

УДК 681.513

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В VR-
ЛАБОРАТОРИЯХ: ВЛИЯНИЕ НА ИММЕРСИВНОСТЬ И
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС
OPTIMIZATION OF THE VISUAL COMPONENT IN VR
LABORATORIES: IMPACT ON IMMERSION AND THE
EDUCATIONAL PROCESS**

Е.А. Виктуров. Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, г. Зеленоград.

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые аспекты оптимизации визуальной составляющей виртуальных лабораторий (VR-лабораторий) и их влияние на образовательный процесс. Анализируются методы повышения иммерсивности, включая использование реалистичных текстур, освещения, анимации и физически корректного рендеринга. Особое внимание уделяется оптимизации производительности VR-приложений. Рассматриваются проблемы, связанные с моделированием физических взаимодействий, пользовательским опытом и укачиванием в виртуальной реальности. Представленный анализ подтверждает важность качественной визуальной составляющей VR-приложений для создания эффективного учебного пространства.

Ключевые слова: VR-лаборатории, иммерсивность, оптимизация, виртуальная реальность, визуализация, образование.

Annotation. The article explores key aspects of optimizing the visual component of virtual laboratories (VR laboratories) and their impact on the educational process. It analyzes methods for enhancing immersion, including the use of realistic textures, lighting, animation, and physically accurate rendering. Special attention is given to optimizing the performance of VR applications. The article also addresses challenges related to simulating physical interactions, user experience, and motion sickness in virtual reality. The presented analysis confirms the importance of high-quality visual components in VR applications for creating an effective learning environment.

Keywords: VR laboratories, immersion, optimization, virtual reality, visualization, education.

Введение

Современные разработки в области виртуальной реальности (VR) демонстрируют значительный прогресс в образовательной сфере, предоставляя новые инструменты для формирования практических навыков и углублённого освоения дисциплин. VR-лаборатория представляет собой среду, способную воссоздавать сложные

экспериментальные установки и быстро адаптироваться под учебные потребности студентов.

Для создания достоверной среды важную роль играет графическое представление, которое будет рассмотрено на основе реализуемого в данный момент проекта, направленного на создание виртуальной лаборатории для изучения автоматического управления (Рис. 1). В данной VR-лаборатории студенты смогут работать с моделями дифференцирующих, апериодических и колебательных звеньев, которые являются фундаментальными элементами теории автоматического управления и повсеместно применяются в инженерных системах. Их изучение позволит студентам глубже понять принципы поведения различных объектов, а также развить навыки проектирования и анализа управляющих систем. Проект включает математические модели передачи сигналов и инструменты для визуального анализа результатов. Одной из ключевых особенностей является возможность интерактивного изменения параметров системы в реальном времени.



Рис. 1. Виртуальная лаборатория в VR-симуляции.

Визуальная составляющая и иммерсивность

Качественная визуальная составляющая VR-лабораторий играет критически важную роль в обеспечении эффекта присутствия, повышения вовлеченности в процесс обучения и повышения качества приобретаемого опыта. Детализированное окружение, имитирующее реальные лаборатории, реалистичное освещение и проработанные текстуры способствуют восприятию виртуальной среды как физически достоверной. Применение физически корректного рендеринга (PBR) позволяет повысить фотореалистичность материалов и создать убедительную имитацию реальных объектов [2].

Анимация механизмов, динамическое изменение параметров приборов и визуализация процессов в реальном времени значительно

усиливают эффект погружения [7]. Например, плавные движения лабораторных инструментов, отображение колебательных процессов на виртуальном осциллографе и адаптивные интерфейсы обеспечивают интуитивно понятное взаимодействие с виртуальной средой.

Проблемы и вызовы при разработке VR-лабораторий

Одним из наиболее важных аспектов разработки VR-лабораторий является оптимизация производительности, поскольку высокая вычислительная нагрузка может привести к снижению частоты кадров, ухудшению восприятия и появлению дискомфорта у пользователей. Для достижения высокой производительности и стабильности работы используются следующие методы:

— **Оптимизация рендеринга.** Применение Light Baking позволяет запекать освещение в текстуры, снижая нагрузку на графический процессор. Использование Light Probes и Reflection Probes помогает динамическим объектам реалистично реагировать на освещение без значительных вычислительных затрат [5].

— **Снижение полигональной нагрузки.** Для объектов, находящихся в поле зрения, применяются модели с высоким уровнем детализации, тогда как для удалённых объектов используются модели с пониженным числом полигонов (LOD - Levels of Detail) [1].

— **Оптимизация текстур.** Применение текстурного атласа и компрессии текстур (например, формат ASTC) снижает нагрузку на видеопамять и улучшает производительность [3].

— **Ограничение количества динамических объектов.** Уменьшение количества одновременно рендерящихся объектов и использование Object Pooling (кэширования объектов) позволяет избежать лишних вычислений [4].

— **Оптимизация физики.** Уменьшение количества сложных физических расчетов, использование упрощенных моделей столкновений и ограничение частоты обновления физических взаимодействий позволяют снизить нагрузку на процессор.

— **Асинхронная загрузка данных.** Использование асинхронного метода загрузки сцен и ресурсов позволяет уменьшить задержки и повысить плавность игрового процесса.

— **Фильтрация рендеринга.** Применение техники Frustum Culling позволяет рендерить только те объекты, которые находятся в поле зрения пользователя, а Occlusion Culling скрывает невидимые части объектов, тем самым снижая нагрузку на систему [5].

— **Оптимизация шейдеров.** Использование упрощённых версий шейдеров и минимизация количества вычислений в пиксельных шейдерах снижает нагрузку на графический процессор.

Эти методы позволяют обеспечить стабильную работу VR-лаборатории, поддерживая высокую производительность и комфорт для пользователей.

Дополнительной сложностью является моделирование физических взаимодействий, включая точную симуляцию динамики твердых тел, корректное поведение жидкостей и газов, а также обработку тактильного взаимодействия между объектами и пользователем. Эти аспекты требуют высокой вычислительной мощности и применения сложных алгоритмов физического рендеринга. Например, пользовательские манипуляции с виртуальными объектами должны быть максимально естественными, однако проблемы с коллизиями и точностью симуляции движений могут негативно повлиять на восприятие системы. В некоторых случаях требуется специальная настройка взаимодействий, например, временное отключение коллизии рук при хвате мелких объектов.

Критической задачей является обеспечение комфорта в восприятии у пользователя. Проблемы укачивания, возникающие вследствие рассинхронизации между визуальной и вестибулярной системами, требуют применения специальных подходов. Использование эффекта виньетирования при резких движениях, реализация фиксации взгляда на ключевых точках сцены и минимизация неестественных ускорений помогают снизить вероятность появления дискомфорта у пользователей.

Улучшение пользовательского опыта и вовлеченности

Для усиления иммерсивности VR-лабораторий необходимо задействовать дополнительные сенсорные каналы. Важную роль играет объемный звук, создающий пространственную картину окружающего пространства. Интеграция тактильной обратной связи (Haptic Feedback) позволяет моделировать сопротивление при манипуляции с виртуальными объектами, что значительно увеличивает реализм взаимодействия [8].

Создание динамически изменяющегося окружения способствует вовлечению пользователя в образовательный процесс. Например, изменения освещения в зависимости от времени суток в симуляции или анимированные элементы, реагирующие на действия студента, создают ощущение живого мира. Также интерактивные элементы, такие как неожиданное появление новых заданий или реакция приборов на поведение пользователя, повышают уровень вовлеченности и стимулируют интерес к обучению. Реализация адаптивных сценариев, реагирующих на действия студента, может значительно повысить уровень мотивации и эффективность обучения [6]. Например, автоматическая подстройка сложности заданий в зависимости от успешности выполнения предыдущих экспериментов способствует более индивидуализированному подходу к обучению.

Также важно учитывать звуковое окружение, поскольку для человека естественно воспринимать фоновый шум. Его отсутствие может создавать

ощущение нереальности и дискомфорта. Для обеспечения комфортного пребывания в симуляции необходимо добавить звуковые источники, такие как шум ветра, отдалённые голоса, гул оборудования и другие акустические эффекты. Эти звуки формируют правдоподобную аудиосреду и помогают пользователю лучше ориентироваться в виртуальном пространстве.

Дизайн окружения и эмоциональное вовлечение

Помимо образовательных аспектов, значительное внимание уделяется эмоциональному восприятию виртуальной среды. Включение эстетически привлекательных элементов, нестандартных решений в дизайне окружения способствует повышению мотивации к обучению. Например, в разрабатываемом проекте лабораторный комплекс размещен на орбитальной станции, вращающейся вокруг Земли (Рис. 2, 3). Такой подход не только повышает уровень вовлеченности, но и способствует формированию положительных эмоциональных ассоциаций с образовательным процессом, что в конечном итоге мотивирует студента возвращаться к симуляции и повторять эксперименты [7].

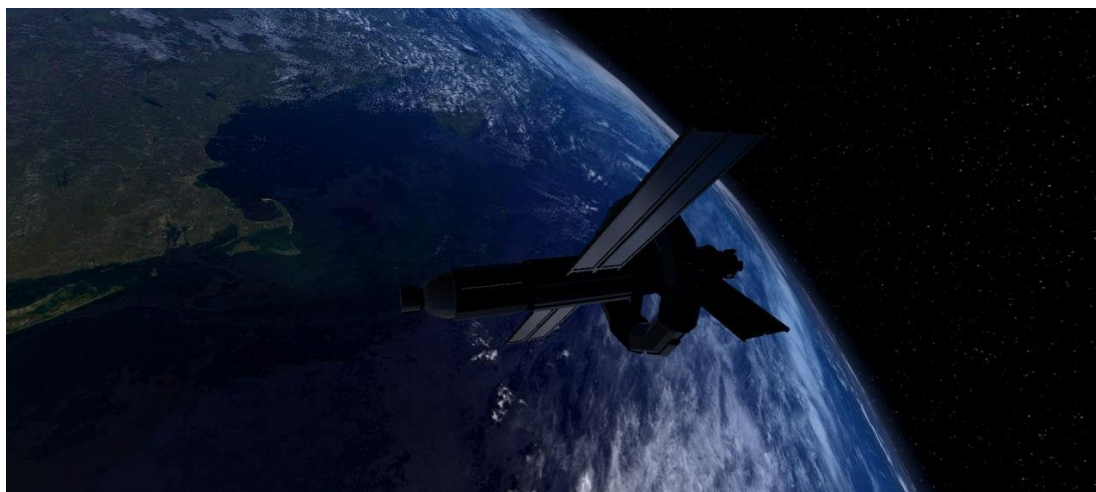


Рис. 2. Симуляция космической станции, вмещающая лабораторию, с видом на Землю.



Рис. 3. Вид из лаборатории.

Заключение

Качественная визуальная составляющая, продуманное взаимодействие и иммерсивные элементы способствуют созданию высокоэффективной учебной среды. Несмотря на существующие технические вызовы, грамотный подход к разработке позволяет минимизировать их влияние, создавая удобные, доступные и познавательные виртуальные лаборатории будущего. Например, успешные проекты, такие как виртуальные лаборатории MIT для инженерных дисциплин или симуляционные среды Stanford Virtual Human Interaction Lab, демонстрируют эффективность VR в образовательном процессе, способствуя более глубокому пониманию сложных научных концепций.

Список литературы

1. Лебедев С.Д. Оптимизация моделей в движке Unity / С.Д. Лебедев // XXVI Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. 2023. Том 4. С. 224-228.
2. Григорьев К.А. PBR-материалы / К.А. Григорьев // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых). 2023. №1. С. 2218-2224.
3. Хархасов В.В. Инструменты оптимизации Unity / В.В. Хархасов // XXVI сборник статей Международной научно-практической конференции. 2021. Том 1. С. 61-64.
4. Шарыгин А.Ю. Основные процессы оптимизации мобильной игры на Unity / А.Ю. Шарыгин, С.П. Кайгородов // Аллея науки. 2018. Том 5. №5. С. 114-118.
5. Булгаков Д.А. Способы оптимизации производительности в сценах Unity / Д.А. Булгаков, Е.Е. Майн // Сборник статей V Международной научно-практической конференции. 2023. №1. С. 39-48.
6. Sanchez-Vives M.V., Slater M. From presence to consciousness through virtual reality / M.V. Sanchez-Vives, M. Slater // Nature Reviews Neuroscience. 2005. Vol. 6. No. 4. P. 332-339.
7. Fajardo Tovar D., Jonker V., Hürst W. Virtual Reality and Augmented Reality in Education: A Review / D. Fajardo Tovar, V. Jonker, W. Hürst // Educate-it. 2020.
8. Kang H., Kim H. The Influence of Haptic Feedback on Virtual Reality Interactions / H. Kang, H. Kim // IEEE Transactions on Haptics. 2007. Vol. 1. No. 1. P. 31-39.