

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕНДЕРИНГУ ТРИВИМІРНИХ СЦЕН ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РІВНЯМИ ДЕТАЛІЗАЦІЇ

Нагорний Олексій Сергійович

студент групи МППм -1-26-1.4д,

Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,

науковий керівник – к.т.н., доц. Негоденко О.В.

ВСТУП

Актуальність. Зростання складності тривимірних сцен в іграх, симуляторах та інтерактивних платформах призводить до того, що кількість полігонів і викликів відображення (draw calls) перевищує можливості обладнання, особливо мобільних пристроїв і VR-систем. Наслідком є падіння частоти кадрів і погіршення користувацького досвіду. Одним із базових способів керування складністю сцени є рівні деталізації (LOD), коли віддалений або малопомітний об'єкт замінюється спрощеною моделлю [1]. Проте в більшості рушіїв рівні перемикаються за статичними порогами відстані, які не враховують поточне навантаження на систему. Тому актуальною є задача адаптивного керування LOD, що підтримує задану продуктивність за контрольованих втрат візуальної якості.

Об'єкт дослідження: процес рендерингу тривимірних сцен у реальному часі.

Предмет дослідження: методи адаптивного керування рівнями деталізації за обмежень візуальної якості.

Мета роботи: розробити та експериментально оцінити метод адаптивного керування деталізацією тривимірних об'єктів, який підтримує задану частоту кадрів з урахуванням обмежень візуальної якості.

Завдання:

1. Проаналізувати методи керування LOD і метрики якості зображень.
2. Підготувати в Blender моделі з кількома рівнями деталізації та тестові сцени.
3. Розробити алгоритм вибору рівня деталізації за часом кадру, розміром об'єкта на екрані та його важливістю.
4. Реалізувати метод у ігровому рушії з автоматичним збором метрик.
5. Порівняти метод зі сценаріями без LOD та зі статичним LOD за продуктивністю й візуальною якістю.

Сучасні рушії дедалі частіше застосовують віртуалізовану геометрію з автоматичним рівнем деталізації, зокрема Nanite в Unreal Engine 5 [2], проте для мобільних і VR-платформ актуальним лишається керування деталізацією з урахуванням сприйняття. Перцептивні моделі вибору LOD, що враховують положення об'єкта відносно погляду, дають до 33 % додаткового прискорення разом із Nanite [3]. Для оцінювання якості кадрів розроблено метрики FLIP, що наближає різницю, яку помічає людина [4], та DISTS, що поєднує структурну й текстурну подібність [5]. Водночас поєднання цих підходів із керуванням LOD за цільовим часом кадру в ігрових рушіях потребує подальшого дослідження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У Blender для складних об'єктів створюються 3–4 рівні деталізації (LOD0–LOD3) спрощенням сіток із записанням normal map для збереження вигляду. Тестові сцени: інтер'єр бару, відкрита локація та щільно заповнена кімната

У Unity для кожного видимого об'єкта на кожному кадрі оцінюються «вартість» (кількість трикутників, draw calls) та очікувана втрата якості кожного рівня LOD. Рівні обираються так, щоб мінімізувати сумарну втрату якості за обмеження на час кадру, з урахуванням перцептивної значущості об'єкта за аналогією з [3]. Регулятор зсуває пороги перемикання залежно від відхилення поточного FPS від цільового.

Сцени проходяться за єдиним записаним маршрутом камери в трьох режимах: без LOD, зі статичним LOD за відстанню та з адаптивним методом. Продуктивність оцінюється середнім і мінімальним FPS, часом кадру, кількістю трикутників і обсягом пам'яті.

Очікується, що адаптивний метод утримуватиме цільові 60 FPS у складних сценах, де статичний LOD цього не забезпечує, за прийнятного зниження якості.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано актуальність адаптивного керування рівнями деталізації для підтримання продуктивності сцен у реальному часі. Визначено мету, завдання та методику, що поєднує підготовку моделей у Blender, реалізацію методу в ігровому рушії та кількісну оцінку продуктивності й якості. Результати можна застосовувати в іграх, VR-застосунках і на мобільних пристроях. Подальша робота передбачає реалізацію методу та проведення експериментів.

ДЖЕРЕЛА

1. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2018. 1198 с.
2. Karis B., Stubbe R., Wihlidal G. A deep dive into Nanite virtualized geometry. ACM SIGGRAPH 2021: Advances in Real-Time Rendering in Games course.2021.URL:https://advances.realtimerendering.com/s2021/Karis_Nanite_SIGGRAPH_Advances_2021_final.pdf (дата звернення: 07.10.2026).
3. Surace L., Tursun C., Celikcan U., Didyk P. Gaze-contingent perceptual level of detail prediction. Eurographics Symposium on Rendering (EGSR 2023). DOI: 10.2312/sr.20231130.
4. Andersson P., Nilsson J., Akenine-Möller T., Oskarsson M., Åström K., Fairchild M. D. FLIP: a difference evaluator for alternating images. Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques. DOI: 10.1145/3406183.
5. Ding K., Ma K., Wang S., Simoncelli E. P. Image quality assessment: unifying structure and texture similarity. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. DOI: 10.2312/TPAMI.2020.3045810.