

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЗД-ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Интерактивные системы (игры, тренажёры, визуализация) требуют масштабных и правдоподобных ландшафтов при жёстком бюджете кадра. Процедурные методы быстры, но дают шаблонный рельеф; обучаемые генераторы реалистичнее, однако снижают предсказуемость времени, расход VRAM и стабильность между кадрами (швы, «дрожание»). Предлагается гибридная схема $H = E(H_0 + G(H_0, M); P)$: H_0 формирует низкочастотную основу, G добавляет детали с учётом данных и ограничений M , E обеспечивает быструю регуляризацию и согласование. Описаны приёмы адаптации к реальному времени и метрики, учитывающие геометрию, время, VRAM и межкадровую устойчивость.

Введение

В реальном времени ландшафт генерируется по тайлам и обновляется при движении камеры, поэтому критичны стыковка чанков/LOD, предсказуемая задержка и межкадровая стабильность. Обучаемые генераторы повышают выразительность, но усиливают швы, скачки детализации и разброс времени выполнения.

Используется модель суммы каркаса и деталей с регуляризацией: $H = E(H_0 + G(H_0, M); P)$. Здесь H_0 задаёт крупные формы, G добавляет детали с учётом ограничений M , а быстрый постпроцессор E с параметрами $P(x, y)$ снижает артефакты и сохраняет связность без тяжёлой симуляции. Далее приводятся критерии оценки и приёмы оптимизации для жёсткого бюджета кадра.

I. Критерии качества в реальном времени

Под реальным временем будем понимать соблюдение бюджета T_{budget} на обновление ландшафта в зоне видимости. Практически значимые дефекты проявляются как швы чанков, скачки LOD, провалы производительности и нестабильность микродеталей. Поэтому предлагается оценивать конвейер по совокупности метрик: (i) время обновления тайлов (медиана, P_{95}), (ii) пик VRAM и время прямого прохода G , (iii) ошибка стыков (по высоте/нормали), (iv) межкадровая дисперсия остатка $H - H_0$ на фиксированном тайле (мера «дрожания»).

II. Оптимизация конвейера $H_0 \rightarrow G \rightarrow E$

Каркас H_0 задаёт крупные формы, снимая часть нагрузки с G ; критичны нормировка высот, кэширование и пирамида разрешений тайлов. Для G ключевые условия пригодности к рантайму: тайловая

согласованность (мировые координаты, граничные условия), компактность/дистилляция и пониженная разрядность, асинхронное обновление с двойной буферизацией, детерминированный сид по индексу тайла и LOD.

Регуляризатор E реализуется как короткая локальная коррекция после G (несколько итераций с досрочной остановкой и обработкой каймы на границах тайлов), что уменьшает швы и перепады нормалей при низкой стоимости.

III. Выводы

Для систем реального времени важно одновременно обеспечить выразительность деталей и предсказуемость бюджета кадра при тайлинге/LOD. Гибридная схема $H = E(H_0 + G(H_0, M); P)$ совмещает быстрый каркас, генерацию деталей по данным и недорогую регуляризацию, уменьшающую швы и нестабильность. Предложенные метрики (время, VRAM, стыки, межкадровая устойчивость) ориентированы на сравнение вариантов в условиях рантайма.

Список литературы

1. Смелик, Р. М. Обзор процедурного моделирования для виртуальных сред / Р. М. Смелик, Т. Тутенел, Р. Бидарра // Computer Graphics Forum. – 2014. – Т. 33, № 6. – С. 31–50. – DOI:10.1111/cgf.12373.
2. Лосассо, Ф. Геоморфные клипмапы : [сайт] / Ф. Лосассо, Х. Хоппе. – URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/geometry-clipmaps/> (дата обращения: 12.03.2026).
3. Перлин, К. Улучшение шума / К. Перлин // ACM Transactions on Graphics. – 2002. – Т. 21, № 3. – С. 681–682.
4. Панагиоту, Э. Процедурная генерация трёхмерного рельефа с помощью GAN : [сайт] / Э. Панагиоту. – arXiv. – 2020. – URL: <https://arxiv.org/abs/2010.06411> (дата обращения: 21.03.2026).

Гуменный Никита Андреевич, магистрант кафедры интеллектуальных информационных технологий БГУИР, email: gumenyuj@bsuir.by.

Научный руководитель: Захаров Владимир Владимирович, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий БГУИР, кандидат технических наук, email: zakharov@bsuir.by.