



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

*«Классификация методов генерации текстур с
использованием генерации шумов»*

Студент ИУ7-53Б
(Группа)

(Подпись, дата)

Авдейкина В. П.
(И. О. Фамилия)

Студент ИУ7-55Б
(Группа)

(Подпись, дата)

Амбарцумова Е. А.
(И. О. Фамилия)

Студент ИУ7-55Б
(Группа)

(Подпись, дата)

Саблина П. Р.
(И. О. Фамилия)

Руководитель НИР

(Подпись, дата)

Кострицкий А. С.
(И. О. Фамилия)

2023 г.

РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка 20 с., 9 рис., 1 табл., 21 ист.

ШУМ, ГЕНЕРАЦИЯ ШУМА, ТЕКСТУРА, ГЕНЕРАЦИЯ ТЕКСТУР, АНИЗОТРОПНЫЙ ШУМ, ВЕЙВЛЕТ-ШУМ, ШУМ ПЕРЛИНА.

Объектом исследования являются методы генерации текстур с использованием генерации шумов.

Цель работы — классификация существующих методов генерации текстур с использованием шумов.

В процессе исследования проанализирована предметная область генерации текстур и изучены существующие методы, использующие генерацию шумов.

В результате исследования предложены и разработаны критерии сравнения методов генерации текстур с использованием генерации шумов и классифицированы 3 алгоритмические реализации существующих методов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ предметной области	5
2 Обзор существующих решений	6
2.1 Шум Перлина	6
2.2 Анизотропный шум	8
2.2.1 Задание метрики	8
2.2.2 Генерация эллипсов	9
2.2.3 Применение фильтра Гаусса	10
2.3 Вейвлет-шум	11
2.3.1 Математические основы	11
2.3.2 Описание	13
3 Сравнение существующих методов создания текстур посредством генерации шумов	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	20

ВВЕДЕНИЕ

За последние 15 лет генерация текстур не перестала быть актуальной задачей компьютерной графики и упоминается в [1], [2], [3], [4], [5]. Таким образом, возникает необходимость нахождения методов, которые обеспечивают решение этой задачи. Существует ряд таких методов, суть которых заключается в использовании генерации шумов (в использовании шумов).

Цель работы — классификация существующих методов создания текстур посредством генерации шумов.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- 1) проанализировать предметную область создания текстур посредством генерации шумов;
- 2) описать основные подходы к решению задачи создания текстур посредством генерации шумов;
- 3) сформулировать критерии сравнения применяемых методов;
- 4) выполнить сравнение методов в рамках сформулированных критериев.

1 Анализ предметной области

Стандартной задачей компьютерной графики является визуализация изображений, способы осуществления которой делятся на растровый и векторный [6], [7]. При использовании растрового способа визуализации изображение X представляется в виде набора точек [7], [6]:

$$X = (\dots, x_i, \dots) \quad (1.1)$$

Текстура — растровое изображение, используемое в компьютерной графике для наложения [8].

Псевдослучайный метод получения чисел (точек) — метод получения случайных чисел (точек) с возможностью повтора набора при повторе входных данных [9].

Шум — набор точек, полученный псевдослучайным методом [10].

2 Обзор существующих решений

В данном разделе будут рассмотрены существующие решения задачи создания текстур посредством генерации шумов.

2.1 Шум Перлина

В [11], [12], [13] метод генерации шума Перлина описан следующим образом:

- 1) задать целочисленную решетку, то есть множество всех точек в пространстве, координаты которых являются целыми числами;
- 2) задать массив P , содержащий псевдослучайную перестановку, и массив G , содержащий псевдослучайный набор градиентов единичной длины;
- 3) с помощью хэш-функции $g = H(x, y, z)$, использующей массивы P и G , связать с каждой точкой куба целочисленной решетки псевдослучайный градиент;
- 4) выполнить интерполяцию по трем направлениям восьми скалярных произведений $g_{i,j,k} \cdot (x - i, y - j, z - k)$, где i, j, k — координаты точек куба целочисленной решетки, а $g_{i,j,k}$ — градиент в точке (i, j, k) .

В [13] уточняется, что в оригинальной версии алгоритма генерации шума Перлина для интерполяции по трем направлениям была выбрана функция сглаживания

$$s(t) = 3t^2 - 2t^3, \quad (2.1)$$

где t — это значение координаты точки. Вторая производная функции (2.1) $6 - 12t$ не равна нулю при $t = 0$ и $t = 1$. Это ненулевое значение создает на выровненных по координатам гранях соседних кубических ячеек разрывы второго рода [13], влияние которых на внешний вид полученной текстуры отображено на рисунке 2.1.

Для решения этой проблемы функция (2.1) заменяется на

$$6t^5 - 15t^4 + 10t^3, \quad (2.2)$$

так как ее первая и вторая производные равны нулю при $t = 0$ и $t = 1$ [13]. На рисунке 2.2 из [13] приведен результат замены функции сглаживания.

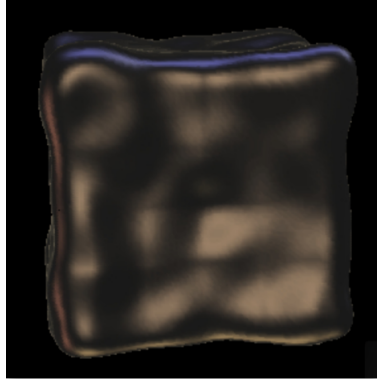


Рисунок 2.1 – Шум Перлина, полученный с использованием функции сглаживания (2.1), рисунок Кена Перлина [13]

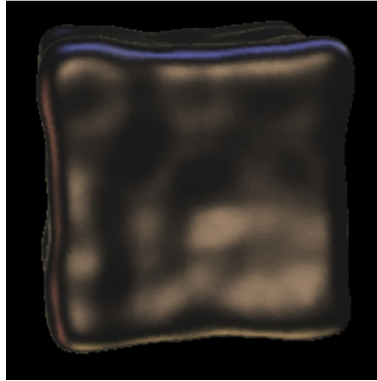


Рисунок 2.2 – Шум Перлина, полученный с использованием функции сглаживания (2.2), рисунок Кена Перлина [13]

Следующей проблемой, описанной в [13], является то, что в массиве G содержатся градиенты единичной длины, но в кубической решетке расстояния от центра куба до его ребер укорочены вдоль осей и удлиненны вдоль диагоналей между противоположными углами куба. Это приводит к тому, что близлежащие градиенты сливаются друг с другом, из-за чего шумовая функция принимает аномально высокие значения в этих областях [13], что отображено на рисунке 2.3 из [13].

Для решения данной проблемы массив G заменяют набором из 12 векторов, определяющих направления от центра куба до его ребер. Чтобы избежать затрат на деление на 12, Перлином предложено увеличить набор до 16 градиентов, добавляя в него дополнительные $(1, 1, 0)$, $(-1, 1, 0)$, $(0, -1, 1)$ и $(0, -1, -1)$ [13]. На рисунке 2.4 из [13] приведен результат замены массива градиентов G .

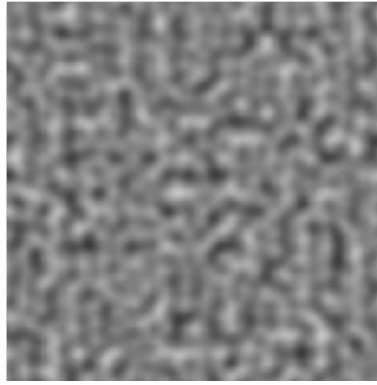


Рисунок 2.3 – Шум Перлина, полученный с использованием старого массива градиентов G , рисунок Кена Перлина [13]

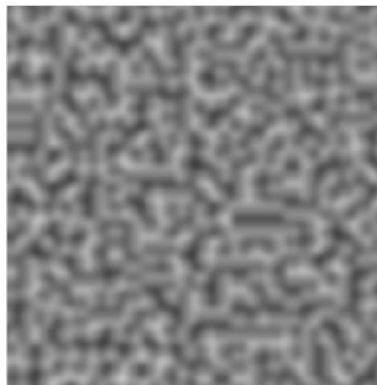


Рисунок 2.4 – Шум Перлина, полученный с использованием нового массива градиентов G , рисунок Кена Перлина [13]

2.2 Анизотропный шум

Генерация анизотропного шума [14] на поверхности разбивается на несколько этапов:

- 1) задание метрики,
- 2) генерация эллипсов,
- 3) применение фильтра Гаусса.

Далее перечисленные этапы рассматриваются более подробно.

2.2.1 Задание метрики

Тензорное поле — это отображение, которое каждой точке рассматриваемого пространства ставит в соответствие тензор [15].

Число λ называется собственным значением тензора A , если найдется вектор x такой, что $A \cdot x = \lambda \cdot x$. Вектор x называется собственным вектором тензора A , соответствующим данному собственному значению [16].

Для первого этапа генерации образца анизотопного шума для визуализации тензорного поля T , определенного в пространстве $D \in R^2$, необходима метрика g , которая задает свойства образца анизотопного шума [14]. В тензорном поле T λ_1 и λ_2 — собственные значения, v_1 и v_2 — соответствующие собственные векторы. Метрика для генерации образца определяется как

$$g = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} \cdot v_1 \cdot v_1^T + \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} \cdot v_2 \cdot v_2^T \quad (2.3)$$

Полученные образцы представляют собой эллипсы, выровненные по v_1 и v_2 и масштабируемые по λ_1 и λ_2 [14].

2.2.2 Генерация эллипсов

Эллипсы определяются полуосями и центром.

Согласно [14] полуоси совпадают с собственными векторами, а квадраты главных радиусов масштабируются по обратным собственным значениям:

$$a^2(x_0, y_0) = \frac{1}{\lambda_1(x_0, y_0)} \quad (2.4)$$

$$b^2(x_0, y_0) = \frac{1}{\lambda_2(x_0, y_0)} \quad (2.5)$$

В произвольно заданном наборе точек генерируется эллипс — произвольная точка выбирается как центр текущего эллипса [14]. Произвольным образом выбирается центр первого генерируемого эллипса. Затем точки, находящиеся внутри границ сгенерированного эллипса, помечаются как неподходящие, так как сгенерированные на них эллипсы будут пересекаться.

Далее начинается перебор еще не обработанных точек — тех, на которых еще не сгенерирован эллипс или не отмечены, как неподходящие.

На текущей итерации на выбранной точке строится эллипс.

На рисунке 2.5 показан процесс отбора эллипсов для образца.

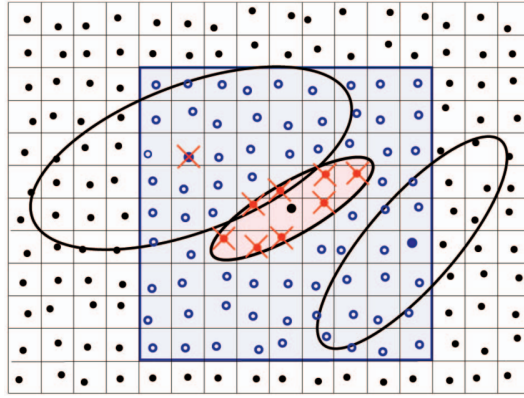


Рисунок 2.5 – Выбор подходящего для выборки эллипса

Если эллипс пересекается с уже построенными эллипсами, точка его центра помечается как неподходящая. Если не пересекается, точка центра помечается как центр эллипса, а точки внутри границы текущего эллипса помечаются как неподходящие.

2.2.3 Применение фильтра Гаусса

Фильтр Гаусса — способ снижения детализации изображения и шума в изображении [17]. В фильтре Гаусса используется функция Гаусса, которая для каждого пикселя вычисляет преобразование. Пиксель задан набором (x, y) , σ — среднеквадратичное отклонение нормального распределения.

Функция Гаусса согласно [18]:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.6)$$

Для получения готовой текстуры необходимо применить к образцу фильтр Гаусса. На рисунке 2.6 представлены примеры образца до применения фильтра Гаусса и после.

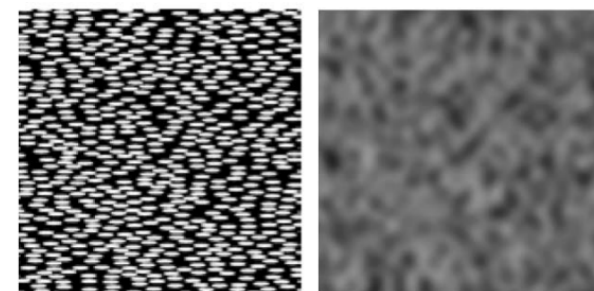


Рисунок 2.6 – Образец без применения фильтра Гаусса (слева), с применением фильтра Гаусса (справа)

2.3 Вейвлет-шум

2.3.1 Математические основы

Суть вейвлет-шума заключается в использовании вейвлетов.

Вейвлет — функция независимой переменной, имеющая вид короткой волны (всплеска) [19—21]. Пример вейвлета представлен на рисунке 2.7.

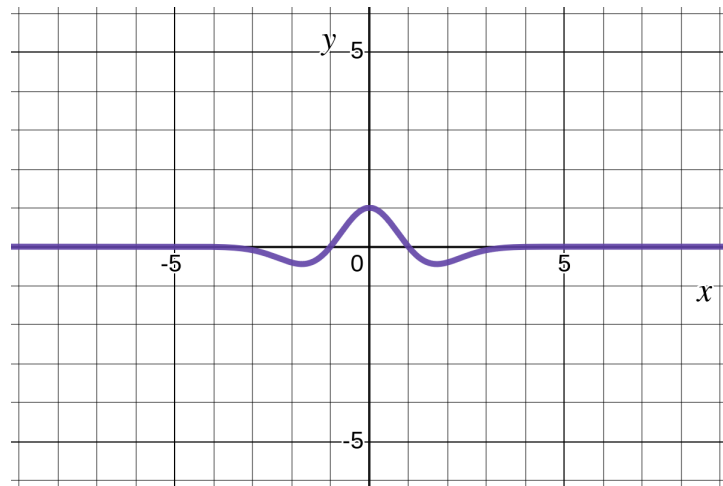


Рисунок 2.7 – Вейвлет, центр которого $x = 0$

Центр вейвлета — значение независимой переменной, через которое проходит вертикальная ось симметрии вейвлета.

Пространство вейвлетов W — набор функций, которые могут быть представлены линейной комбинацией сдвигов и масштабирования одного вейвлета [22; 23].

Пример пространства вейвлетов представлен на рисунке 2.8.

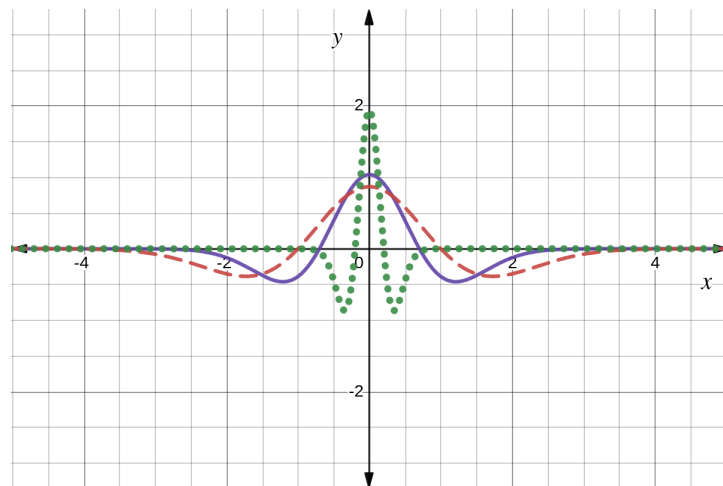


Рисунок 2.8 – Пространство вейвлетов

Масштабирующая функция ξ — функция, для которой справедливо следующее равенство:

$$\xi(x) = \sum_k p_k \xi(2x - k), \quad (2.7)$$

при условии, что существуют такие числовые коэффициенты p_k [22; 24].

Согласно [24], если $\phi(x)$ — функция из W , центр которой $x = 0$, то любая функция $F(x)$ может быть представлена следующим образом:

$$F(x) = \sum_i f_i \phi(x - i), \quad (2.8)$$

где $\phi(x - i)$ — функция из W с центром $x = i$, f_i — некоторые числовые коэффициенты.

Пространство S^0 — пространство, состоящее из функций вида 2.8.

Функции $G(x)$ вида

$$G(x) = \sum_i g_i \phi(2x - i) \quad (2.9)$$

аналогично S^0 составляют пространство S^1 . [24]

Если рассматриваемая в 2.9, 2.8 функция ϕ является масштабирующей, то S^1 расширяет S^0 , то есть включает все функции S^0 [22; 24].

Вейвлет-анализ — процесс определения того, расширяет ли пространство S^1 пространство S^0 [24].

С учетом того, что функция $F(x)$ из 2.8 является масштабирующей, она представляется с помощью коэффициентов f_i^\uparrow в пространстве S^1 :

$$F(x) = \sum_i f_i^\uparrow \phi(2x - i) \quad (2.10)$$

Коэффициенты f_i^\uparrow выражаются с использованием формулы 2.7:

$$f_i^\uparrow = \sum_k p_{i-2k} f_k \quad (2.11)$$

Согласно [24], коэффициенты g_i^\downarrow , необходимые для представления функции $G(x)$ из 2.9 в пространстве S^0 , вычисляются с помощью вейвлет-анализа и являются равными

$$g_i^\downarrow = \sum_k a_{k-2i} g_k \quad (2.12)$$

Функция $G(x)$ в пространстве S^0 представляется как

$$G(x) = G^\downarrow(x) + D(x) \quad (2.13)$$

где $D(x)$ — функция из S^1 , которая не может быть выражена в S^0 через какие-либо коэффициенты, а G^\downarrow выражается через g_i^\downarrow .

2.3.2 Описание

Входные данные вейвлет-шума: функция $B(x)$ из W , изображение R .

Выходные данные вейвлет-шума: изображение N .

Изображение X представляется упорядоченным набором числовых коэффициентов \dots, x_i, \dots :

$$X = (\dots, x_i, \dots) \quad (2.14)$$

Авторы [24] представляют алгоритм вейвлет-шума тремя семантическими шагами:

- 1) получение $R(x)$;
- 2) получение $R^\downarrow(x)$;
- 3) получение $R^{\downarrow\uparrow}(x)$;
- 4) получение $N(x)$.

Пример визуализации получения результата алгоритма представлен на рисунке 2.9.

Рассмотрим представленные шаги более подробно, основываясь на информации из [24].

Согласно формуле 2.14 изображение R представляется следующим образом:

$$R = (\dots, r_i, \dots) \quad (2.15)$$

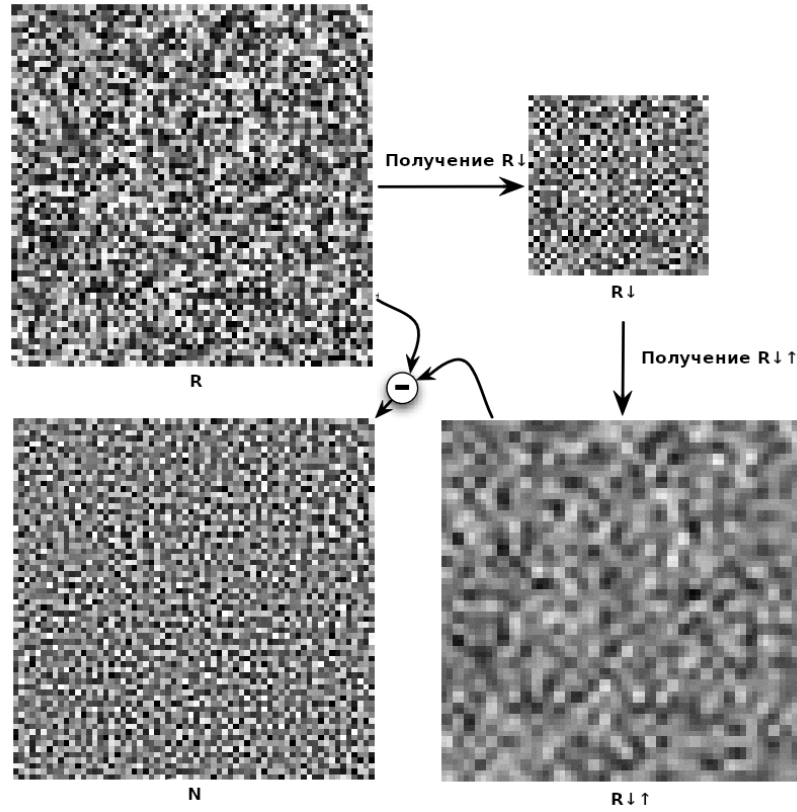


Рисунок 2.9 – Визуализация получения результата алгоритма вейвлет-шума согласно [24]

Аналогично формуле 2.9 выражается $R(x)$:

$$R = \sum_i r_i B(2x - i) \quad (2.16)$$

Согласно формуле 2.13:

$$R(x) = R^\downarrow(x) + N(x) \quad (2.17)$$

$N(x)$ выражается из формулы 2.17 как

$$N(x) = R(x) - R^\downarrow(x) \quad (2.18)$$

С помощью формулы 2.8 выражается

$$R^\downarrow(x) = \sum_i r_i^\downarrow B(x - i) \quad (2.19)$$

где r_i^\downarrow представляются с помощью формулы 2.12:

$$r_i^\downarrow = \sum_k a_{k-2i} r_k \quad (2.20)$$

С учетом формулы 2.10 и 2.19 получается выражение

$$R^{\downarrow\uparrow}(x) = \sum_i r_i^{\downarrow\uparrow} B(2x - i), \quad (2.21)$$

где коэффициенты $r_i^{\downarrow\uparrow}$ выражаются с учетом формулы 2.11:

$$r_i^{\downarrow\uparrow} = \sum_k p_{i-2k} r_k^\downarrow \quad (2.22)$$

С помощью формул 2.16 и 2.19 выражение 2.18 преобразовывается как

$$N(x) = \sum_i r_i B(2x - i) - \sum_i r_i^\downarrow B(x - i) \quad (2.23)$$

С использованием формулы 2.21 выражение 2.23 записывается как

$$N(x) = \sum_i r_i B(2x - i) - \sum_i r_i^{\downarrow\uparrow} B(2x - i) = \sum_i n'_i B(2x - i) \quad (2.24)$$

где $n'_i = r_i - r_i^{\downarrow\uparrow}$.

Для получения изображения $N = (\dots, n_i, \dots)$ значение функции $N(x)$ вычисляется при задаваемых значениях x .

3 Сравнение существующих методов создания текстур посредством генерации шумов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы цель была достигнута — классифицированы методы генерации текстур с использованием генерации шумов.

В ходе выполнения работы были решены поставленные задачи:

- 1) проанализирована предметная область генерации текстур с использованием шумов;
- 2) сформулированы критерии классификации методов генерации текстур с использованием шумов;
- 3) описаны существующие методы генерации текстур с использованием шумов;
- 4) выполнено сравнение выбранных методов в рамках сформулированных критериев классификации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Pai H.-Y.* Texture designs and workflows for physically based rendering using procedural texture generation // 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE). — 2019. — С. 195—198.
2. Weakly-Supervised Photo-realistic Texture Generation for 3D Face Reconstruction / X. Yin [и др.] // 2023 IEEE 17th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG). — 2023. — С. 1—8.
3. Digital preservation of Brazilian indigenous artworks: Generating high quality textures for 3D models [Электронный ресурс] / B. Trinchão Andrade [и др.] // Journal of Cultural Heritage. — 2012. — Т. 13, № 1. — С. 28—39. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.05.002>. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207411000513> (дата обращения: 24.11.2023).
4. *Quintana G., Ciurana J., Ribatallada J.* Surface Roughness Generation and Material Removal Rate in Ball End Milling Operations // Materials and Manufacturing Processes. — 2010. — Т. 25, № 6. — С. 386—398. — (дата обращения: 24.11.2023).
5. A Papier-Mâché Approach to Learning 3D Surface Generation / T. Groueix [и др.] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — 2018.
6. *Порев В.* Компьютерная графика. — СПб : БХВ-Петербург, 2002. — С. 432.
7. *Боресков А. В., Шижин Е. В.* Компьютерная графика. — 2017.
8. *Сморкалов А. Ю.* Математическая и программная модели генерации текстур на графических потоковых процессорах // Программные системы и вычислительные методы. — 2013. — № 1. — С. 116—128.
9. *Мухамеджанов Д. Д., Левина А. Б.* Генератор псевдослучайных чисел на основе клеточных автоматов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2018. — Т. 18, № 5. — С. 894—900.

10. *Петрова Д. О., Полина А. О.* Использование шума Перлина при создании спецэффектов в компьютерной графике в кинопроизводстве // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований. — 2022. — С. 5—8.
11. Texturing and Modeling: A Procedural Approach (third edition) / S. E. David [и др.] // — — Morgan Kaufmann Publishers, 2003. — Гл. 6.
12. *Perlin K.* An Image Synthesizer // SIGGRAPH 85. — 1985. — № 19. — С. 287—296.
13. *Perlin K.* Improving noise // SIGGRAPH 2002. — 2002. — С. 681—682.
14. Anisotropic noise samples / L. Feng [и др.] // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. — 2008. — Т. 14, № 2. — С. 342—354.
15. *Виноградов И.* Математическая энциклопедия. — Москва, 1965.
16. Собственные векторы и значения матриц [Электронный ресурс]. — URL: https://lms2.sseu.ru/courses/eresmat/course1/razd8z1/par8_18z1.htm (дата обращения: 6.12.2023).
17. *Мыцких-Коробанов А. Ю.* Алгоритм размытия по гауссу // Математика и ее приложения в современной науке и практике. — 2018. — С. 40—45.
18. A class of fast Gaussian binomial filters for speech and image processing / R. A. Haddad, A. N. Akansu [и др.] // IEEE Transactions on Signal Processing. — 1991. — Т. 39, № 3. — С. 723—727.
19. *Крыжевич Л., Ковалев В.* Задача очистки изображения от шума и вейвлет-подходы к ее решению // Актуальные исследования в области математики, информатики, физики и методики их изучения в современном образовательном пространстве. — 2016. — Т. 1, № 1. — С. 39—44.
20. *Смоленцев Н.* Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. — Москва : ДМК Пресс, 2014. — С. 628.
21. *Малла С.* Вэйвлеты в обработке сигналов. — Москва : Мир, 2005. — С. 671.

22. *Новиков Л.* Модифицированные вейвлеты в обработке данных аналитических приборов. I. основы теории. — 2006. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modifitsirovannye-veyvlety-v-obrabotke-dannyh-analiticheskikh-priborov-i-osnovy-teorii> (дата обращения: 25.11.2023).
23. *Meyer Y.* Wavelets: Algorithms and applications. — Philadelphia : S.I.A.M., 1993. — С. 129.
24. *Cook R., De Rose T.* Wavelet Noise [Электронный ресурс]. — URL: <https://graphics.pixar.com/library/WaveletNoise/paper.pdf> (дата обращения: 11.11.2023).