

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ АДАПТИВНОГО РЕНДЕРИНГУ ЛАНДШАФТІВ ДЛЯ РУШІЯ UNITY 3D

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено результати проєктування програмного модуля адаптивного рендерингу ландшафтів для рушія Unity 3D. Обґрунтовано доцільність переходу від стандартного багатопасового сплат-мапінгу до технології ущільнених масивів текстур (Texture2DArray). Наведено архітектуру модуля, що базується на інтеграції кастомних низькорівневих інструкцій мовою HLSL у візуальний граф редактора Amplify Shader Editor. Впровадження алгоритмів висотно-орієнтованого змішування та двоярусної деструктуризації (стохастичного блендингу та макро-варіативності) дозволяє повністю усунути ефект візуального тайлінгу. Результати експериментальних досліджень підтверджують обчислювальну ефективність модуля, що забезпечує зниження навантаження на відеопам'яті та підвищення стабільності кадрової частоти.

Ключові слова: комп'ютерна графіка реального часу, масиви текстур, каналне ущільнення, стохастичне змішування, паралаксне трасування, трипланарне проєктування, Unity 3D.

Abstract

This paper presents the results of designing a software module for adaptive terrain rendering in the Unity 3D engine. It substantiates the expediency of transitioning from standard multi-pass splatmapping to the technology of packed texture arrays (Texture2DArray). The module's architecture is based on the integration of custom low-level HLSL instructions into the visual graph of the Amplify Shader Editor. The implementation of height-based blending and two-tier destructuring algorithms (stochastic blending and macro variation) completely eliminates the visual tiling effect. The experimental research results confirm the computational efficiency of the module, which ensures a reduction in video memory consumption and an increase in frame rate stability.

Keywords: real-time computer graphics, texture arrays, channel packing, stochastic blending, parallax occlusion mapping, triplanar mapping, Unity 3D.

Вступ

Візуалізація великомасштабних ландшафтів є однією з найбільш ресурсомістких задач у сучасній комп'ютерній графіці реального часу [1]. Стандартні підходи до багатопасового текстуровання у рушії Unity 3D, що базуються на лінійній інтерполяції сплат-масок, призводять до експоненційного зростання кількості викликів відмальовування (Draw Calls) при використанні більше ніж чотирьох матеріалів. Водночас наявні комерційні рішення часто обтяжують графічний конвеєр надмірною архітектурною надлишковістю та провокують комбінаторний вибух пермутацій шейдерів. Окремою фундаментальною проблемою залишається феномен візуального тайлінгу — штучної періодичності текстур на великих дистанціях спостереження. З огляду на це, виникає потреба у розробці високооптимізованого програмного модуля, здатного забезпечити однопасовий рендеринг до 16 унікальних шарів матеріалів без критичної деградації кадрової частоти та перевантаження відеопам'яті.

Результати дослідження

Архітектура розробленого модуля адаптивного рендерингу базується на технології каналного ущільнення даних (Channel Packing). Для забезпечення доступу до 16 шарів графічні ресурси компонується у два структуровані масиви текстур (Texture2DArray) [2]. Перший масив акумулює базовий колір (Base Color) та карту висот (Height Map), другий – компоненти X та Y вектора нормалі, просторове затінення (Ambient Occlusion) та показник гладкості (Smoothness). Відновлення третьої координати вектора нормалі виконується математично безпосередньо в арифметичних блоках піксельного шейдера, що мінімізує кількість інструкцій семплювання.

Для розв'язання проблеми неприродних переходів між матеріалами реалізовано алгоритм висотно-орієнтованого змішування (Height-based blending), який модифікує вагові коефіцієнти масок на основі

мікрорельєфу кожної поверхні. Усунення артефактів періодичності текстур забезпечується гібридною підсистемою двоярусної деструктуризації. На ближніх планах застосовується стохастичне змішування (Stochastic blending) [3] через процедурне розбиття простору координат на гексагональну сітку з псевдовипадковим зсувом. На дальніх дистанціях алгоритм динамічно активує генерування макро-варіативності (Macro variation) через низькочастотну колірну модуляцію шумом.

З метою збереження просторової коректності на крутих схилах впроваджено математичну модель селективного трипланарного проектування. Система динамічно активує додаткові площини картування виключно при деградації вертикальної компоненти вектора нормалі геометрії, що суттєво заощаджує обчислювальні ресурси на рівнинах. Імітація об'ємного мікрорельєфу на передньому плані досягається застосуванням ітераційного алгоритму паралаксного трасування променів (Parallax Occlusion Mapping) [4], а ефекти оточення доповнені підсистемою динамічного зволоження (Wetness). Логіку обробки текстурних масивів та динамічної зміни алгоритму накладання текстур наведено на рисунку. 1.

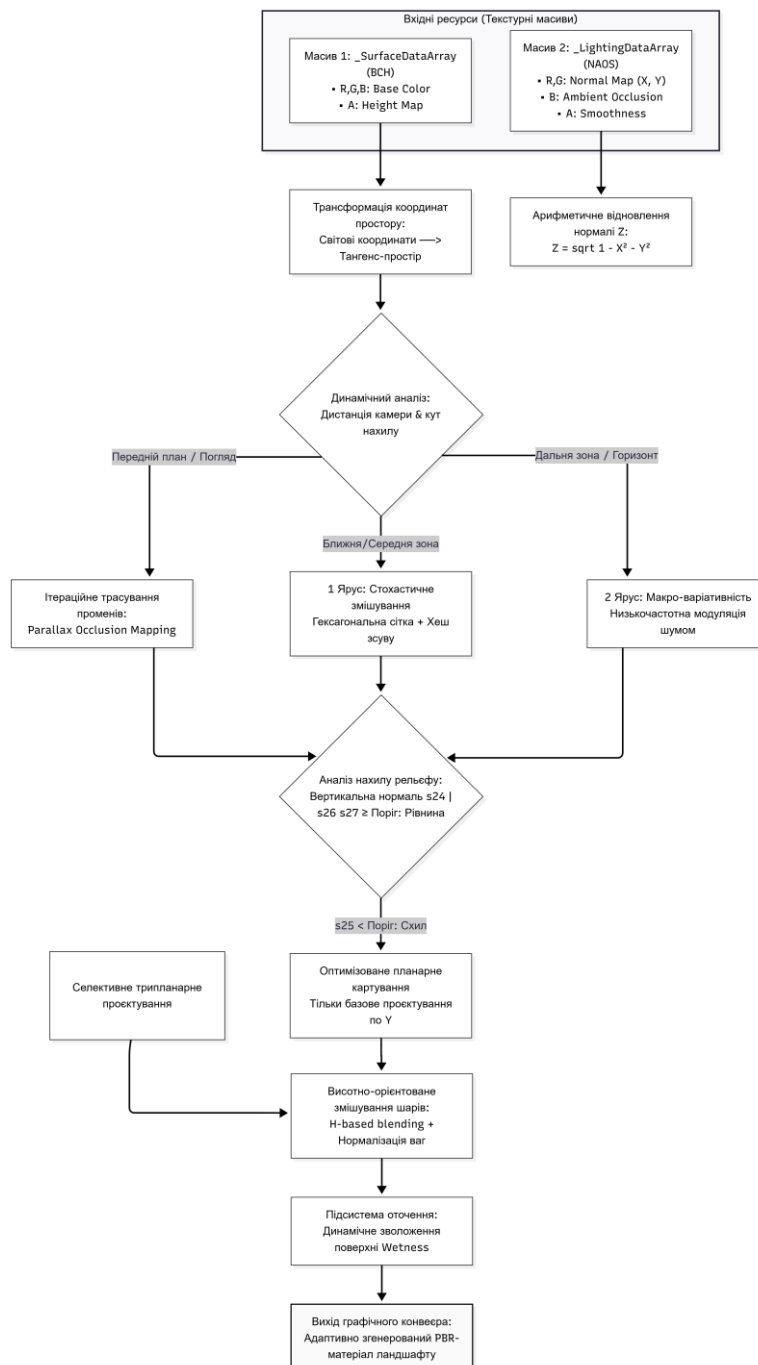


Рисунок 1 - Логічна схема графічного конвеєра програмного модуля адаптивного рендерингу

Висновки

Проведене дослідження підтверджує, що впровадження методів каналного ущільнення у структуровані масиви текстур та використання процедурних алгоритмів деструктуризації тайлінгу дозволяє кардинально оптимізувати процес візуалізації ландшафтів. Розроблений адаптивний модуль забезпечує високу реалістичність поверхонь завдяки імітації об'ємного макрорельєфу (ПОМ) та висотному змішуванню 16 шарів матеріалів у межах єдиного проходу рендерингу. На відміну від стандартних рішень, інтеграція кастомних низькорівневих HLSL-інструкцій гарантує раціональне використання апаратних ресурсів відеокарти та стабільну кадрову частоту, що робить розроблений модуль ефективним інструментом для сучасних тривимірних ігрових проєктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering, Fourth Edition. CRC Press, 2018. 1198 p. – Режим доступу: http://mutantstargoat.com/~nuclear/tmp/realtime_rendering_4ed.pdf
2. T Unity Technologies. Texture2DArray. // Unity Documentation. – Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Texture2DArray.html>
3. Deliot T., Heitz E. Procedural Stochastic Textures by Tiling and Blending. / GPU Zen 2: Advanced Rendering Techniques. 2019. P. 45–58. – Режим доступу: <http://gpuzen.blogspot.com/2019/04/gpu-zen-2-procedural-stochastic.html>
4. atarchuk N. Practical Parallax Occlusion Mapping with approximate soft shadows for detailed surface rendering. 2006. P. 1–34. – Режим доступу: [Parallax Occlusion Mapping for detailed surface rendering.pdf](#)

Тишко Антон Олександрович – студент групи 5КН-226, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yaehikko@gmail.com

Сілагін Єгор Олексійович – асистент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yehor.silahin@vntu.edu.ua

Tyshko Anton O. – student of group 5KN-22b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yaehikko@gmail.com

Silagin Egor O. – assistant of the Department of Computer Sciences, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yehor.silahin@vntu.edu.ua