

ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ ЛАНДШАФТІВ ДЛЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Стрюк Д.С.

danylo.striuk@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., ас. Кобилін І. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

This article explores the advantages and challenges of using procedural generation techniques for landscape modeling in multimedia applications. It discusses improvements in visual realism, computational efficiency, and adaptability of terrain generation algorithms, as well as challenges related to performance optimization and integration with real-time rendering systems. Special attention is given to the balance between realism and computational efficiency in modern applications.

У сучасному світі процедурна генерація ландшафтів є потужним інструментом для створення реалістичних віртуальних світів. Вона активно застосовується у мультимедійних системах, таких як відеоігри, симулятори та VR-додатки. Основною перевагою процедурних методів є можливість динамічного створення ландшафтів без необхідності ручного моделювання, що значно зменшує використання пам'яті та підвищує продуктивність.

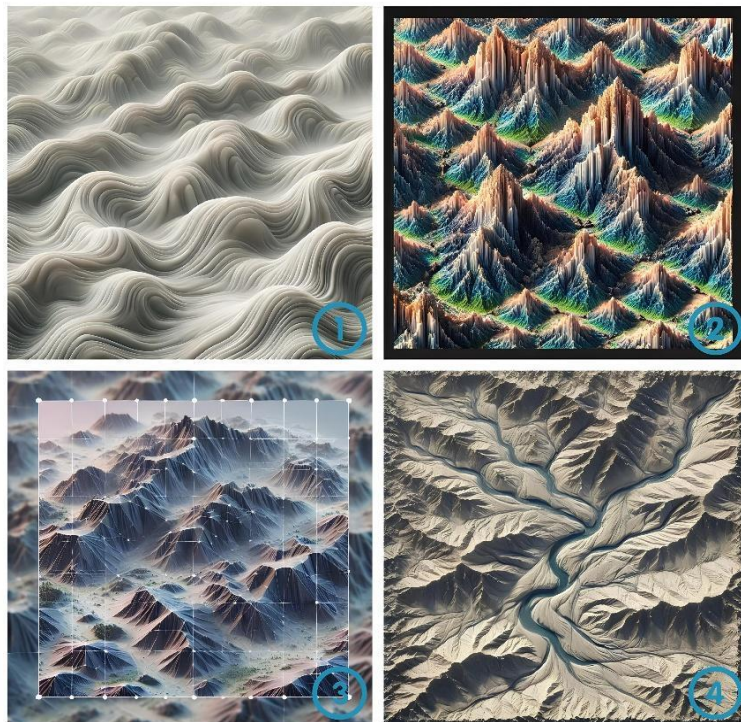


Рисунок 1 – Візуалізація методів процедурної генерації ландшафтів:
1 – Шум Перліну; 2 – Diamond-Square; 3 – Level of Detail (LOD);
4 – Hydraulic Erosion (Гідравлічна або водна ерозія)

На зображенні представлено чотири основні методи процедурної генерації рельєфу.

Одним із ключових алгоритмів генерації є використання перлинного шуму, який дозволяє створювати плавні та природні переходи між висотами, що ідеально підходить для генерації пагорбів та рівнин, забезпечуючи природний вигляд рельєфу.

Наприклад, шум Перліна використовується у грі No Man's Sky для генерації унікальних поверхонь планет у відкритому всесвіті.

Функція перлинного шуму визначається наступним рівнянням:

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^n a_i P(2^i x, 2^i y), \quad (1)$$

де $P(x, y)$ – базова функція шуму, a_i - коефіцієнти амплітуди, n – кількість рівнів деталізації.

Ще одним поширеним методом є алгоритм Diamond-Square, використовується для формування та генерації висотних карт, шляхом рекурсивного ділення квадратів, забезпечуючи фрактальну деталізацію ландшафту.

Наприклад, цей алгоритм використовується у симуляторах польотів для реалістичного моделювання поверхні Землі.

Його основна формула представлена виразом:

$$h_{new} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} + R, \quad (2)$$

де h_1, h_2, h_3, h_4 – висоти сусідніх вершин, R – випадковий зміщуючий фактор.

Для оптимізації продуктивності використовується техніка рівнів деталізації (LOD), яка є ключовим методом що, дозволяє адаптивно зменшувати кількість полігонів залежно від відстані до камери. Це значно підвищує продуктивність у реальному часі.

Наприклад, у грі The Witcher 3 ця технологія застосовується для плавної зміни рівня деталізації віддалених об'єктів.

Функція залежності рівня деталізації від відстані має вигляд:

$$LOD = \max(0, L_{max} - k \cdot d), \quad (3)$$

де L_{max} – максимальний рівень деталізації, k – коефіцієнт зменшення, d – відстань до об'єкта.

Крім того, у сучасних системах рендерингу активно застосовуються метод гідравлічної ерозії, який моделює процеси природної трансформації рельєфу під впливом води, додаючи можливість покращити реалістичність згенерованому ландшафту.

Наприклад, технологія гідравлічної ерозії використовується у геологічному моделюванні для прогнозування змін ландшафту під дією води.

Один з підходів базується на імітації гідравлічної ерозії за формулою:

$$h_{new} = h_{old} - \alpha \cdot \nabla h, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт ерозії, ∇h – градієнт висотної карти.

Ці методи дозволяють створювати детальні та динамічні 3D-сцени, забезпечуючи баланс між реалістичністю та ефективністю обчислень.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик основних методів процедурної генерації ландшафтів.

Метод	Основна характеристика	Приклад застосування
Шум Перліна	Генерація плавних висотних карт	Створення реалістичних ландшафтів
Diamond-Square	Рекурсивне ділення для висотних карт	Генерація територій у відеоіграх
LOD	Оптимізація рівня деталізації	Динамічна зміна полігонів
Гідравлічна ерозія	Реалістична симуляція рельєфу	Географічні симулятори

Процедурна генерація відкриває широкі можливості для створення реалістичних і гнучких ландшафтів у мультимедійних додатках. Проте її застосування вимагає оптимізації алгоритмів для забезпечення високої продуктивності. Наприклад, у гоночних симуляторах, таких як Forza Horizon, процедурні методи використовуються для створення відкритих світів, що дозволяє водіям досліджувати великі території без затримок у завантаженні. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на використання машинного навчання для покращення адаптивності генерації, що дозволить створювати ще більш реалістичні віртуальні середовища.

Список використаних джерел:

1. Perlin K. An image synthesizer. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1985. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/325165.325247>
2. Musgrave F., Kolb C., Mace R. The synthesis and rendering of eroded fractal terrains. ACM SIGGRAPH, 1989. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/74334.74337>
3. Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman, 1982. URL: <https://archive.org/details/fractalgeometryo0000mand>
4. Ebert D., Musgrave F., Peachey D., Perlin K., Worley S. Texturing & Modeling: A Procedural Approach. Morgan Kaufmann, 2003. URL: <https://www.elsevier.com/books/texturing-and-modeling/ebert/978-1-55860-848-1>