

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДИЗЕРИНГА В СОВРЕМЕННОМ ПИКсель-АРТЕ

В статье рассматривается эволюция и применение дизеринга в современном пиксель-арте. Проведен анализ основных алгоритмических методов (матричный дизеринг, диффузия ошибки, стохастический шум), выявлены их преимущества и технические ограничения. Сформулированы рекомендации по оптимизации палитры и минимизации визуальных артефактов в статике и анимации.

Введение

Алгоритмы дизеринга изначально применялись в компьютерной графике как вынужденное техническое решение: из-за аппаратных ограничений 8- и 16-битных систем разработчики использовали пространственное смешивание пикселей базовых цветов для оптической имитации недостающих оттенков и плавных полутонов [1].

В эпоху кинескопных мониторов дизеринг работал в синергии с аппаратным размытием лучевой трубки, создавая для глаза зрителя иллюзию настоящих, чистых градиентов. Однако на современных ЖК-дисплеях с высокой четкостью каждый пиксель отображается кристально ясно. Из-за этого паттерны дизеринга перестали оптически смешиваться и приобрели принципиально иное визуальное звучание [1].

Сегодня, несмотря на отсутствие лимитов цветопередачи, пиксель-арт активно используется в современной инди-разработке и цифровом искусстве. Дизеринг эволюционировал из утилитарного инструмента строгой оптимизации в самостоятельный прием художественной выразительности, породив целое стилистическое направление «дизерпанк» (ditherpunk), стремящееся эстетизировать артефакты ранней компьютерной графики [2].

Целью данной работы является анализ эффективности различных алгоритмических подходов к дизерингу для поиска оптимального баланса между эстетикой и технической чистотой графики, а также формирование практических рекомендаций по их использованию.

1. Классификация методов дизеринга

В современной практике создания пиксель-арта выделяют три основных метода дизеринга, опирающихся на различные математические модели:

Регулярный (матричный) дизеринг — использует упорядоченные паттерны (например, матрицы Байера), покрывающие значительные области изображения. Размерность применяемой матрицы (2x2, 4x4, 8x8) напрямую определяет количество воспроизводимых полутонов и масштаб паттерна [3]. Метод применяется для оптического создания нового оттенка. Эффективен при отрисовке фонов и статических поверхностей, так как строгая сетка помогает связать локальные цвета в единую систему без внесения хаотичного шума.

Диффузия ошибки (алгоритм Флойда-Стейнберга) — метод, при котором ошибка кван-

тования цвета пикселя динамически распределяется на соседние, еще не обработанные пиксели. Технически этот метод позволяет идеально сгладить светотеневые переходы, создавая исключительно мягкие градиенты, однако процесс вычислений строго последователен [4].

Стохастический (текстурный) дизеринг — опирается на псевдослучайные значения, особенно эффективен на основе синего шума. В отличие от обычного белого шума, генерирующего случайные скопления пикселей, спектр синего шума математически лишен низких частот [5]. Это позволяет распределять точки максимально равномерно, без образования нежелательных визуальных «пятен» и кластеров. Визуально воспринимается не только как глубина цвета, но и как физическая фактура (имитация пленочного зерна, копоти).

Примеры использования методов дизеринга представлены на рисунке 1.



Рис. 1 – Пример использования дизеринга

Данные алгоритмы активно комбинируются и адаптируются художниками вручную для достижения необходимой стилизации.

II. Анализ эффективности

Эффективность применения алгоритмов дизеринга в современном пиксель-арте напрямую зависит от двух ключевых факторов: контекста использования (статика или динамика) и базового разрешения холста. Анализ показывает четкое разделение на области, где дизеринг улучшает визуальное восприятие, и где наносит критический ущерб читаемости графики.

В статических сценах (фоны, интерфейсы, иллюстрации) алгоритмический дизеринг демонстрирует высокую эффективность. Метод Флойда-Стейнберга позволяет нивелировать эффект «бэндинга» на плавных светотеневых переходах (например, освещение

от точечных источников) [4], а стохастический шум успешно разбивает монотонность крупных заливок. Главным преимуществом здесь является оптимизация палитры: иллюзия объема достигается без утяжеления памяти дополнительными цветами, а единый алгоритмический паттерн визуально «собирает» сцену.

Однако при работе с динамическими объектами возникает ряд специфических технических проблем. Наиболее острой из них является эффект «кипения пикселей» (pixel boiling) или мерцания. При использовании диффузии ошибки или стохастического шума на анимированном объекте, малейшее изменение контура или сдвиг спрайта приводит к полному перераспределению математической ошибки (или случайных значений) на всем изображении. В результате паттерн дизеринга хаотично перестраивается в каждом новом кадре, создавая агрессивный визуальный шум, разрушающий целостность объекта.

Для решения проблемы мерцания в анимации наиболее эффективным оказывается матричный дизеринг (алгоритм Байера). Поскольку матрица паттерна жестко привязана к глобальным координатам экрана или локальным координатам объекта, структура дизеринга остается неподвижной при перемещении спрайта, обеспечивая визуальную стабильность [3].

Второй критической проблемой является масштаб. На спрайтах сверхмалого разрешения (например, 16x16 или 32x32 пикселя) автоматический математический дизеринг применять нецелесообразно. Он размывает жесткие контуры, а переизбыток субпиксельных деталей сливается в «грязь», мешая игроку считывать форму и назначение объекта. В таких случаях алгоритмические методы полностью уступают место строгому микроконтролю — ручному (пиксельному) паттернингу.

III. Выводы

Дизеринг в пиксель-арте эволюционировал из вынужденной технической меры в мощный инструмент художественной выразительности. Проведенный анализ показывает, что универсального алгоритма дизеринга не существует: метод диффузии ошибки Флойда-Стейнберга и синий шум идеально подходят

для статики и постобработки, в то время как для сохранения читаемости силуэтов в анимации критически важно использовать матричные (регулярные) алгоритмы [4, 5]. Эффективное использование дизеринга в современной индустрии требует от художника глубокого понимания математической природы этих алгоритмов для достижения хрупкого баланса между эстетикой «дизерпанка» и визуальной чистотой интерактивной среды [2].

Более того, наблюдается устойчивая тенденция к интеграции классических 2D-алгоритмов дизеринга в современные трехмерные игровые движки в качестве экранных эффектов [6]. Это открывает новые перспективы для исследований, где опыт, накопленный в традиционном пиксель-арте, применяется для стилизации сложной полигональной графики. Таким образом, дизеринг перестает быть локальным инструментом ретро-графики и становится важным междисциплинарным элементом на стыке программирования, математики и цифрового дизайна. Эффективное использование этого инструмента требует от разработчиков глубокого понимания его алгоритмической природы.

Список литературы

1. Новиков, А. Н., Фирсов, А. В., Каршакова, Л. Б. Развитие традиционных и появление новых художественных стилей под влиянием компьютерной графики / А. Н. Новиков [и др.] // Вестник славянских культур. – 2021. – Т. 60. – С. 282-297.
2. Шедько, И. И. Видеоигровые изобразительные стили / И. И. Шедько // Художественная культура. – 2021. – №4. – С. 382-395.
3. Bayer, B. E. An optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures / B. E. Bayer // IEEE International Conference on Communications. – 1973. – Vol. 1. – P. 11-15.
4. Floyd, R. W., Steinberg, L. An adaptive algorithm for spatial grey scale / R. W. Floyd, L. Steinberg // Proceedings of the Society for Information Display. – 1976. – Vol. 17, No. 2. – P. 75-77.
5. Ulichney, R. Digital Halftoning / R. Ulichney // Cambridge, MA: MIT Press. – 1987. – 362 p.
6. Эффект дизеринга в трёхмерной игре [Электронный ресурс] // Хабр. – 2017. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/343172/>. – Дата доступа: 30.03.2026.

Березовская Татьяна Александровна, студентка кафедры вычислительных методов и программирования БГУИР, tatsiankaberezouskaya@gmail.com.

Арсенович Павел Александрович, студент кафедры информационных технологий автоматизированных систем БГУИР, arsenpashamail@gmail.com.

Научный руководитель: Гуревич Ольга Викторовна, старший преподаватель кафедры вычислительных методов и программирования БГУИР, o.gurevich@bsuir.by.