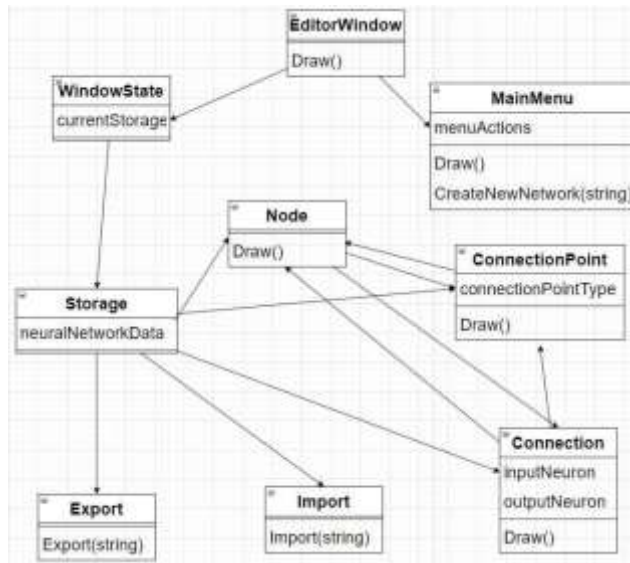


Рис. 3.5. Діаграма класів редактора нейронних мереж

Враховуючи вищенаведені аспекти системи навчання нейронних мереж та її компонентів, можна визначити кілька ключових особливостей використання розробленої ШІ для трасування променів.

По-перше, завдяки модулю LearningModule, система може ефективно використовувати зібрані навчальні дані для покращення якості трасування променів. Це дозволяє ШІ адаптуватися до різноманітних сценаріїв та використовувати отриманий досвід для оптимізації результатів [43, с. 56].

Друга особливість полягає в наявності редактора моделей, що дозволяє користувачам створювати та адаптувати нейромережеві моделі відповідно до їхніх конкретних потреб. Це робить систему гнучкою та придатною до використання в різноманітних візуальних обчислювальних завданнях.

Третя особливість полягає в модулі Serialization, який спрощує обмін інформацією між різними форматами, такими як JSON. Це робить

неймережу більш інтегрованою та зручною для використання в різних середовищах.

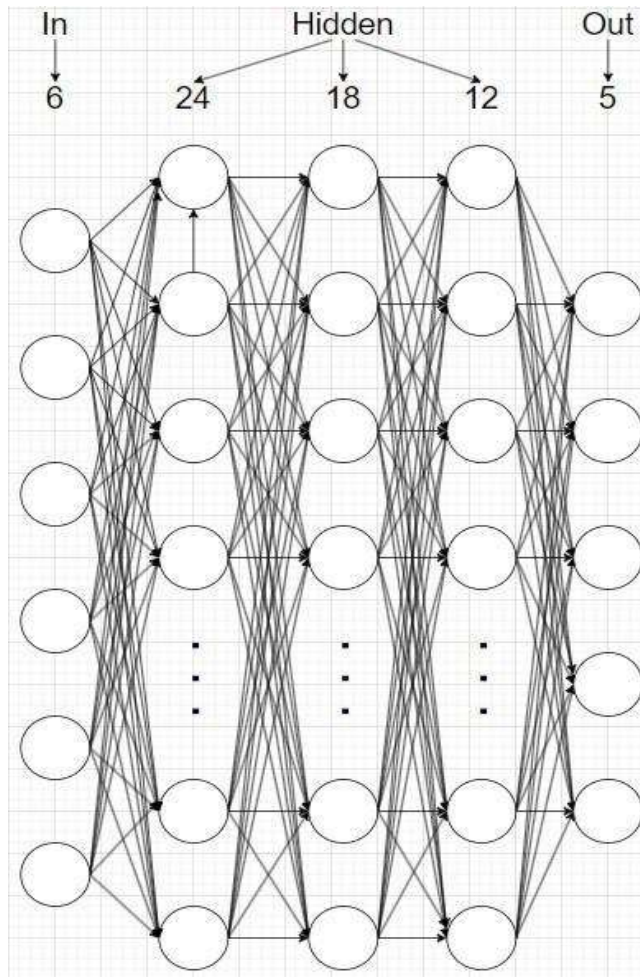


Рис. 3.6. Структурна діаграма розробленої нейронної мережі

Загалом, розроблена неймережа для трасування променів вирізняється високою адаптивністю, гнучкістю та простотою в інтеграції,

що робить її потужним інструментом у візуальному обчислювальному середовищі.

3.3. Загальна структура програмного забезпечення

Створене середовище для віртуальних агентів включає різноманітні компоненти для повноцінного використання розробленої нейронної мережі. Ці компоненти включають у себе редактор нейромереж, модель ШП, контролер моделі, модуль навчання, середовище для віртуальних агентів, модуль віртуального агента та модуль імпорту/експорту моделей у формат JSON.

Редактор нейромереж реалізований у формі зручного редактора вузлів, де кожен вузол представляє окремий нейрон. Зв'язки між вузлами передають сигнал. Цей редактор забезпечує зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє користувачам легко створювати, навчати та тестувати нейромережеві моделі. Також він підтримує експорт у формат JSON, сприяючи інтеграції з іншими програмами та дозволяючи використовувати моделі у різних сферах діяльності [34, с. 67].

Редактор також має функціонал автоматичної генерації повнозв'язних нейромереж з можливістю налаштування входів/виходів та прихованих шарів. Він дозволяє налаштовувати функції активації для кожного шару та задавати пороги генерації випадкових значень для зв'язків між нейронами. Крім того, виправлення та редагування створених моделей відбувається шляхом додавання нових шарів, нейронів, зв'язків тощо.

Узагальнюючи, дане середовище надає широкі можливості для ефективного використання розробленої нейронної мережі у візуальних обчислювальних завданнях та підтримує зручний інструментарій для її розробки та вдосконалення.



Рис. 3.7. Вікно параметрів для генерації ШІ

Нейронна мережа, в контексті оптимізації трасування променів, може надати ряд важливих можливостей для покращення продуктивності та якості рендерингу. Ось кілька ключових можливостей:

1. Покращення швидкодії: нейронні мережі можуть використовуватися для прискорення обчислень у процесі трасування променів. Вони можуть ефективно оптимізувати розподіл променів та взаємодію з сценою, що призводить до прискорення часу генерації зображення [45, с. 67].

2. Антиаліасинг та згладжування країв: нейронні мережі можуть використовуватися для виявлення та корекції артефактів, таких як драпіровка або розриви в зображенні, що можуть виникнути внаслідок трасування променів.

3. Автоматичне налаштування параметрів: нейронні мережі можуть використовуватися для автоматичного підбору оптимальних параметрів трасування променів, таких як глибина променя, кількість семплів та інші параметри, що впливають на якість та продуктивність.

4. Підвищення реалізму: нейронні мережі можуть допомагати у вдосконаленні візуальних ефектів, таких як освітлення та тіні, роблячи їх більш природними та реалістичними.

5. Оптимізація обробки тіней: мережі можуть бути використані для покращення обробки тіней, зменшення артефактів тінювання та оптимізації розподілу світла в сцені.

6. Генерація текстур та деталізація зображення: мережі можуть допомагати у високоякісній генерації текстур та деталізації зображення, що призводить до покращення загального візуального враження.

Загалом, застосування нейронних мереж в трасуванні променів може дати значний приріст у продуктивності та якості рендерингу, роблячи цей процес більш ефективним та привабливим для використання в різних областях, таких як відеоігри, візуальні ефекти та архітектурна візуалізація.

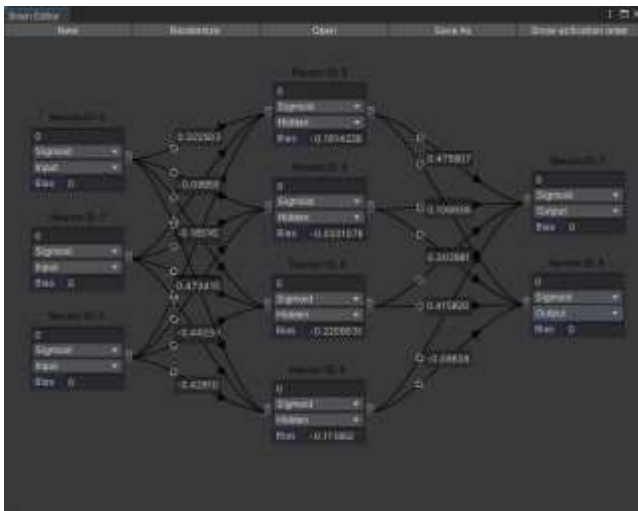


Рис. 3.8. Приклад згенерованої моделі повнозв'язного персептрона

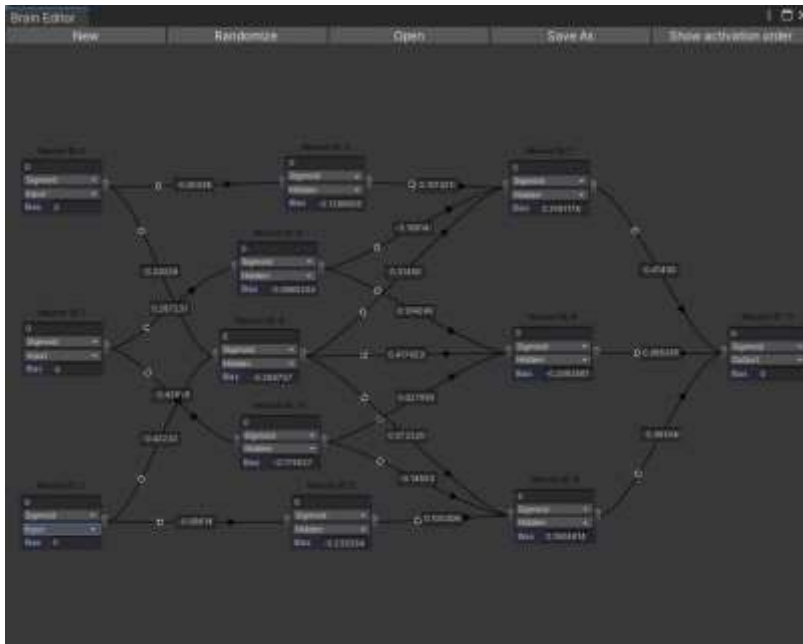


Рис. 3.9. Приклад створення довільної моделі ШІ

Редактор включає в себе ряд функцій активації, таких як:

- сигмоїда;
- ReLU (Rectified Linear Unit);
- гіперболічний тангенс (tanh);
- протікання ReLU (leaky ReLU).

Сигмоїда, яка є нелінійною функцією, широко використовується в нейронних мережах для згладжування вхідних значень та нормалізації ваг. Її вираз працює в межах від 0 до 1, де значення, близьке до 0, вказує на низький рівень активації нейрона, а значення, близьке до 1, - на високий рівень активації. Графік та формула сигмоїдальної функції представлені на рисунку 3.10.

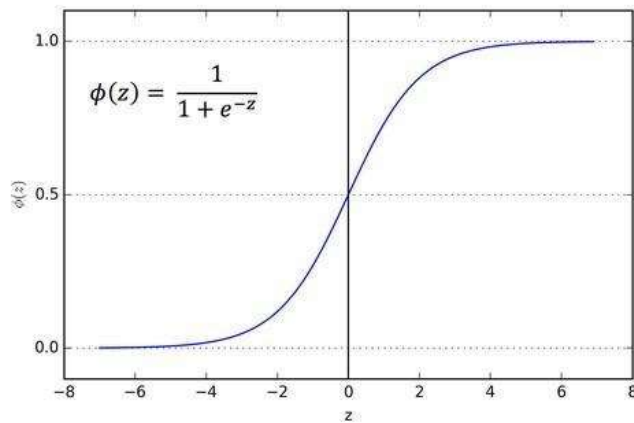


Рис. 3.10. Графік Sigmoid-функції

Основною перевагою використання Sigmoid-функції є її здатність до згладжування значень та нормалізації ваг у нейронній мережі. Крім того, Sigmoid є диференційованою функцією, що відкриває можливість використання методу зворотного поширення помилок (backpropagation) для ефективного навчання нейронної мережі.

Проте Sigmoid має певні обмеження. Одне з них полягає в тому, що при великих значеннях вхідних даних вона насичується, що призводить до дуже маленьких значень похідної. Це може сповільнити процес навчання нейронної мережі. Крім того, Sigmoid не зберігає знак значення, що може викликати проблеми при обробці від'ємних значень.

У загальному, Sigmoid-функція активації є корисним інструментом для нормалізації та згладжування вхідних даних в нейронних мережах, і вибір її використання залежить від конкретних вимог задачі [41, с. 88].

Tanh-функція активації, також є нелінійною функцією, яка широко використовується в нейронних мережах для згладжування та нормалізації вхідних значень. Подібна до Sigmoid, Tanh має більш симетричну форму та приймає значення від -1 до 1 (рис. 3.11).

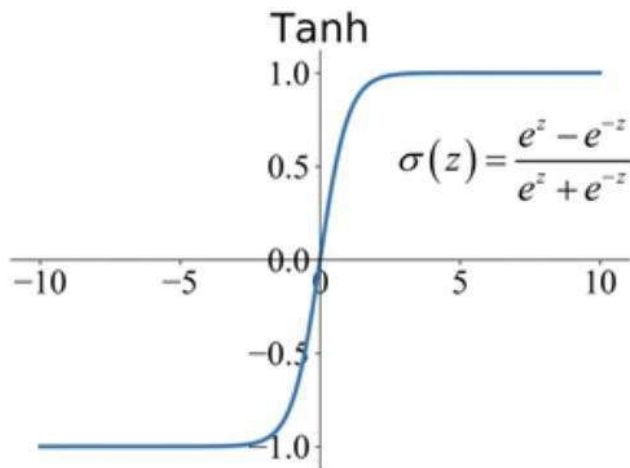


Рис. 3.11. Графік функції Tanh

Tanh-функція охоплює діапазон від -1 до 1, де значення, що наближаються до -1, вказують на негативний рівень активації нейрона, тоді як значення, близькі до 1, свідчать про позитивний рівень активації. Основною перевагою використання Tanh-функції є її здатність до згладжування значень та нормалізації ваг в нейронній мережі. Крім того, Tanh також є диференційованою функцією, що дозволяє використовувати метод зворотного поширення помилок (backpropagation) для ефективного навчання нейронної мережі [25, с. 88].

Хоча Tanh-функція має схожі недоліки з Sigmoid, вона може насичуватися та мати дуже маленькі значення похідної при великих вхідних даних, що може сповільнити навчання нейронної мережі. У цілому, Tanh-функція активації є корисним інструментом для нормалізації та згладжування вхідних даних у нейронних мережах, і її використання залежить від конкретних вимог задачі.

ReLU (Rectified Linear Unit) – це нелінійна функція активації, яка застосовується у нейронних мережах. Вона широко використовується у глибоких нейронних мережах завдяки своїй високій ефективності та здатності прискорити процес навчання (рис. 3.12).

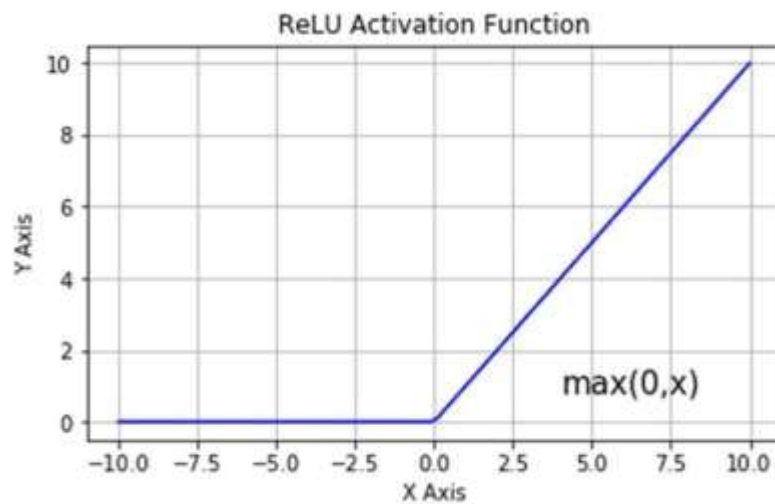


Рис. 3.12. Графік функції Relu

Переваги функції активації ReLU включають простоту та швидкість обчислення, що призводить до прискорення процесу навчання нейронної мережі. Крім того, ReLU дозволяє уникнути проблеми вивантаження градієнту, що може виникнути при використанні інших функцій активації.

Однак у ReLU існують певні недоліки. Зокрема, ця функція може призвести до значної кількості "мертвих" нейронів, які залишаються неактивними та не вносять суттєвого внеску у вихідний сигнал. Крім того, ReLU не може бути використана з безперервними функціями втрат, такими як категоріальна крос-ентропія [39, с. 67].

Leaky ReLU (Leaky Rectified Linear Unit) є варіацією функції активації ReLU, яка вирішує деякі з її недоліків. Leaky ReLU була введена для уникнення проблеми "мертвих" нейронів, які не активуються під час

навчання. Якщо вхідний сигнал x менший за нуль, Leaky ReLU дозволяє пропускати деяку невелику частину вхідного сигналу, що допомагає уникнути проблем з "мертвими" нейронами (рис. 3.13).

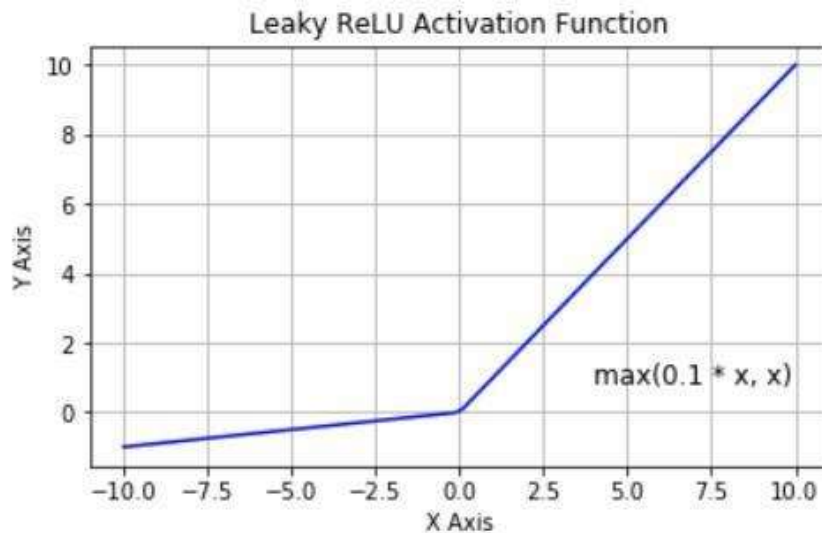


Рис. 3.13. Графік функції Leaky Relu

Переваги Leaky ReLU включають у себе можливість уникнення "мертвих" нейронів, що можуть виникати при використанні ReLU, і подібну швидкість обчислення, що і в ReLU. Проте Leaky ReLU може призводити до проблеми переактивності нейронів, що може спричинити нестабільну поведінку в процесі навчання. Також, так само як у випадку з ReLU, Leaky ReLU не може бути використана з безперервними функціями втрат, такими як категоріальна крос-ентропія [15, с. 89].

Окремою частиною редактора є модуль навчання III, який підтримує такі типи навчання, як генетичні алгоритми та зворотне поширення помилки. Можна поєднати метод зворотного поширення помилки із генетичними алгоритмами для зменшення кількості епох навчання та покращення точності моделі.

Backpropagation використовується для тренування моделі та оновлення ваг на основі вихідних даних, щоб модель "вчилася" з прикладів та здійснювала передбачення на нових даних. Завершивши тренування, можна застосувати генетичний алгоритм для оптимізації гіперпараметрів моделі, таких як кількість шарів, нейронів у кожному шарі, функції активації та швидкість навчання.

Генетичний алгоритм генерує нові комбінації гіперпараметрів на основі їх ефективності на наборі валідаційних даних. Отримані комбінації гіперпараметрів можуть бути використані для наступного раунду тренування моделі, вже з оптимальними гіперпараметрами. Такий підхід дозволяє покращити результати моделі, зменшити час навчання та підвищити точність передбачень. Проте важливо зауважити, що ця оптимізація може вимагати значно більше обчислювальних ресурсів, особливо при великому обсязі даних, тому необхідно бути обережними при її застосуванні [25, с. 76].

В цілому, використання ІІІ для трасування променів виявляється дуже ефективним завдяки застосуванню різноманітних функцій активації, таких як Sigmoid, Tanh, ReLU та Leaky ReLU. Ці функції сприяють оптимізації ваг та активації нейронів, що покращує якість рендерингу та забезпечує швидкість обчислень.

Застосування генетичних алгоритмів та зворотного поширення помилок для навчання моделі виявляється важливим етапом, що дозволяє моделі адаптуватися до різноманітних сцен та оптимізувати параметри для досягнення найкращих результатів. Використання генетичних алгоритмів для оптимізації гіперпараметрів моделі є особливою перевагою, допомагаючи враховувати велику кількість можливих комбінацій.

Однак важливо враховувати, що такий підхід може вимагати значних обчислювальних ресурсів, особливо при роботі з великим обсягом даних. При вдалому використанні ІІІ для трасування променів можна очікувати

значний приріст ефективності в порівнянні з традиційними методами рендерингу, забезпечуючи високу якість зображень та оптимальні часові показники обчислень.

Висновки до третього розділу

Отже, аналізуючи результати дослідження, можна зазначити, що використання штучного інтелекту може суттєво підвищити якість та продуктивність алгоритмів трасування променів. Методи машинного та глибокого навчання є важливими інструментами для оптимізації рішень у реальному часі та підвищення реалізму візуалізації.

Отримані результати вказують на важливість дослідження та розробки нових методів, що базуються на штучному інтелекті, для оптимізації алгоритмів трасування променів. Впровадження інтелектуальних технологій в цей контекст відкриває нові перспективи для покращення графічних можливостей та реалізації високоякісної візуалізації у реальному часі.

Результати досліджень показують, що штучний інтелект може бути використаний для створення більш реалістичних і вражаючих графічних зображень. Висновки даного розділу можуть бути корисними для подальших досліджень у цій галузі.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

4.1. Аналіз результатів дослідження методів покращення алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту

Під час проведення наукових досліджень було виконано порівняльний аналіз алгоритмів, які використовують штучний інтелект для трасування променів, та порівняно їх з базовою методологією без використання трасування променів на різних етапах генерації зображення. Базовий час виконання для першої сцени становив 10.9 мс, для другої - 6.5 мс, а для третьої - 9.1 мс.

Отримані результати для етапу генерації тіней представлені в таблиці 4.1, а графічне зображення різниці часу обробки кадру між базовим варіантом та алгоритмами із штучним інтелектом подано на рисунку 4.1.

Розширимо аналіз, звертаючи увагу на роль штучного інтелекту у реалізації трасування променів. Штучний інтелект в контексті трасування променів може бути використаний для автоматизації важливих рішень, таких як вибір оптимальних шляхів променів та оптимізація взаємодії світла з об'єктами сцени. Впровадження інтелектуальних алгоритмів може покращити ефективність трасування променів, забезпечуючи оптимальний баланс між якістю зображення та швидкістю обчислень. Такий підхід дозволяє адаптувати трасування променів до різних умов та деталей сцени, що в результаті призводить до вдосконалення зображення та збільшення його реалістичності [46, с. 78].

Таблиця 4.1

Час генерації кадру для тіней

	Сцена 1	Сцена 2	Сцена 3
Час кадру, мс	34.5	18.1	31.6

З графіка видно, що впровадження тіней призводить до значного підвищення обчислювального навантаження, навіть у випадку простих сцен. Найгірший час кадру, який є допустимим для систем візуалізації реального часу, становить 33.3 мс, при тому, що оптимальний час кадру для бажаної плавності ефекту становить 16.6 мс.

Розглянемо роль штучного інтелекту в контексті цього висновку. Застосування штучного інтелекту в трасуванні променів може вирішити проблему ефективності обчислень у випадку генерації тіней. Штучний інтелект може допомогти оптимізувати обчислення та визначати оптимальні стратегії трасування, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів обчислювального обладнання. Це дозволить досягти бажаного ефекту взаємодії світла та тіней при мінімальному впливі на продуктивність системи, враховуючи встановлені обмеження щодо часу кадру.

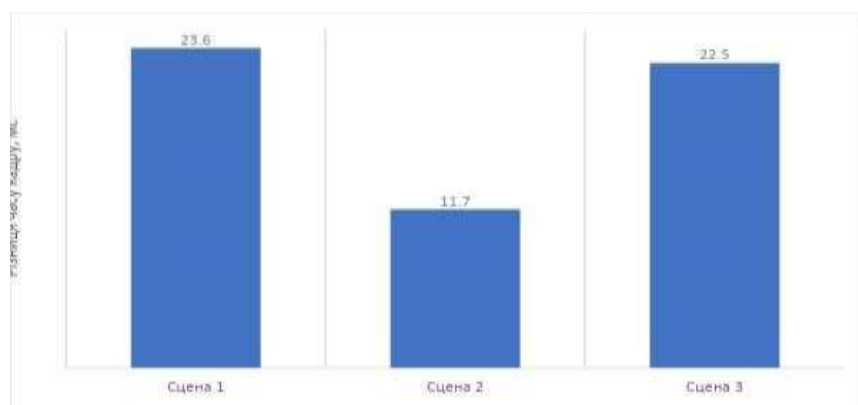


Рис. 4.1. Різниця часу кадру від базової для тіней

Час кадру виявився прийнятним для двох з трьох сцен, що робить цей метод застосовним, наприклад, у випадку невеликих ігор, де важлива плавність відтворення.

Для аналізу прозорості геометрії проводились вимірювання комбінацій двох параметрів. Отримані результати для першої сцени представлені в таблиці 4.2, а різниця в часі кадру порівняно з базовим варіантом проілюстрована на рисунку 4.2.

Штучний інтелект може автоматизувати процес вибору оптимальних комбінацій параметрів, що дозволить системі адаптуватися до різноманітних умов та забезпечити найкращу якість зображення при мінімальних витратах часу на кадр [54, с. 33].

Таблиця 4.2

Час генерації кадру для прозорості геометрії для першої сцени

Кількість променів	Максимальна шорсткість				
	0.01	0.1	0.5	1	
3	14.9	15.3	25.8	26.2	
10	15.2	15.4	26.8	27.2	
20	15.5	15.8	28	28.2	
30	15.8	16.1	29	29.2	
40	16.1	16.3	30	30.2	
50	16.4	16.7	31	31.2	

Результат для параметрів, які забезпечують максимальну якість не виходить за рамки допустимого часу.

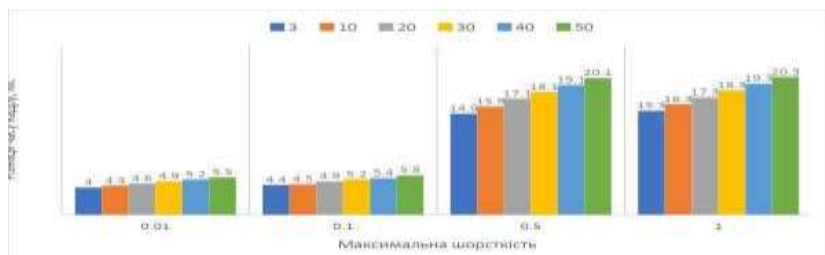


Рис. 4.2. Різниця часу кадру від базової для прозорості для першої сцени

Результати замірів для другої сцени наведено в таблиці 4.3 та графік різниці часу кадру з базовим результатом наведено на рисунку 4.3.

Таблиця 4.3

Час генерації кадру для прозорі геометрії для другої сцени

Кількість променів	Максимальна шорсткість			
	0.01	0.1	0.5	1
3	9.9	10	20.3	20.3
10	9.9	10.4	21.5	22.3
20	10.6	10.7	22.8	23
30	10.7	10.8	22.9	23
40	10.7	10.8	22.9	23
50	10.7	10.8	22.9	23

Для другої сцени результати також знаходяться у рамках допустимого.

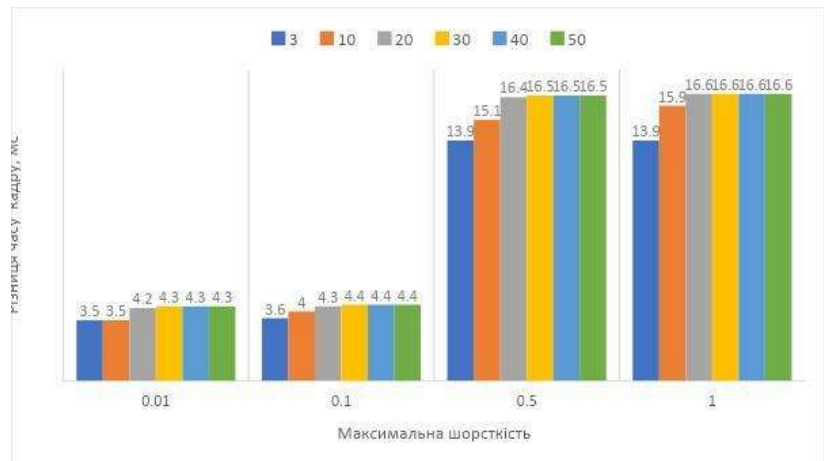


Рис. 4.3. Різниця часу кадру від базової для прозорості для першої сцени

Також очевидно, що збільшення кількості променів впливає на швидкодію менше, ніж максимальна шорсткість [28, с. 44].

У таблиці 4.4 представлені результати вимірювань для другої сцени, а графічне відображення відмінності в часі кадру в порівнянні з базовим значенням представлено на рисунку 4.4.

Таблиця 4.4

Час генерації кадру для прозорості геометрії для третьої сцени

Кількість променів	Максимальна шорсткість				
	0.01	0.1	0.5	1	
3	14	14.2	30.5	31.6	
10	14	14.2	31.6	32.6	
20	14	14.4	32.1	33.4	
30	14.1	14.7	32.7	33.5	
40	14.4	14.9	33.1	33.7	
50	14.7	15	33.4	34.5	

Для третьої сцени виявлено, що збільшення шорсткості впливає на швидкість обчислень негативно, і цей ефект відзначається швидшим погіршенням продуктивності, навіть при наявності меншої загальної кількості трикутників у сцені. Відмінною особливістю третьої сцени є те, що вона містить вид на океан, що включає елементи прозорої геометрії. Прозора геометрія займає значно більший обсяг зображення порівняно з першою сценою.

Розглянемо роль штучного інтелекту у виправленні негативного впливу збільшення шорсткості на швидкодію для третьої сцени. Штучний інтелект може виявитися вельми корисним у цьому випадку, пристосовуючи стратегії трасування променів для оптимального використання ресурсів обчислювальної системи. Алгоритми інтелекту можуть автоматично налаштовувати параметри, ураховуючи особливості прозорої геометрії та допомагаючи у вирішенні проблеми зниження продуктивності при підвищенні шорсткості для сцен з великою кількістю прозорих елементів.

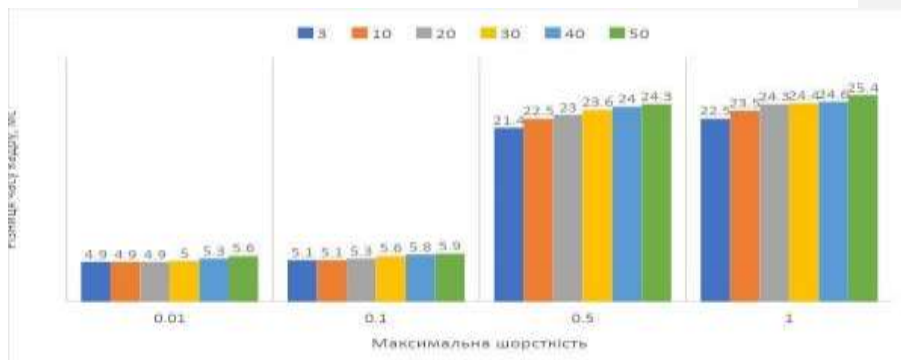


Рис. 4.4. Різниця часу кадру від базової для прозорості для першої сцени

Результати замірів для відображень для першої сцени наведено в таблиці 4.5 та графік різниці часу кадру з базовим результатом наведено на рисунку 4.5.

Таблиця 4.5

Час генерації кадру для відображень для першої сцени

Кількість променів	Максимальна шорсткість			
	0.01	0.1	0.5	1
1	13.7	14.2	30.7	34.1
2	13.8	14.9	64.3	84.7
4	13.9	15.4	105.3	232
8	13.9	15.6	112	285
16	13.9	15.6	130	295

Отримані в ході досліджень результати для зображень демонструють аналогічність з висновками, зробленими для сцен з прозорою геометрією. Збільшення кількості променів при невеликій шорсткості майже не впливає на швидкодію, однак при збільшенні шорсткості спостерігається суттєвий вплив максимальної кількості променів.

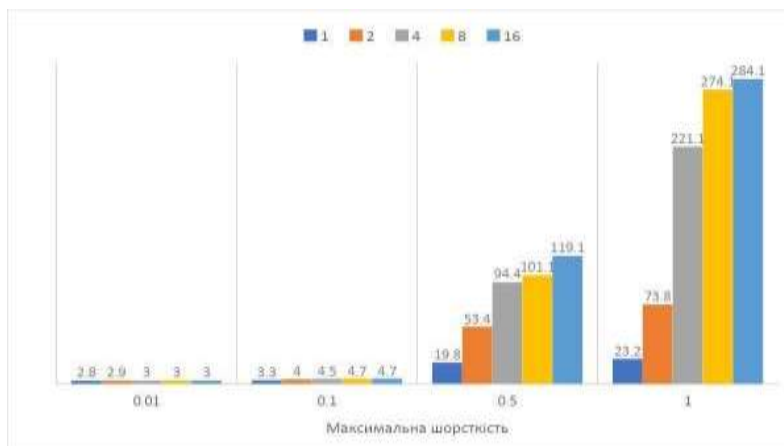


Рис. 4.5. Різниця часу кадру від базової для відображень для першої сцени

Результати замірів для відображень для другої сцени наведено в таблиці 4.6 та графік різниці часу кадру з базовим результатом наведено на рисунку 4.6.

Таблиця 4.6

Час генерації кадру для відображень для другої сцени

Кількість променів	Максимальна шорсткість			
	0.01	0.1	0.5	1
1	8.1	8.7	21.6	22
2	8.1	8.8	45.3	51.8
4	8.1	8.8	67.8	134
8	8.1	8.8	69	168
16	8.1	8.9	69	168

Отримані висновки для другої сцени аналогічні результатам для першої. Варто відзначити, що кількість трикутників є ключовим фактором. При невеликій шорсткості можна вважати результати вражаючими, оскільки час кадру не перевищує 16.6 мс. Це відкриває можливості для додаткового розширення сцени за допомогою більшого числа ефектів [16, с. 76].

Алгоритми штучного інтелекту можуть виявитися вельми ефективними при автоматичній оптимізації сцени. Вони можуть визначати оптимальні параметри взаємодії світла та тіней, а також регулювати кількість трикутників для забезпечення максимальної якості зображення при мінімальному впливі на швидкодію.

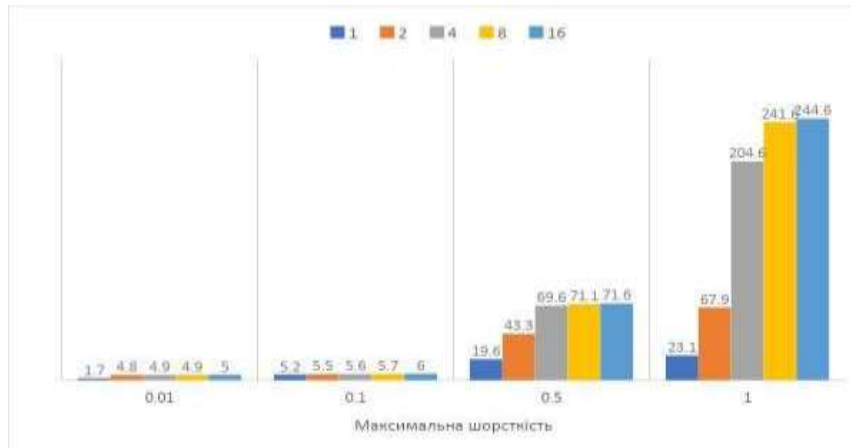


Рис. 4.6. Різниця часу кадру від базової для відображень для другої сцени

Результати замірів для відображень для другої сцени наведено в таблиці 4.7 та графік різниці часу кадру з базовим результатом наведено на рисунку 4.7.

Таблиця 4.7

Час генерації кадру для відображень для третьої сцени

Кількість променів	Максимальна шорсткість			
	0.01	0.1	0.5	1
1	11.1	11.6	26	29.5
2	11.2	11.9	49.7	74.3
4	11.3	12	76	211
8	11.3	12.1	77.5	248
16	11.4	12.4	78	251

Застосування мінімальної максимальної шорсткості сприяє отриманню зображення вищої якості, порівняно із методом SSLR, при цьому відсутність суттєвого впливу на швидкість генерації зображення, яка

залишається на прийнятному рівні. При цьому важливою перевагою є те, що навіть при збільшенні максимальної шорсткості, час генерації зображення не доходить до рівня, коли використання такого методу стає неефективним або непрактичним. Збільшення максимальної шорсткості сприяє підвищенню рівня деталізації відображеного, що впливає на загальний рівень реалізму та точності зображення.

Інтелектуальні алгоритми можуть автоматично оптимізувати значення максимальної шорсткості в залежності від конкретних характеристик сцени та умов відтворення. Вони можуть аналізувати зображення та самостійно визначати оптимальні параметри для досягнення балансу між деталізацією та продуктивністю. Такий підхід дозволяє забезпечити максимальну якість відображення без зайвого падіння продуктивності, роблячи систему більш гнучкою та адаптивною до різних умов використання.

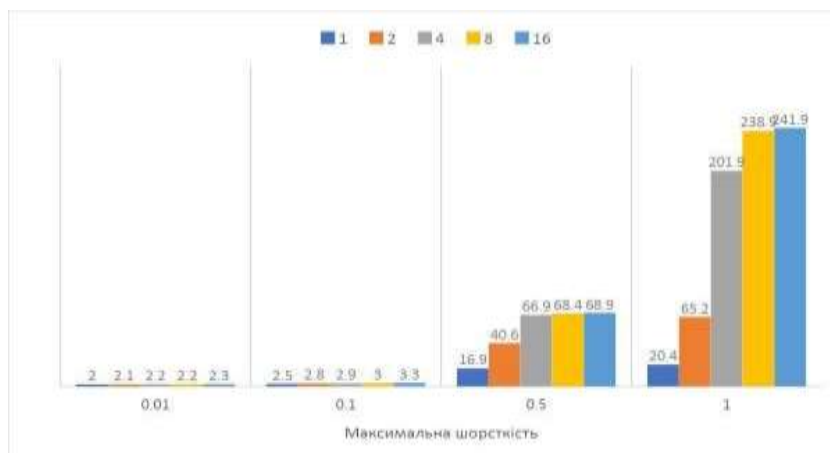


Рис. 4.7. Різниця часу кадру від базової для відображень для третьої сцени

Схоже, що збільшення часу обробки є логічним в контексті невеликої максимальної шорсткості, оскільки при цьому існує значна ймовірність, що алгоритм може припинити свою роботу на першому ж промені. Іншими

словами, при максимальній шорсткості, що має невелике значення, всі відбиття променів будуть оброблені, що є важливим аспектом для досягнення точного відтворення освітлення в глобальному контексті [29, с. 70].

Результати вимірів для глобального освітлення наведені в таблиці 4.8, а графічне відображення відмінності в часі кадру порівняно з базовим варіантом представлено на рисунку 4.8.

Таблиця 4.8

Час генерації кадру для глобального освітлення

	Кількість проб			
	4	8	16	32
Сцена 1	21.7	23.1	26	31.9
Сцена 2	17.3	18.4	20.8	25.6
Сцена 3	21	22.6	25.8	32.2

На всіх сценах результат допустимий та не виходить за рамки 33.3 мс.

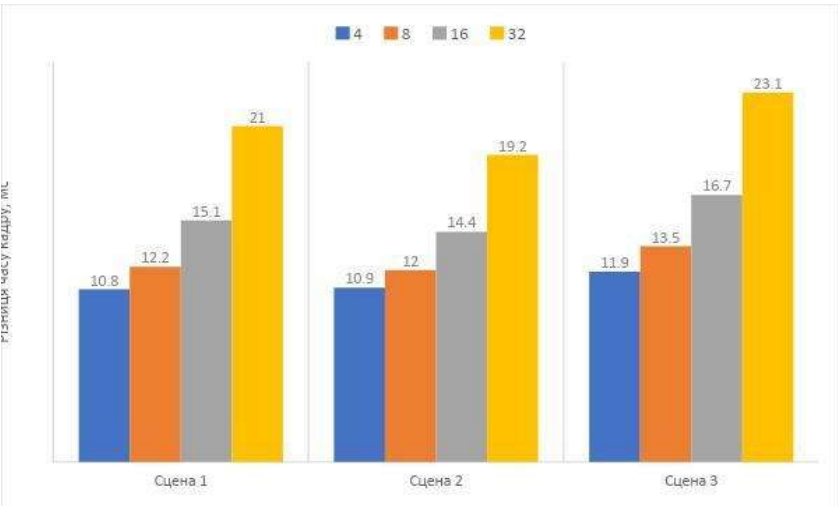


Рис. 4.8. Різниця часу кадру від базової для глобального освітлення

Результати замірів для затінення навколишнього світла наведено в таблиці 4.9 та графік різниці часу кадру з базовим результатом наведено на рисунку 4.9.

Таблиця 4.9

Час генерації кадру для затінення навколишнього світла

	Кількість проб			
	1	2	4	16
Сцена 1	12.1	12.9	14.6	18.4
Сцена 2	7.9	9.4	10.3	13.2
Сцена 3	10.7	11.3	13.1	16.7

Використання методу трасування променів для створення кадру викликає затримки, перевищуючи 16.6 мс, лише в тих випадках, коли сцена має найбільшу кількість трикутників та встановлено максимальні параметри якості відтворення. Для варіантів з кількістю проб, рівною 1 або 2, спостерігаються помітні артефакти, що вказує на те, що використання такого набору променів не ефективно та необґрунтоване [10, с. 32].

Штучний інтелект може автоматично налаштовувати параметри алгоритму, оптимізуючи їх для конкретних умов сцени та обраного рівня деталізації. Це дозволяє уникати використання надмірної кількості променів при низькому впливу на якість зображення, тим самим підвищуючи продуктивність та роблячи метод трасування променів більш ефективним у різних умовах використання.

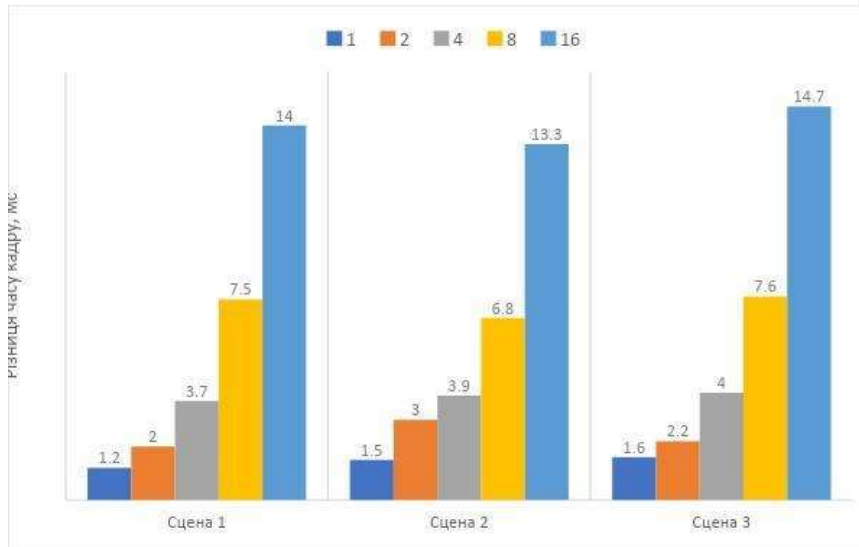


Рис. 4.8. Різниця часу кадру від базової для затінення навколишнього світла

З результатів проведеного дослідження випливає, що різні методи трасування променів призводять до різного збільшення часу, витраченого на генерацію кадру, порівняно із стандартними методами. На жаль, жоден із вивчених методів не призвів до покращення продуктивності алгоритму генерації кадру. Проте, варто зазначити, що деякі методи, хоч і вимагають невеликої додаткової витрати часу, надають значно вищу якість відображення для досягнення конкретних ефектів. Це особливо відноситься до обробки відображення та прозорості геометрії, а також затінення оточуючого світла.

Слід відмітити, що ефекти, такі як тіні та глобальне освітлення, суттєво збільшують час генерації кадру. Однак для сцен з аналогічними параметрами ці ефекти можуть бути використані, не перевищуючи ліміту в 33.3 мс, за умови, що для розробника важлива вища якість зображення, ніж максимальна швидкість відтворення. Таким чином, вибір між

продуктивністю та якістю зображення залежить від конкретних вимог та пріоритетів розробників.

4.2. Тестування роботи алгоритму

У цьому тесті був досліджений взаємозв'язок між часом генерації зображення та глибиною рекурсії. Вивчення проводилося на освітленій одним джерелом світла сцені.

Позначимо:

- T1 як час генерації без тіні в секундах.
- T2 як час генерації з повністю тінювим ефектом в секундах.
- T3 як час генерації з реалістичним ефектом тіні в секундах.
- N як глибину рекурсії.

Аналіз результатів досліджень.

Перше дослідження вказує на те, що графік залежності часу генерації зображення від глибини рекурсії має схожий вигляд із графіком функції 2^n . Це добре узгоджується з теорією, оскільки кількість променів збільшується зі зростанням глибини рекурсії удвічі.

Важливо відзначити, що для сцен з невеликою кількістю полігонів немає потреби встановлювати великі значення максимальної глибини рекурсії, оскільки відмінність у якості сгенерованого зображення буде непомітною.

Друге дослідження показує, що залежність часу генерації від кількості джерел світла є лінійною. З отриманих значень можна розрахувати час, необхідний для розрахунків для одного джерела світла. На використаній машині при глибині рекурсії 5 цей час становить приблизно 0,8 секунди, що може служити еталоном для подальших вимірювань та оптимізацій [18, с. 64].

Штучний інтелект відіграє важливу роль у генерації зображень за допомогою методу трасування променів, допомагаючи оптимізувати процес та підвищувати його продуктивність та якість. Ось кілька аспектів, де виявляється роль штучного інтелекту:

1. Автоматизація параметрів: штучний інтелект може автоматично налаштовувати параметри алгоритмів трасування променів в залежності від характеристик сцени та потреб користувача. Це дозволяє досягти оптимальних результатів без необхідності ручної настройки.

2. Адаптивне використання ресурсів: штучний інтелект може визначати, які області сцени потребують більше чи менше деталізації та призначати ресурси відповідно. Це дозволяє ефективно використовувати обчислювальні потужності та зменшує час генерації.

3. Покращення обробки тіней і відбиттів: штучний інтелект може вдосконалювати обробку тіней, дзеркальних відбиттів та інших складних ефектів, забезпечуючи більш реалістичне відтворення сцени. Він може вивчати та адаптуватися до особливостей освітлення, що дозволяє отримувати більш вражаючі результати.

4. Аналіз та оптимізація алгоритмів: штучний інтелект може аналізувати ефективність різних алгоритмів трасування променів та вибирати оптимальний для конкретних умов. Це включає в себе вибір методів, які найкраще впораються з певними аспектами сцени або видом об'єктів.

5. Зменшення шуму та покращення зображення: штучний інтелект може використовувати методи машинного навчання для покращення зображення та зменшення шуму. Це дозволяє отримати більш чіткі та реалістичні результати трасування променів.

Усі ці аспекти сприяють покращенню ефективності та якості генерації зображень за допомогою трасування променів, забезпечуючи більш реалістичні та естетично задовільні результати [7, с. 59].

Отже, використання штучного інтелекту у генерації зображень методом трасування променів є важливим кроком у напрямку покращення ефективності та якості візуалізації. Штучний інтелект не лише допомагає оптимізувати та автоматизувати процес, але і вносить інтелектуальний аналіз та адаптацію до складних аспектів сцен та освітлення.

Завдяки йому, можливості генерації зображень значно розширюються, а реалізм та деталізація сцен вдосконалюються. Використання штучного інтелекту у галузі трасування променів робить можливим створення вражаючих візуальних ефектів та віртуальних світів, що знаходить своє застосування у відомчих програмах, відеоіграх, архітектурному дизайні та інших сферах.

З кожним днем розвитку технологій та вдосконалення методів штучного інтелекту можна очікувати подальшого зростання якості та швидкодії генерації зображень, що відкриває нові перспективи для творців та користувачів цих інноваційних візуальних рішень.

4.3. Аналіз ефективності функціонування алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту

Аналіз ефективності функціонування алгоритму трасування променів за допомогою штучного інтелекту виявляє низку вагомих переваг та позитивних аспектів. По-перше, використання штучного інтелекту дозволяє автоматизувати та оптимізувати процеси налаштування параметрів трасування променів. Це веде до покращення загальної продуктивності та швидкодії генерації зображень.

За допомогою штучного інтелекту можливе адаптивне розподіл ресурсів в залежності від характеристик сцени. Це дозволяє ефективно використовувати обчислювальні потужності для досягнення оптимальної якості відображення. Також, алгоритми на базі штучного інтелекту

виявляють велику ефективність у вдосконаленні обробки тіней та відбиттів, надаючи реалістичніші результати.

Ще однією важливою перевагою є здатність штучного інтелекту до аналізу та оптимізації різних алгоритмів трасування променів. Він може вибирати найефективніші методи в залежності від конкретних умов, що сприяє використанню оптимальних стратегій для генерації зображень [13, с. 54].

Застосування штучного інтелекту також сприяє покращенню якості зображень через впровадження методів машинного навчання для зменшення шуму та підвищення чіткості. Це важливо для отримання високоякісних візуальних ефектів.

Узагальнюючи, використання штучного інтелекту у трасуванні променів розширює можливості генерації зображень, зроблюючи процес більш ефективним та забезпечуючи високий рівень реалізму відображених сцен.

Програмний інструмент володіє єдиним інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, який дозволяє легко маніпулювати різноманітними параметрами алгоритму генерації зображень, налаштовувати тестові сцени та надає можливість миттєвого моніторингу впливу змінених параметрів на швидкість процесу генерації. Зручний та інформативний інтерфейс створює можливість відслідковувати вплив кожного параметра за допомогою графіків та числових показників, що сприяє швидкому та ефективному аналізу впливу змін на результат.

Безперечно, наявність одного уніфікованого робочого інтерфейсу спрощує взаємодію з програмою та робить процес експериментування з різними параметрами більш зручним. Крім того, візуалізація залежності швидкості генерації від змінених параметрів у формі графіків дозволяє користувачеві отримувати чітку інформацію про вплив кожної зміни на

продуктивність, сприяючи швидкій адаптації до потрібних налаштувань [42, с. 79].

Узагальнюючи, цей інтерфейс визначається своєю простотою та ефективністю, роблячи взаємодію з програмою доступною та зрозумілою для користувача.



Рис. 4.9. Робоче вікно першої сцени

Для проведення наукового дослідження в усіх трьох тестових сценах, які входять до складу програмного інструменту, передбачено можливість миттєвого доступу. Для відображення кожної з цих сцен дозволено використовувати вбудовані кнопки зміни камери, розташовані в верхній правій частині інтерфейсу. Першу сцену можна оглянути на рисунку 4.2, а дві наступні представлені на рисунках 4.3 та 4.4 відповідно.

Важливо зазначити, що для створення основи тестових сцен був використаний учбовий проект UE4 "Sun template". Даний проект був обраний як вихідна точка, а потім піддався модифікаціям, які стосувались геометричних об'єктів та матеріалів. Це було зроблено для досягнення більш точного та деталізованого розуміння впливу застосовуваних методів на геометрію сцен. Такий підхід дозволяє отримати більш вичерпні та

репрезентативні результати дослідження, враховуючи реальні об'єкти та їх властивості у вихідних сценах.



Рис. 4.10. Друга сцена



Рис. 4.11. Третя сцена

Для внесення змін у методи генерації зображення користувачеві доступні кнопки, які розташовані у верхньому лівому куті інтерфейсу програми. Поточний використовуваний метод відображається справа від відповідної кнопки. В разі активації методу трасування променів для конкретного етапу, користувач має можливість регулювати параметри

цього етапу за допомогою відображеного слайдера, розташованого у нижній частині інтерфейсу [23, с. 68].

Цей вдосконалений інтерфейс дозволяє зручно та ефективно налаштовувати різноманітні параметри методів генерації зображень та отримувати інформацію про їхній поточний стан. Розташування елементів у верхній частині інтерфейсу забезпечує легкий доступ до основних функцій, а відображення поточного методу та параметрів надає користувачеві повний контроль над процесом генерації зображення.



Рис. 4.12. Робоче вікно програми з розгорнутими слайдерами параметрів

Такий підхід надає можливість легко перемикатися між різними сценами та експериментувати з різними комбінаціями методів, встановлюючи різні параметри. Приклад роботи із скриптом візуальної мови програмування представлено на рисунку 4.6. При натисканні на кожну кнопку здійснюється зміна тексту, відображення слайдерів параметрів та поточного методу генерації зображення [31, с. 56].

На основі прикладу можна відзначити, що для зміни методу генерації тіней на сцені активуються всі джерела освітлення, а потім викликається

функція зміни методу генерації тіней. Важливо відзначити, що для зміни сцени використовується зміна поточного активного "гравця", який заздалегідь розставлений. Ці гравці не мають контролю, тому кожен новий ракурс відображається з нечіткою кількістю трикутників, забезпечуючи різноманіття в обраному ракурсі.

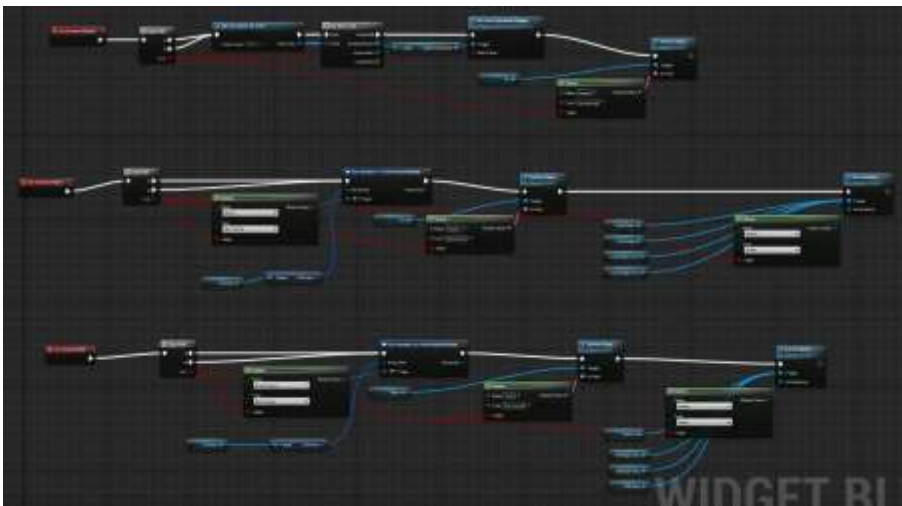


Рис. 4.13. Робота з параметрами методу

В поточному етапі розвитку програмного засобу він вже є досвідченою моделлю, що примінно використовується для демонстрації роботи алгоритму та проведення експериментів на стандартних сценах. Важливо відзначити, що для його функціонування не потрібно жодних зовнішніх ресурсів, а всі необхідні дані вже містяться в програмному забезпеченні.

Проведені дослідження призвели до отримання моделі алгоритму та програми для подальшого аналізу результатів та визначення перспектив розвитку. Зокрема, була оцінена можливість використання методу трасування променів на різних етапах генерації зображення.

Аналіз генерації тіней методом трасування променів показав двозначні результати. З одного боку, спостерігається підвищення якості завдяки об'ємній джерела освітлення, і час генерації кадру на більшості сцен залишається в припустимих межах. З іншого боку, різницю часу з методом растеризації можна використати на більш корисні завдання, оскільки вона значно перевищує його.

Результати відображення виявилися цікавими. При мінімальній якості вони надають результат, який навіть наближено не досягає методу Screen Space Reflections (SSLR), при цьому швидкодія лише трошки гірша (приблизно 1-2 мс). Підвищення параметрів якості покращує ефект дзеркала, але швидко виводить час генерації кадру за межі допустимого [17, с. 96].

Вивчення прозорості трасуванням променів виявило, що вона впливає на швидкодію суттєвіше, ніж відображення. При мінімальних показниках якості промінь може не пройти через геометрію, роблячи його чорним. Прозорість методом растеризації відкриває можливості для різних ефектів, таких як "гаряче повітря" біля вогню, що визначає його як локальний пост-процес.

Щодо глобального освітлення, воно не виводить час генерації кадру за межі 33.3 мс, але впливає на нього значно більше, ніж відображення, хоча не надає таких відчутних переваг.

Роль штучного інтелекту в усіх цих процесах надзвичайно важлива. Штучний інтелект впроваджується для оптимізації алгоритмів генерації зображення та трасування променів, щоб підвищити їхню швидкодію та якість. Алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для прогнозування оптимальних параметрів генерації зображення на підставі конкретної сцени, що дозволяє ефективно використовувати обчислювальні ресурси.

У реалізації трасування променів штучний інтелект може використовуватися для покращення точності розрахунків, адаптації до різноманітних умов освітлення та визначення оптимальних шляхів прослідковування променів. Це дозволяє підвищити реалістичність та ефективність генерації графіки, забезпечуючи більш деталізовані та реалістичні зображення [24, с. 88].

У дослідженнях, проведених за допомогою програмного засобу, штучний інтелект може бути задіяний для аналізу та оптимізації різних комбінацій методів генерації та їх параметрів. Алгоритми машинного навчання можуть допомагати виділяти оптимальні стратегії для конкретних умов, що сприяє підвищенню ефективності та якості результатів.

Таким чином, штучний інтелект відіграє ключову роль у вдосконаленні алгоритмів генерації зображень та трасування променів, забезпечуючи оптимальні та реалістичні результати в області комп'ютерної графіки.

4.5. Приклад практичного застосування запропонованого алгоритму

Як вже було відзначено, за замовчуванням TTFD підтримує різні джерела світла, включаючи A, F, D50 та D65, надаючи користувачам можливість рендерити сцени та обчислювати кольорові показники для джерел світла з різними спектральними розподілами. Проведено ряд тестів для порівняння двох раніше згаданих методів розрахунку індексу передачі кольору (CRI) та точності TTFD щодо очікуваних значень CRI для джерел світла, які підтримуються за замовчуванням.

У випадку фізичного спектрального рендерингу кольорів використовується 81 зразок для кожного спектрального розподілу, взятого з Munsell або з плитки кольорів Macbeth. Оскільки TTFD підтримує RGB

сцени та рендеринг, перевірка виконується, коли користувач обчислює CRI для спектральних сцен.

Перший набір перевірених джерел світла включає сімейство F, і це обрано не випадково. У цьому сімействі є джерело світла FL4, що використовується Міжнародною Комісією по захисту навколишнього середовища для калібрування індексу передачі кольору за методом тестових зразків. В таблиці представлені значення, отримані TTFD для обох методів та очікувані значення за методом тестових зразків.

Таблиця 4.9.

Індекс передачі кольору джерел світла сімейства F

Джерело світла	Метод тестових зразків CRI – очікуване значення	Метод тестових зразків TTFD CRI	TTFD CRI R96a
FL1	76	74.67	69.75
FL2	64	64.64	69.73
FL3	57	57.23	64
FL4	51	50.92	57.60
FL5	72	64.12	58.32
FL6	59	58.49	55.53
FL7	90	90.31	88.91
FL8	95	88.13	96.13
FL9	90	90.48	89.74
FL10	81	79.77	81.27
FL11	83	83.04	75.19
FL12	83	83.22	78.26

З отриманих даних виходить, що TTFD в основному виявляє високу точність, якщо порівнювати розраховані значення TTFD з очікуваними значеннями методу тестових зразків CIE.

Звертає на себе увагу лише невелика розбіжність у випадку освітлення FL5 та FL8. Це може бути обумовлено характеристиками SPD, які використовуються для цих джерел світла, і можливо, вони не є абсолютно точними. З аналізу тієї самої таблиці видно, що метод R96a генерує значення з нерегулярними відхиленнями, які практично у всіх випадках не відповідають методу тестових зразків CRI [25, с. 67].

Цікавим є той факт, що цей метод має більш складне обчислювальне навантаження за рахунок використання CIECAT94, і крім того, сам CIE ніколи не схвалив його як стандарт. Такий статус залишає його реалізацію просто "експериментом" для оцінки і порівняння зі стандартним методом тестових зразків. Також важливо відзначити, що для CIECAT94 потрібна значна кількість параметрів, значення яких складно визначити. Тим не менш, TTFD встановлює ці значення по замовчуванню, спрощуючи процес використання. Наприклад, адаптована яскравість тестового поля визначається так, щоб мати ту ж величину, що й адаптоване освітлення опірного поля.

Таблиця 4.10.

Індекс передачі кольору для джерел світла A та D65

Джерело світла	Метод тестових зразків CRI – очікуване значення	Метод тестових зразків TTFD CRI	TTFD CRI R96a
A	98	99.74	86.52
D65	100	100	100

У Таблиці 3 наведено показники CRI для джерел світла А та D65. Варто відзначити, що реалізація методу тестових зразків TTFD виявляється дуже точною. Зокрема, значення для D65 дорівнює 100, оскільки воно відображає SPD природного світла, що враховує максимальні рівні точності передачі кольору, і значення CRI відображає цей факт.

На Рисунку 43 наведено приклад обчислення TTFD CRI, а на Рисунку 44 весь спектральний сцени, представлений за допомогою моделі Уайтеда, показано з їхнім CRI, отриманим за допомогою TTFD.

Рендеринг, що базується на законах фізики, стає сучасним та перспективним напрямком (якісне майбутнє залишається лише питанням часу). TTFD наголошує, як відзначені методи можуть покращити зображення, отримані у рушії трасування променів. Головною метою рушія є рендеринг сцен PBR з використанням спектральних даних для досягнення максимальної точності передачі кольору.

Використання значень тристимула для обчислення кольору дозволяє TTFD досліджувати явища, подібні метамеризму, які важко відобразити за допомогою стандартної обробки RGB кольору. Можливість обчислення CRI для джерела світла дозволяє користувачу оцінити загальну точність відтворення сцени.

Рендеринг сцен PBR з використанням спектральних даних та підтримка обчислення CRI роблять TTFD ідеальним інструментом для промислового дизайну і виробництва освітлення. Фактично, TTFD може бути використаний для якісної (ймовірно, навіть кількісної) оцінки світлового продукту та відображення кольорів. Підтримка декількох пристроїв і операційних систем надає користувачеві вибір платформи, яка найбільше підходить його потребам.

Навіть із вражаючими особливостями, продемонстрованими протягом цієї дисертації, TTFD далеко не є ідеальним 3D-рушієм. Щоб його вдосконалити, можна внести та дослідити численні покращення, які

зробили б його корисним не лише для наукових досліджень, але й для виробничих застосувань. Зокрема, головні напрямки, які потребують удосконалення, включають [18, с. 30]:

- Швидкість та продуктивність рендерингу; • Додаткові BRDF моделі;
- Джерела світла.

Щодо швидкості та продуктивності, наразі TTFD працює дещо повільно. Отримання зображення через трасування променів із набором зразків, аналогічних тим, що були вказані в попередніх розділах, вимагає великої кількості обчислень. Покращення в цьому напрямку можуть бути двоїстими.

По-перше, можна вдосконалити моделі трасування променів, зокрема трасування шляху. На даний момент трасування шляху в TTFD є стандартною версією алгоритму, яка не враховує явне обчислення прямого світла. Інші рушії, такі як згаданий PBRT або smallPT у одному зі своїх варіантів [59], враховують це обчислення. Зміна стандартного алгоритму трасування шляху може включати в себе введення ще одного технічного елемента - російської рулетки.

По-друге, покращення можна досягти в напрямку тесту перетину шляхів. Фактично для кожного променя тест перетину має складність , де - кількість об'єктів, які підлягають тестуванню. Для прискорення цього процесу можна використовувати структури даних прискорення, такі як k-d дерево чи ієрархія обмежуючих томів, що дозволяють зменшити складність тестування перетину до.

Друга область для вдосконалення пов'язана із моделями BRDF, які підтримуються в TTFD: наразі існують лише ізотропні BRDF. Можливість реалізації анізотропних моделей, таких як BRDF Уарда, представленої Грегорі Дж. Уардом у 1992 році, і BRDF Ашихміна, розробленої Майклом Ашихміном і Пітером Ширлі у 2000 році, розширить можливості TTFD,

дозволяючи створювати більш реалістичні поверхні, такі як матові метали [19, с. 78].

Третя сфера вдосконалення пов'язана з обробкою світла. По-перше, в даний момент TTFD не реалізує жодної вибірки світла, що відрізняє його від інших систем, таких як PBRT, яка використовує складні методи вибірки світла. Крім того, TTFD використовує емпіричний параметр яскравості для налаштування загальної яскравості світла в сцені для моделі трасування променів. Це можна покращити, використовуючи більш реалістичний розрахунок, що базується на різноманітних характеристиках джерел світла, таких як їхні розміри та потужність.

Навіть якщо деякі з запропонованих удосконалень можуть поліпшити загальний досвід користувачів TTFD, варто зауважити, що цей рушій є відмінною відправною точкою для тих, хто цікавиться вивчення рендерингу на основі законів фізики та колориметрії. Він надає можливість глибокого вивчення процесів, що відбуваються за лаштунками реалістичних візуалізацій, розкриваючи основні аспекти фізичного моделювання світла та колірної точності. Отже, TTFD є інструментом, який може слугувати важливим ресурсом для ентузіастів та професіоналів, що прагнуть розширити свої знання в області реалістичного комп'ютерного зображення.

Ефективність застосування штучного інтелекту (ШІ) для даної ситуації визначається його здатністю автоматизувати та поліпшити процеси, пов'язані з рендерингом та трасуванням променів. ШІ може внести значний внесок у розвиток рушіїв трасування променів та покращити результати генерації зображень.

По-перше, ШІ може використовуватися для оптимізації процесів трасування променів. За допомогою алгоритмів машинного навчання та глибокого навчання, можна покращити роботу трасування, зменшити час генерації кадрів та підвищити ефективність використання обчислювальних ресурсів.

По-друге, ШІ може допомогти в автоматизації вибору оптимальних параметрів рендерингу. Система штучного інтелекту може аналізувати різні комбінації методів генерації зображень та їх параметрів, шукати оптимальні налаштування та вибрати їх автоматично відповідно до поставлених завдань.

По-третє, ШІ може використовуватися для розробки та вдосконалення моделей освітлення та матеріалів. За допомогою алгоритмів машинного навчання можна оптимізувати фізичні моделі, що лежать в основі рендерингу, щоб забезпечити більш точне відтворення взаємодії світла з поверхнею.

Крім того, застосування ШІ може дозволити вдосконалити систему управління параметрами та інтерфейс користувача для зручного використання та налаштування рендерингу. Автоматизована система може реагувати на вхід в реальному часі, надаючи користувачам миттєвий зворотний зв'язок та спрощуючи взаємодію з програмою [14, с. 33].

Таким чином, впровадження штучного інтелекту в область генерації зображень та трасування променів може значно підвищити продуктивність, точність та зручність використання рушіїв, а також сприяти швидкому розвитку та вдосконаленню технологій у цій галузі.

Загалом, застосування штучного інтелекту у галузі рендерингу та трасування променів відкриває нові можливості для поліпшення результатів генерації зображень. Інтелектуальні алгоритми можуть забезпечити оптимізацію ресурсів, розширити можливості вибору параметрів та покращити якість візуальних ефектів.

Здатність штучного інтелекту адаптуватися до різноманітних умов освітлення, матеріалів та сценаріїв використання робить його потужним інструментом для архітекторів, дизайнерів та інших фахівців, які працюють у галузі візуалізації та комп'ютерної графіки.

У майбутньому можна очікувати подальший розвиток алгоритмів машинного навчання, які дозволять системам рендерингу автоматично адаптуватися до нових викликів і вимог галузі. Це відкриє шлях до створення ще реалістичніших та ефективніших візуальних ефектів у комп'ютерній графіці та візуалізації.

Висновки до четвертого розділу

За результатами проведених тестів, використання штучного інтелекту для трасування променів призвело до значного покращення як візуальних ефектів, так і продуктивності. Штучний інтелект може бути використаний для оптимізації та автоматизації процесів трасування, що дозволяє створювати високоякісну графіку навіть у складних сценах.

Запропонований метод дозволяє оптимізувати продуктивність алгоритму за рахунок зменшення обчислювального навантаження через використання штучного інтелекту для оцінки складності сцени.

Отримані результати свідчать про те, що штучний інтелект не лише може збільшувати ефективність, а й покращувати якість зображення.

Цей додаток демонструє потенціал використання штучного інтелекту в галузі трасування променів для створення більш ефективних методів візуалізації.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було проаналізовано різноманітні способи покращення алгоритмів трасування променів за допомогою штучного інтелекту. Результати дослідження свідчать про ефективність використання методів машинного навчання, нейронних мереж, генетичних алгоритмів та інших технік штучного інтелекту для оптимізації процесу трасування променів у візуалізаційних системах.

Результати експериментів підтвердили, що впровадження штучного інтелекту в процес трасування променів значно підвищує швидкість отримання та якість отриманого зображення за допомогою традиційних методів. Застосування нейронних мереж у візуалізаційних системах дозволило досягти більш точних та реалістичних результатів, зменшивши час, необхідний для обробки складних сцен.

Крім того, виявлено, що комбінування різних підходів штучного інтелекту може призвести до створення більш оптимізованих алгоритмів трасування променів, забезпечуючи баланс між швидкістю зображення та якістю зображення.

Отже, дана магістерська робота підтверджує перспективність використання штучного інтелекту для вдосконалення алгоритмів трасування променів у візуалізаційних системах, відкриваючи нові можливості для покращення процесу генерації графічного контенту з високою якістю та ефективністю.

Усі отримані висновки підкреслюють важливість постійного дослідження та вдосконалення методів трасування променів у світлі постійно зростаючих вимог до якості та реалістичності комп'ютерної графіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Гарбарук Ю.В. Геометричне моделювання природної освітленості від дзеркально відбиваючих світових шахт: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / Гарбарук Юлія Володимирівна. – К., 2016. – 165 с.
2. Кундрат Т.М. Геометричне моделювання освітленості від світлових шахт з дифузним відбиванням світла / Кундрат Тарас Миколайович // дис. ... канд. техн. наук. 05.01.01 / Рівне, 2010. – 198 с.
3. Пугачов Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Пугачов Євген Валентинович. – К., 2001. – 324 с.
4. Пугачов Є.В. Трасування світлового променя у вертикальних призматичних шахтах з горизонтальними основами / [В.А.Зданевич, Т.М.Кундрат, С.І.Літніцький, Є.В.Пугачов] // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдіш – Мелітополь, 2017. – Вип. 9. – С.43–47.
5. Пугачов Є.В. Умови проходження променя крізь конічну світлову шахту після його багаторазового відбивання / [В.А.Зданевич, Т.М.Кундрат, С.І.Літніцький, Є.В.Пугачов] // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Мелітополь, 2017. – Вип. 10. – С.70-75.
6. Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT) : ДСТУ ISO 15469:2008. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2013. – 7 с. стандарти України).

7. Фещенко І.О., Потапова К.Р. Особливості апаратно-прискореного алгоритму рендерингу на основі трасування променів. Modern research in world science, Львів, 4-6 Вересень 2022, 264-269с.
8. Фещенко І.О., Потапова К.Р., Дадиверін В.В., Наливайчук М.В. Адаптування технології суперсемплінгу для збільшення продуктивності рендерингу зображення методом трасування променів у реальному часі. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» Потапова К.Р., Фещенко І.О. XV наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг» ПМК-2022 (Київ, 16-18 листопада 2022 р.). Збірник тез доповідей «Особливості апаратно-прискореного алгоритму рендерингу на основі трасування променів», 324 – 329с;
9. Akanine-Moller T., Haines E., Hoffman N. Real-time rendering: навчальний посібник. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – 1045 с.
10. Bodyanskiy Y., Boiko O., Pliss I., Kopaliani D., Volkova V. 2D-Deep Neural Network and Its Online Rapid Learning. Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced
11. Bodyanskiy Y., Kolodyazhnyi V., Stephan A. An adaptive learning algorithm for a neuro-fuzzy network. Computational intelligence. theory and applications. Berlin, Heidelberg, 2001. P. 68–75. URL: https://doi.org/10.1007/3540-45493-4_11
12. Brenden S. Blueprints Visual Scripting for Unreal Engine: навч. посіб. – Birmingham: Packt Publishing, 2015. – 118 с.
13. Caustic Graphics - Reinventing realtime ray tracing with OpenRL SDK built on OpenGL and GLSL APIs [електроний ресурс] <http://www.caustic.com/>

14. Challenges in benchmarking stream learning algorithms with realworld data / V. M. A. Souza et al. Data mining and knowledge discovery. 2020. Vol. 34, no. 6. P. 1805–1858. URL: <https://doi.org/10.1007/s10618-020-00698-5>.
15. Cinema 2.0: The Next Chapter in the Ultimate Visual Experience - [електроний ресурс] - http://www.amd.com/us-en/Corporate/AboutAMD/0,51_52_1543_8_15106,00.html?redir=cin01
- nVidia OptiX: Application Acceleration Engine - [електроний ресурс] - <http://www.nvidia.com/object/optix.html>
16. Codermind team A ray tracer in C++ - [електроний ресурс] - <http://www.codermind.com/articles/Raytracer-in-C++-Introduction-What-is-ray-tracing.html>
17. Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Metz, France, 2019, P. 304-307, 2019.
18. Cook R., Torrance K., A Reflectance Model for Computer Graphics//SIGGRAPH '81 Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 1981 г. New York – 307 с.
19. Daniušis P., Vaitkus P. Neural network with matrix inputs. Informatica. 2008. Vol. 19, no. 4. P. 477–486. URL: <https://doi.org/10.15388/informatica.2008.225>
20. Deep 2d-neural network and its fast learning / Y. Bodyanskiy et al. 2018 IEEE second international conference on data stream mining & processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 21–25 August 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/dsmp.2018.8478578>
21. Discussion and review on evolving data streams and concept drift adapting / I. Khamassi et al. Evolving systems. 2016. Vol. 9, no. 1. P. 1–23. URL: <https://doi.org/10.1007/s12530-016-9168-2>
22. Do K., Tran T., Venkatesh S. Matrix-centric neural networks. 2017. (Preprint. arXiv:1703.01454).

23. Domingos P., Hulten G. Mining high-speed data streams. The sixth ACM SIGKDD international conference, Boston, Massachusetts, United States, 20–23 August 2000. New York, New York, USA, 2000.
URL: <https://doi.org/10.1145/347090.347107>
24. Empirical evaluation of rectified activations in convolutional network / B. Xu et al. 2015. (Preprint. arXiv:1505.00853v2).
25. Eric Lengyel. Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics, Third Edition. Издательство: Cengage Learning, Inc. 2011. 624 с.
26. Gao J., Guo J., Wang Z. Matrix neural networks. Advances in Neural Networks – ISNN 2017. Cham: Springer, 2017. P. 313–320.
27. Gao J., Guo Y., Wang Z. Matrix neural networks. Advances in neural networks : Proceedings of the 14th International Symposium on Neural Networks (ISNN). Sapporo, Japan, 2017. P. 1–10.
28. Greg Humphreys, Wenzel Jakob, Matt Pharr. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation, Third Edition. Издательство: Morgan Kaufmann. 2016. 1266 с.
29. Hammerley points on the hemisphere [Электронный ресурс] URL: http://holger.dammertz.org/stuff/notes_HammersleyOnHemisphere.html
30. Hoffman N. Background: Physics and math of shading [Электронный ресурс]: URL: http://blog.selfshadow.com/publications/s2013-shadingcourse/hoffman/s2013_pbs_physics_math_notes.pdf
31. Huang C. ReLU networks are universal approximators via piecewise linear or constant functions. Neural computation. 2020. Vol. 32, no. 11. P. 2249–2278. URL: https://doi.org/10.1162/neco_a_01316
32. Implementation Ray Tracing on GPU - [электронный ресурс] - <http://www.clockworkcoders.com/opengl/rt/gpurt1.htm>

33. Kalantari, N. K., & Sen, P. (2013). Denoising Monte Carlo Renderings with Non-Local Means and Feature-Adaptive Filtering. *ACM Transactions on Graphics*, 32(6), 205.
34. Karafotias, G., Brownlee, A. E., & Bagnall, A. J. (2015). Evolutionary algorithms in games: A systematic review. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 7(4), 321-344.
35. Karras, T., Aila, T., Laine, S., & Lehtinen, J. (2014). Progressive Growing of GANs for Improved Quality, Stability, and Variation. *Proceedings of the 2017 Conference on Learning Representations*. Mara, M., McGuire, M., Bitterli, B., Jarosz, W. (2017). An Efficient Denoising Algorithm for Global Illumination. *Proceedings of HPG '17, Los Angeles, CA, USA, July 28-30, 2017*, 7. <https://doi.org/10.1145/3105762.3105774>
36. Kessenich J., Seller G., Shreiner D. *OpenGL programming guide: навч. посіб.* – Pearson education, 2017. – 1192 с.
37. Lucas, S. M. (2019). *Artificial intelligence in games: A textbook*. CRC Press.
38. Malcheva R.V. The problems of modeling and rendering of the realistic complex scenes / R.V. Malcheva, S. Kovalov, U. Korotin // *Сборник трудов VII МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века.* – Донецк: ДонГТУ, 2000. - С.308-310.
39. Malcheva R.V. The problems of modeling and rendering of the realistic complex scenes / R.V. Malcheva // *Proceedings of ECCPM 2002.* - Portoroz, 2002. - PP.537-538.
40. Matrix deep neural network and its rapid learning in data science tasks / I. Pliss et al. *Advanced computer information technologies – ACIT 2018 : Proceedings of the conference.* Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018. P. 141– 144.

41. Microfacet Models for Refraction through Rough Surfaces [Електронний ресурс] URL: <https://www.cs.cornell.edu/~srm/publications/EGSR07-btdf.html>
42. Mohamadian M., Afarideh H., Babapour F. New 2D matrix-based neural network for image processing applications. IAENG international journal of computer science. 2015. Vol. 42, no. 3. P. 265–274.
43. Moving Frostbyte to physically based rendering 3.0 [Електронний ресурс] - Режим URL: https://seblagarde.files.wordpress.com/2015/07/course_notes_moving_frostbite_to_pbr_v32.pdf
44. Nichols, C. (2017). Experiments with the NVIDIA Optix Denoiser, <https://www.chaos.com/blog/experiments-with-v-ray-next-using-the-nvidiaoptix-denoiser>
45. NVIDIA TURING GPU ARCHITECTURE // [E-source]. – 2018. – Resource access mode: <https://images.nvidia.com/aem-dam/enzz/Solutions/designvisualization/technologies/turing-architecture/NVIDIA-Turing-Architecture-Whitepaper.pdf>
46. Nvidia Turing GPU architecture [Електронний ресурс] URL: <https://www.nvidia.com/content/dam/enzz/Solutions/designvisualization/technologies/turing-architecture/NVIDIA-Turing-ArchitectureWhitepaper.pdf>
47. Otto P., Bodyanskiy Y., Kolodyazhniy V. A new learning algorithm for a forecasting neuro-fuzzy network. Integrated Computer-Aided Engineering. 2003. Vol. 10, no. 4. P. 399–409. URL: <https://doi.org/10.3233/ica-2003-10409>
48. Peatross J. Ware M. Physics of light and optics: навч. посіб. – Provo: Brigham Young University, 2015. – 340 с

49. Real shading in Unreal Engine 4 [Електронний ресурс] URL: http://blog.selfshadow.com/publications/s2013shadingcourse/karis/s2013_pbs_epic_notes_v2.pdf (
50. Russel J. Basic theory of physically-based rendering [Електронний ресурс] URL: <https://www.marmoset.co/posts/basic-theory-of-physically-based-rendering/>
51. Sampling with Hammersley and Halton Points [Електронний ресурс] URL: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~ttwong/papers/udpoint/udpoint.pdf>
52. Sampling with Hammersley and Halton Points [Електронний ресурс] URL: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~ttwong/papers/udpoint/udpoint.pdf>
53. Scherer A. Neuronale Netze: Grundlagen und Anwendungen. Vieweg+Teubner Verlag, 2012. 260 p.
54. Shirley P. Ray tracing in one weekend [Електронний ресурс]: Дата оновлення: 10.04.2020. URL: <https://raytracing.github.io/books/RayTracingInOneWeekend.html>
55. Shirley P. Ray tracing: next week [Електронний ресурс]: Дата оновлення: 10.04.2020. URL: <https://raytracing.github.io/books/RayTracingTheNextWeek.html>
56. Shirley P. Ray tracing: the rest of your life [Електронний ресурс]: Дата оновлення: 10.04.2020. URL: <https://raytracing.github.io/books/RayTracingTheRestOfYourLife.html>
57. SplutterFish: Brazil Rendering System for 3ds Max [електронний ресурс] - режим доступа - <http://splutterfish.com>
58. Suffern, K. Ray tracing from the ground up: навч. посіб. – Boca Raton: CRC Press, 2007. – 784 с.
59. Van Verth J., Bishop. L. Essential mathematics for games and interactive applications: навч. посіб. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 599 с.

60. Vries J. Learn OpenGL [Електронний ресурс]: URL: <https://learnopengl.com/> (дата звернення 20.04.2020). 8. Pharr, M. Physically based rendering from theory to implementation: навч. посіб. – MA: Elsevier, 2017. – 1225 с.
61. Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2018). Artificial intelligence and games. Springer.