

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО СОЗДАНИЯ, РЕДАКТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ГРАФИЧЕСКОГО API VULKAN

Сазонов А.В., студент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Красковский П.Н. – старший преподаватель

В работе представлено программное средство создания, редактирования и применения процедурных материалов, реализованное с использованием графического API Vulkan. Рассмотрены методы генерации текстур на основе шумовых функций, применяемые в системах визуализации в реальном времени. Проведен сравнительный анализ градиентного шума, клеточного шума (Worley noise) и фрактального шума (fBm).

Введение. Процедурная генерация текстур – метод, при котором значения цвета и других параметров поверхности вычисляются алгоритмически. Такой подход позволяет получать бесконечно детализированные структуры с минимальными затратами памяти.

Основой большинства процедурных текстур являются шумовые функции, формирующие псевдослучайные, но непрерывные распределения значений в пространстве.

Градиентный шум. Одним из наиболее распространенных методов является *Perlin Noise* – градиентный шум, обеспечивающий гладкие переходы значений.

Функция шума [1] определяется как интерполяция скалярных произведений градиентов и векторов смещения:

$$N(x) = \sum_i w_i \cdot (g_i \cdot (x - x_i)), \quad (1)$$

где g_i – псевдослучайный градиент в узле решетки; w_i – весовая функция интерполяции.

Для обеспечения гладкости используется сглаживающая функция [1]:

$$f(t) = 6t^5 - 15t^4 + 10t^3 \quad (2)$$

Градиентный шум обладает следующими свойствами: непрерывности, отсутствия резких переходов и контролируемости частотной структуры. Пример генерации текстуры с помощью *Perlin Noise* приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример генерации текстуры с помощью *Perlin Noise*

Клеточный шум. Другим важным методом является *Worley Noise*, основанный на вычислении расстояния до ближайших опорных точек. Функция, определяющая значения шума, [2] имеет следующий вид:

$$F_n(x) = distance(x, p_n) \quad (3)$$

где p_n – n -я ближайшая точка.

Клеточный шум формирует характерные структуры: ячейки, трещины и органические паттерны. Пример генерации текстуры с помощью *Worley Noise* приведен на рисунке 2.

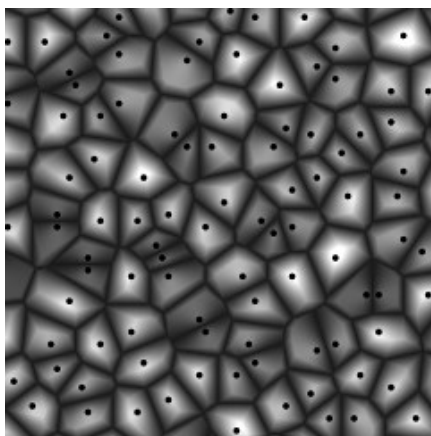


Рисунок 2 – Пример генерации текстуры с помощью *Worley Noise*

Фрактальный шум. Для увеличения детализации используется фрактальная сумма шумов *fBm* (*fractal Brownian motion*). Функция фрактальной суммы шумов [2] имеет следующий вид:

$$F(x) = \sum_{i=0}^k a_i \cdot N(2^i x), \quad (4)$$

где a_i – амплитуда октавы; p – коэффициент уменьшения амплитуды.

Данный метод позволяет комбинировать несколько частот шума, формируя сложные структуры и обладает следующими свойствами: самоподобие, высокая детализация и гибкость настройки. Пример генерации текстуры с помощью *fBm* приведен на рисунке 3.

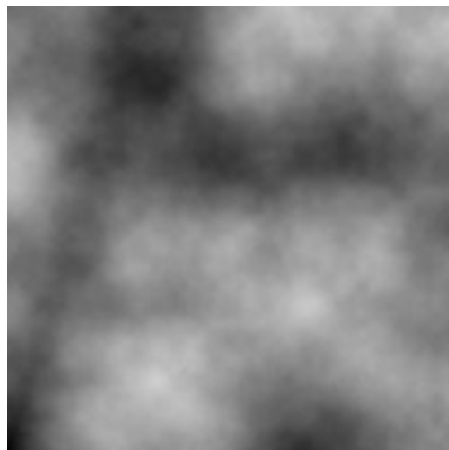


Рисунок 3 – Пример генерации текстуры с помощью *fBm*

Сравнительный анализ. Сравнение методов проводилось по следующим критериям: визуальное качество, вычислительная сложность и применимость.

Градиентный шум обеспечивает гладкий и естественные переходы, что делает его подходящим для генерации: облаков, рельефа и мягких текстур.

Клеточный шум лучше подходит для камня, кожи и органических структур.

Фрактальный шум позволяет существенно повысить детализацию, комбинируя базовые методы, однако увеличивает вычислительные затраты.

Список использованных источников:

1. *Graphics Programming: Procedural Textures and Noise* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/graphics1/graphics_11_2_eng_web.html#1. – Дата доступа: 22.03.2026.
2. *The Book of Shaders* by Patricio Gonzalez Vivo & Jen Lowe [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://thebookofshaders.com>. – Дата доступа: 25.03.2026.