

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ РЕНДЕРИНГУ ТРИВИМІРНИХ СЦЕН

Гуменюк Вікторія,

асистент кафедри комп'ютерних наук
та інформаційних технологій,

Житомирський державний університет імені Івана Франка

Сучасні програми та ігри вимагають високої якості зображення, що включає реалістичне освітлення, текстури та матеріали. Розуміння різних моделей рендерингу дозволяє розробникам вибрати найбільш підходящу технологію для досягнення бажаної якості. Кожна модель рендерингу має свої переваги й недоліки з точки зору продуктивності. Аналіз моделей дозволяє знайти баланс між якістю зображення та швидкістю рендерингу, що є критично важливим для реального часу, наприклад, у відеоіграх або інтерактивних додатках.

Розглянемо існуючі моделі рендерингу:

1. *Модель трасування променів (Ray Tracing)* – це потужний метод рендерингу тривимірної графіки, який використовується для створення фотореалістичних зображень. Цей метод базується на фізичних принципах світла, і дозволяє створювати складні візуальні ефекти, такі як тіні, відблиски, заломлення та глобальне освітлення.

Трасування променів включає кілька ключових етапів:

- **Випромінювання променів.** Процес починається з позиції камери, де промені випромінюються через кожен піксель зображення в сцену. Це забезпечує точку зору, з якої буде згенероване зображення.
- **Перетворення з геометрією.** Коли промінь стикається з об'єктом, його характеристики (колір, текстура, матеріал) визначаються. Сцена складається з тривимірних об'єктів, які можуть мати різні поверхні, освітлення та матеріали.
- **Обчислення світла.** Для кожного перетвореного променя рендеринг враховує світло, яке вплине на колір пікселя. Це може включати:
 - пряме освітлення (визначається з джерел світла, які можуть бути стаціонарними або рухомими);
 - відблиски (визначаються за рахунок відбиття променів від поверхонь);
 - заломлення (визначається за рахунок проходження променів через прозорі матеріали (скло, вода)).
- **Глобальне освітлення.** Врахування непрямих відблисків, коли світло від об'єктів розподіляється між іншими об'єктами в сцені, що дає можливість створити натуральні та реалістичні зображення.

Перевагами даної моделі є: висока якість зображення, гнучкість в ефектах, точність. Серед недоліків варто виокремити: висока обчислювальна складність, чутливість до складності сцени, необхідність оптимізації.

Трасування променів є суттєвим методом рендерингу тривимірних сцен, що забезпечує високу якість зображення та гнучкість у створенні ефектів. Незважаючи на свої недоліки, технології трасування променів стають все більш доступними завдяки розвитку апаратного забезпечення, що дозволяє використовувати їх у реальному часі.

2. *Модель растеризації (Rasterization)* – це основний метод рендерингу тривимірних сцен, який використовують у сучасних комп'ютерних графічних системах, включаючи відеоігри та графічні програми. На відміну від трасування променів, растеризація не враховує фізичні принципи світла так детально, але забезпечує швидкий та ефективний процес перетворення тривимірних об'єктів у двомірні зображення.

Растеризація перетворює геометричні дані тривимірних об'єктів у растр. Основні кроки в процесі растеризації:

- Побудова сцен. На початку сцена будується як набір тривимірних об'єктів, які складаються з вершин та полігонів (зазвичай трикутників).
- Проекція. Тривимірні координати об'єктів проєктуються на двомірну площину, що представляє екран. Це може бути ортогональна або перспективна проєкція залежно від налаштування камери.
- Геометрична обробка. На цьому етапі здійснюються різноманітні трансформації об'єктів, такі як обертання, зміщення та масштабування.
- Растеризація. На цьому етапі кожний трикутник або полігон перетворюється в пікселі. Для цього визначається, які пікселі на екрані покриваються трикутником.
- Фрагментний шейдер. Після растеризації, для кожного з пікселів (фрагментів) виконується обчислення кольору, з використанням інформації про освітлення, текстури та матеріали. Це виконується шляхом використання шейдерів.
- Композиція. Результуючі кольори пікселів об'єднуються з урахуванням різних ефектів, таких як прозорість, глибина та обчислення з накладенням текстур.

Перевагами цього методу є швидкість, простота та висока продуктивність. Якщо ж говорити про недоліки, то це обмеження якості, проблеми з тінями та обмежені можливості в обчисленні об'ємних ефектів.

Растеризація є основою сучасного рендерингу тривимірних сцен, забезпечуючи швидкість та ефективність, які необхідні для інтерактивних застосунків. Незважаючи на свої обмеження в якості зображення у порівнянні з трасуванням променів, розвиток шейдерних технологій дозволяє досягати вагомих результатів.

3. *Гібридний рендеринг* – це підхід до рендерингу тривимірних сцен, який поєднує методи растеризації та трасування променів. Такий підхід дозволяє досягти балансу між швидкістю рендерингу та якістю зображення, забезпечуючи ефекти, які непросто реалізувати за допомогою одного з цих методів. Гібридний рендеринг стає все більш популярним, особливо в сучасних відеоіграх, анімації та візуалізації.

Цей метод використовує переваги обох методів – растеризації та трасування променів – для досягнення оптимальних результатів:

- Растеризація. Використовується для основного рендерингу геометрії сцени, оскільки вона швидка і ефективна для обробки великих обсягів даних у реальному часі. На цьому етапі підраховуються основні кольори та освітлення пікселів.
- Трасування променів. Використовується для створення додаткових візуальних ефектів, таких як:
 - тіні (детальні, м'які тіні, які потребують точного обчислення);
 - відблиски (спеціальні ефекти для блискучих поверхонь, як, наприклад, вода або метал);
 - заломлення (анімації, що визначають, як світло проходить через прозорі матеріали).

У гібридному рендерингу, комбінуючи ці два підходи, розробники можуть досягти більш високого рівня реалістичності без значного збільшення часу рендерингу.

До переваг використання гібридного рендерингу варто віднести: оптимізація продуктивності, покращена якість, універсальність. А до недоліків: складність реалізації, залежність від ресурсів.

Гібридний рендеринг є потужним інструментом у сучасній комп'ютерній графіці. Завдяки поєднанню швидкості растеризації та якості трасування променів, він дозволяє досягти нових висот у візуалізації тривимірних сцен.

4. *Фізично-обґрунтований рендеринг (Physically Based Rendering, PBR)* — це підхід до комп'ютерної графіки, що намагається створити реалістичні зображення, підпорядковуючи обчислення параметрам фізики світла та матеріалів. PBR покликаний забезпечити точну симуляцію того, як світло взаємодіє з матеріалами, що дозволяє досягти високоякісного рендерингу у відеоіграх, анімації та візуалізації.

PBR ґрунтується на кількох ключових принципах, які допомагають змодельовати фізичну взаємодію між світлом і матеріалами:

- Закон збереження енергії. Матеріали не можуть відображати більше світла, ніж отримують. Це означає, що відображаючі та дифузні властивості матеріалів повинні дотримуватись певних фізичних обмежень.
- Фізичні властивості матеріалів. У PBR використовується реалістичне представлення фізичних властивостей, таких як: відбиття (Reflectivity), дифузне освітлення (Diffuse Lighting), спекулярне освітлення (specular Lighting), матеріали.
- Універсальність. Параметри, що використовуються для характеристик матеріалів, можуть бути однаковими у різних умовах освітлення, що дозволяє досягати стабільних результатів.

Ключовими перевагами PBR є реалістичність, можливість повторного використання, спрощення процесу створення. Недоліками є складність налаштування, потреба в більшій обчислювальній потужності.

Фізично-обґрунтований рендеринг (PBR) сприяє значному покращенню візуальної якості тривимірної графіки, забезпечуючи реалістичні та консистентні результати завдяки моделюванню фізичних властивостей світла і матеріалів. Попри деякі складності, представляє собою найсучасніший підхід до рендерингу у комп'ютерній графіці.

5. *Векторний рендеринг* — це метод створення зображень, в якому графіка представлена не у вигляді пікселів, а через математичні формули та геометричні примітиви (лінії, криві, полігони тощо). Цей підхід широко використовується в різних областях, таких як комп'ютерна графіка, дизайн, анімація та картографія.

На відміну від растеризації, яка як правило використовує пікселі для вимірювання зображення, векторний рендеринг базується на описах форм, що дозволяє створювати зображення за допомогою математичних рівнянь. Основні етапи:

- **Опис об'єктів.** Кожен елемент у векторній графіці визначається через його геометричні та математичні властивості. Наприклад, лінії можуть бути описані за допомогою початкової та кінцевої точки, а криві — через контрольні точки.
- **Композиція.** На основі описів об'єктів проєктуються всі елементи на двовірній площині. Це включає в себе накладення елементів один на одного, обчислення прозорості й кольорів.
- **Обчислення та рендеринг.** На цьому етапі комп'ютер обчислює, як усі векторні об'єкти впливають один на одного, а потім фізично малює їх на екрані. Це може включати апаратне прискорення для збільшення швидкості.

Переваги векторного рендерингу: безвтрата масштабованість, менший обсяг файлів, складні геометричні форми, легке редагування. Недоліки векторного рендерингу: обмежена реалізація деталей, складності з реалізацією складних сцен, небажане обмеження в палітрі кольорів

Векторний рендеринг є потужним методом створення графіки, який приносить значні переваги у гнучкості, масштабованості та легкості редагування. Незважаючи на обмеження у якості для складних текстур і деталей, він продовжує залишатися важливим інструментом у графічному дизайні, анімації та багатьох інших сферах.

Аналіз моделей рендерингу тривимірних сцен показує, що кожна з них має свої унікальні особливості, переваги та недоліки. Вибір моделі рендерингу залежить від конкретних потреб проєкту, наприклад, вимог до якості зображення, швидкості та ресурсів.

Список літератури:

1. Alexander S. Ricciardi. Understanding Rasterization in 2D and 3D Image Rendering. URL: <https://www.alexomegapy.com/post/understanding-rasterization-in-2d-and-3d-image-rendering> (дата звернення: 24.06.25)
2. Ashbery S. Rasterization. URL: <https://si-ashbery.medium.com/rasterization-13287cee9ab4> (дата звернення: 24.06.25)

3. Pharr M., Jakob W., Humphreys G. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. 4 ed, 2023. URL: <https://www.pbr-book.org/4ed/contents> (дата звернення: 24.06.25)

4. Ray Tracing. URL: <https://developer.nvidia.com/discover/ray-tracing> (дата звернення: 24.06.25)

5. What is Ray Tracing? URL: <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/what-is-ray-tracing.html> (дата звернення: 24.06.25)