

УДК 004.92

Обзор факторов снижения производительности рендеринга при переходе от Unreal Engine 4 к Unreal Engine 5

Витюков Федор Андреевич

fedor.vityukov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В данной работе рассмотрены причины снижения производительности рендеринга Unreal Engine 5 по сравнению с Unreal Engine 4. Рассматриваются технологии Nanite, Lumen, Virtual Shadow Maps и конвейеры рендеринга. Технологии Unreal Engine 5 помогают приблизиться к фотореалистичному изображению, но требуют мощного оборудования, тогда как Unreal Engine 4 эффективнее для кроссплатформенных проектов. Конечный выбор движка зависит от текущего состояния проекта, целевых платформ и производительности новых версий Unreal Engine 5.

Ключевые слова: Unreal Engine 5, Unreal Engine 4, Nanite, Lumen, HLOD, Virtual Shadow Maps, производительность рендеринга

Введение. Unreal Engine 5 (UE5) был официально выпущен в апреле 2022 г. Ранние версии движка пятого поколения имели ряд ошибок и проблем с производительностью в отличие от стабильной версии Unreal Engine 4.27.2 (UE4). Однако в UE5 компания Epic Games представила революционные технологии, такие как Nanite для рендеринга высокодетализированной геометрии и Lumen для создания реалистичного динамического освещения. По мере выпуска более стабильных и производительных версий UE5 вопрос миграции на новое поколение движка становится все более актуальным. Данное посвящено анализу причин снижения производительности рендеринга в актуальных версиях UE5 по сравнению с UE4.

Новые системы Unreal Engine 5 и особенности их работы. Unreal Engine 4 и Unreal Engine 5 существенно отличаются в подходах к рендерингу. Основные различия связаны с новыми системами в UE5 и подходами к обработке графики. Ниже рассмотрены ключевые системы пятого поколения движка, которые оказывают определяющее воздействие на снижение производительности рендеринга.

1) Система Nanite [1] (виртуализированная геометрия).

UE5: вводит Nanite — систему виртуализированной геометрии, которая позволяет рендерить сцены с миллиардами полигонов в реальном времени, без необходимости ручного создания уровней детализации (LOD). На этапе импорта высокополигональная модель (например, из ZBrush, фотограмметрии или CAD) автоматически разбивается на иерархию микрополигональных кластеров размером 3–5 экранных пикселей. Данные сжимаются с помощью квантования вершин, предиктивного кодирования и энтропийного сжатия, что уменьшает объем на 70–90 % по сравнению с традиционными мешами

с несколькими LOD. Иерархия аналогична *tip*-цепочкам текстур и хранится в виде BVH (bounding volume hierarchy).

В рантайме Nanite использует асинхронный стриминг из динамического пула VRAM (обычно 4–16 Гб). Система начинает с грубых прокси-нод (аналог HLOD), затем рекурсивно спускается к нужным кластерам, выполняя software-окклюзионный и frustum-отсечение. Предзагрузка (prefetching) основана на траектории камеры, что исключает эффекты резкого переключения детализации, как это бывает в классической LOD-системе рендеринга. Растеризация осуществляется через compute-шейдеры на GPU (software rasterizer), а не через фиксированный аппаратный конвейер. Кластеры группируются по материалам в бины: недеформированные — в один проход с автобатчингом, деформированные — в отдельные, что минимизирует количество draw calls.

Ключевые преимущества включают полную автоматизацию LOD — экономию 80–90 % времени художников, поддержку «сырого» импорта high-poly ассетов без переработки, устранение дискретных переходов и резкого переключения детализации, снижение draw calls на 50–90 % за счет инстансинга и батчинга, эффективность в сценах с сотнями миллионов полигонов на кадр (например, демо City Sample), совместимость с World Partition, Virtual Textures и TSR (Temporal Super Resolution), а также в UE5.4+ — Nanite Assemblies (объединение тысяч мешей в один с отличной производительностью) и в UE5.7 — вокселизацию растительности.

Причины снижения производительности заключаются в существенно увеличившейся нагрузке на CPU: рекурсивный обход BVH для отсечения и стриминга занимает 5–15 % CPU. А также повышенных GPU-затратах: программная растеризация медленнее аппаратной на простых мешах (на 10–30 %); деформация вершин ломает батчинг, удваивая нагрузку. Кроме того, увеличены требования к памяти и I/O: нужен мощный GPU с 4–16 Гб VRAM и быстрый SSD (100–500 МБ/с), иначе будут проявляться эффекты «продергивания» (stuttering).

Nanite не поддерживает прозрачные/рефракционные материалы, воду, стекло; может быть неэффективен на low-poly моделях и официально не поддерживаться на мобильных платформах. Даже в оптимальных условиях Nanite на 10–30 % медленнее тщательно оптимизированных LOD в UE4/UE5.

Nanite идеально подходит для фотореалистичных open-world проектов (например, как Black Myth: Wukong), где детализация критична. Однако в кроссплатформенных, стилизованных или low-poly проектах традиционные LOD остаются более эффективными. Для минимизации минусов рекомендуется профилирование через Nanite Metrics в UE Insights, отключение Nanite на простых мешах и использование гибридного подхода (Nanite + skinned meshes).

UE4: использует традиционные методы управления геометрией, требующие ручной настройки LOD и оптимизации моделей, что может быть трудоемким процессом, особенно для сцен с большим количеством объектов. Использование HLOD [2] (Hierarchical Level of Detail) на больших сценах способно дать серьезный прирост производительности рендеринга.

2) Система Lumen [3] (динамическое глобальное освещение).

UE5: Lumen — это полностью динамическая система глобального освещения и отражений в Unreal Engine 5, предназначенная для создания фотореалистичного света в реальном времени без предварительной подготовки lightmap'ов. Она заменяет статические решения UE4, такие как Lightmass, комбинируя несколько техник в едином конвейере: software ray tracing на GPU, signed distance fields (SDF), screen-space tracing, temporal accumulation и denoising. Lumen работает только на относительно новых платформах (PC, консоли текущего поколения) и требует DirectX 12 Ultimate или Vulkan с поддержкой hardware ray tracing для оптимальной производительности, хотя может функционировать в программном fallback-режиме на более старом железе.

В основе Lumen лежит многоуровневая иерархия расстояний (multiresolution signed distance field cascade), генерируемая из геометрии сцены, включая Nanite-меш. На этапе инициализации сцены строится глобальный SDF объемом до 2–4 км, разбитый на воксельные каскады: грубые (низкое разрешение) для дальних расчетов взаимодействий света и детализированные (высокое разрешение) вблизи камеры. Эти структуры обновляются динамически при изменении геометрии или освещения. Для расчета Lumen использует software ray tracing через compute-шейдеры: трассировка лучей в SDF для глобального освещения, screen-space tracing для локальных отражений и hardware RT (при наличии) для ускорения. Результаты накапливаются во времени (temporal reprojection) с использованием TSR (Temporal Super Resolution), после чего проходят удаление шумов через сверточные фильтры или ML-based denoiser (в UE5.3+).

Ключевые преимущества включают полную динамичность освещения — мгновенную реакцию на перемещение источников света, объектов и камеры без перезапекания, высокое качество глобального освещения с многократными отскоками (до 4–5 в реальном времени), поддержку отражений в произвольных поверхностях (включая rough metals, water, glass), интеграцию с Nanite и World Partition для open-world, значительное сокращение времени итераций при производстве (экономия десятков часов на запекании lightmaps), а также в UE5.2+ — улучшенный denoising и поддержка software RT fallback на консолях и GPU среднего класса.

Причины снижения производительности заключаются в высоких вычислительных затратах: software RT в SDF требуют много времени на кадр на GPU среднего уровня (например, RTX 3060), аналогично — temporal accumulation и denoising. Требования к VRAM-памяти также достаточно высоки из-за SDF-каскадов, буферов истории и G-buffer. Также могут быть проблемы падения качества рендера: артефакты в углах, темных зонах и при тонкой геометрии (leaks, noise), требующие ручной настройки. На слабом аппаратном обеспечении даже в оптимальных условиях Lumen на 30–70 % медленнее запеченного GI в UE4, особенно в интерьерах с большим количеством мелких объектов.

Lumen подходит для фотореалистичных проектов с динамическим освещением (Fortnite, The Matrix Awakens, Hellblade II), где визуальная достоверность важнее FPS. Однако в кроссплатформенных или стилизованных проектах (мобильные, Switch, low-end PC) запеченное освещение UE4 или гибридные подходы (Lumen + lightmaps) остаются более эффективными. Для оптимизации рекомендуется профилирование через Lumen Scene View, снижение разрешения GI (Low/Medium), комбинирование с традиционными источниками света.

UE4: основывается на статических или частично динамических решениях, таких как запеченные световые карты или Light Propagation Volumes (LPV). Эти методы менее гибки и требуют предварительной подготовки для большинства сцен, но, в большинстве случаев, более производительны при правильном использовании.

3) Конвейер рендеринга.

В обоих движках по умолчанию включен отложенный (deferred) рендеринг. Переход на форвард (forward) рендеринг дает серьезное увеличение производительности в сценах с небольшим количеством динамических источников света. Mobile Forward Shading также актуален для мобильных платформ для улучшения производительности и решения проблем с отображением прозрачных объектов.

4) Тени и виртуальные карты теней (VSM) [4].

UE5: вводит Virtual Shadow Maps (VSM). Это метод рендеринга теней в Unreal Engine 5, предназначенный для обеспечения высокой детализации и динамичности теней в реальном времени без использования традиционных cascaded shadow maps (CSM) [5] или distance field shadows из UE4. VSM представляет собой виртуализованную, страничную (page-based) систему теней, где карта теней строится как огромный 2D-атлас размером до 134K×134K пикселей (в UE5.0–5.3) или 256K×256K (в UE5.4+), но в памяти хранится только активная часть — страницы размером 128×128 пикселей, динамически загружаемые по требованию. Система полностью интегрирована с Nanite и Lumen, поддерживает динамические источники света (включая вращение солнца), движущиеся объекты и локальные источники, обеспечивая единообразную детализацию теней независимо от расстояния до камеры.

В основе VSM лежит виртуализация на основе страниц и иерархии запросов: для каждого кадра определяется видимая область сцены (view frustum), и на основе расстояния до камеры и размера объектов вычисляется необходимое разрешение теней в экранном пространстве. Активные страницы (pages) кэшируются в пуле VRAM (обычно 1–4 Гб), неактивные — выгружаются. Растеризация теней выполняется через compute-шейдеры с глубокой фильтрацией (depth-aware filtering). VSM использует hardware ray tracing (при наличии) для ускорения обновления страниц, но может работать в software-режиме на GPU без RT-ядер.

Ключевые преимущества включают отсутствие фиксированных каскадов и резких переходов между ними, как в CSM UE4, постоянную детализацию

теней в экранном пространстве (например, четкие тени от листвы на расстоянии сотен метров), полную поддержку динамического освещения и движущихся объектов без перезапекаания, интеграцию с Nanite (тени от микрополигонов без дополнительных прокси), значительное снижение алиазинга на краях и вблизи, экономию времени разработчиков за счет автоматизации (нет ручной настройки CSM радиусов), а также в UE5.3+ — улучшенную фильтрацию (VSM Filtering Quality) и поддержку локальных источников света с VSM.

Причины снижения производительности заключаются в высоком потреблении VRAM, вычислительных затратах на стриминг и обновление страниц. Увеличена нагрузка на CPU: определение активных страниц и управление кэшем (до 5–10 % CPU в плотных сценах). Также возможно появление визуальных артефактов: система не поддерживает мягкие тени от area lights без дополнительных техник, плохо работает с очень мелкой геометрией (травой, волосами) без Nanite, требует мощного GPU (рекомендуется RTX 3060+). Даже в оптимальных условиях VSM на 50–100 % медленнее CSM в UE4, особенно в интерьерах с множеством локальных источников света.

VSM подходят для фотореалистичных open-world и кинематографических проектов (The Matrix Awakens, Black Myth: Wukong), где важна визуальная целостность теней. Однако в кроссплатформенных и мобильных проектах (особенно с большим количеством динамических источников) традиционные CSM остаются более эффективными. Для оптимизации рекомендуется профилирование через VSM Visualizer.

UE4: использует традиционные карты теней (shadow maps), которые менее точны и могут вызывать небольшие артефакты, но рассчитываются значительно быстрее.

5) Физический движок.

UE5: Chaos — это собственная физическая система Epic Games, используемая по умолчанию в Unreal Engine 5. Она обеспечивает поддержку разрушений через Geometry Collections, симуляцию ткани, ragdoll'ов, а также высокую стабильность и масштабируемость, благодаря асинхронным вычислениям и многопоточности. В ранних версиях UE5 Chaos была на 10–50 % медленнее PhysX, в сложных сценах возникали ошибки расчета физики. Но, начиная с UE5.4+, производительность данного физического движка значительно улучшена.

UE4: PhysX — это проверенный временем физический движок от Nvidia, использовавшийся по умолчанию в UE4. Он быстрее и стабильнее в базовых сценариях с жесткими телами, поддерживает GPU-ускорение, но всё же относится к технологиям прошлого поколения: имеет меньше современных функций и полностью удален из стандартных сборок UE5.

Заключение. Технологии Nanite, Lumen и Virtual Shadow Maps формируют фундамент конвейера рендера Unreal Engine 5, обеспечивая беспрецедентный уровень фотореализма в реальном времени за счет виртуализации геометрии, глобального освещения и теней. Nanite устраняет необходимость

ручного управления LOD, позволяя работать с триллионами микрополигонов без резкого переключения уровней детализации и с минимальным количеством draw calls; Lumen предоставляет полностью динамическое глобальное освещение и отражения с многократными отскоками без предварительного запекания; Virtual Shadow Maps гарантируют целостную детализацию теней на всех расстояниях без каскадных переходов и артефактов CSM. Однако эти системы вносят значительную дополнительную нагрузку по вычислениям и памяти: Nanite требует мощного GPU и SSD для стриминга кластеров, Lumen нагружает GPU методами software ray tracing и denoising, а VSM занимает дополнительный объем VRAM на динамический атлас страниц. В совокупности они могут снижать производительность на 30–100 % по сравнению с оптимизированными решениями UE4, особенно на аппаратном обеспечении среднего уровня и мобильных платформах. Их эффективность максимальна в open-world проектах с высоким качеством графики (Black Myth: Wukong, The Matrix Awakens), где визуальная достоверность оправдывает затраты.

При миграции с UE4 на UE5 выбор активации этих технологий должен основываться на целевых платформах, типе проекта и бюджете производительности. Гибридные подходы — отключение Nanite на low-poly 3D-моделях, использование запеченного освещения с Lumen в интерьерах, замена VSM на CSM позволяют сохранить преимущества UE5 при сохранении приемлемого количества кадров в секунду. В конечном итоге, Unreal Engine 5 не заменяет UE4 универсально, а предлагает инструмент для нового класса проектов с графикой следующего поколения, но требует тщательного профилирования и адаптации под конкретные задачи.

Литература

- [1] *Виртуализированная геометрия системы Nanite*. URL: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine?application_version=5.6 (accessed 05.11.2025).
- [2] *Hierarchical Level of Detail*. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/hierarchical-level-of-detail-in-unreal-engine> (accessed 05.11.2025).
- [3] *Lumen Global Illumination and Reflections*. URL: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/lumen-global-illumination-and-reflections-in-unreal-engine?application_version=5.6 (accessed 05.11.2025).
- [4] *Virtual Shadow Maps Unreal Engine 5*. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/virtual-shadow-maps-in-unreal-engine> (accessed 05.11.2025).
- [5] *Use Cascaded Shadows*. URL: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/use-cascaded-shadows?application_version=4.27 (accessed 05.11.2025).

Overview of rendering performance degradation factors following migration from unreal engine 4 to unreal engine 5

Vityukov Fedor Andreevich

fedor.vityukov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This work examines the reasons for the rendering performance degradation in Unreal Engine 5 compared to Unreal Engine 4. It covers the technologies Nanite, Lumen, Virtual Shadow Maps, and rendering pipelines. Unreal Engine 5's techniques enable near-photorealistic visuals but demand powerful hardware, whereas Unreal Engine 4 is more efficient for cross-platform projects. The final choice of engine depends on the project's current state, target platforms, and the performance of new Unreal Engine 5 versions.

Keywords: *Unreal Engine 5, Unreal Engine 4, Nanite, Lumen, HLOD, Virtual Shadow Maps, rendering performance*