

УДК 004.92

Особенности создания 3D-моделей для приложений виртуальной реальности на примере медицинского ускорителя частиц

Дадтеев Казбек Маирбекович

KMDadteev@mephi.ru

Немешаев Сергей Александрович

SANemeshaev@mephi.ru

Пак Николай Юрьевич^(*)

NYpak@mephi.ru

НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются особенности подготовки и разработки 3D-моделей для приложений виртуальной и дополненной реальности. Описывается последовательный пайплайн создания трехмерного контента, включающий анализ сценариев использования, сканирование помещения и оборудования, определение VR-механик, выделение интерактивных объектов, моделирование и проектирование сцены. Особое внимание уделяется требованиям к точности геометрии, сохранению реального масштаба объектов и оптимизации моделей для работы в реальном времени. В качестве практического примера приводится опыт разработки VR-тренажера для обучения работе с медицинским ускорителем Varian, в рамках которого рассматриваются этапы анализа технической документации, сканирования помещения и оборудования, подготовки интерактивных элементов и оптимизации моделей с использованием карт нормалей. Показано, что использование структурированного пайплайна разработки позволяет обеспечить баланс между реалистичностью виртуальной среды и требованиями производительности VR-систем.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR-тренажер, 3D-моделирование, интерактивные объекты, сканирование объектов, оптимизация 3D-моделей, карты нормалей

Features of 3D modeling for virtual reality applications: the case of a medical particle accelerator

Dadteev Kazbek Mairbekovich

KMDadteev@mephi.ru

Nemeshaev Sergey Aleksandrovich

SANemeshaev@mephi.ru

Pak Nikolay Yurievich^(*)

NYpak@mephi.ru

MEPhI, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the specifics of preparing and developing 3D models for virtual and augmented reality applications. A structured pipeline for creating 3D content is described, including analysis of usage scenarios, scanning of the environment and equipment, definition of VR interaction mechanics, identification of interactive objects, modeling, and scene design. Particular attention is paid to the requirements for geometric accuracy, preservation of real-world scale, and optimization of models for real-time performance. As a practical example, the development of a VR training simulator for operating a Varian

medical linear accelerator is presented. The example illustrates the stages of analyzing technical documentation, scanning the room and equipment, preparing interactive elements, and optimizing models using normal maps. It is shown that the use of a structured development pipeline makes it possible to achieve a balance between the realism of the virtual environment and the performance requirements of VR systems.

Keywords: virtual reality, VR training simulator, 3D modeling, interactive objects, object scanning, 3D model optimization, normal maps

Введение. В последние годы технологии виртуальной реальности (VR) активно применяются в различных сферах деятельности, включая образование, промышленность и медицину. Одним из наиболее перспективных направлений их использования является создание обучающих и тренировочных систем, позволяющих моделировать реальные рабочие процессы в безопасной виртуальной среде. Для достижения необходимого уровня достоверности требуется создание трехмерных моделей, которые точно отражают геометрию и расположение объектов в реальном пространстве. При этом разработка моделей для VR-приложений отличается от традиционного 3D-моделирования, поскольку требует соблюдения строгих ограничений, связанных с производительностью систем визуализации в режиме реального времени. Особое внимание уделяется вопросам оптимизации полигональности моделей, сохранения реального масштаба объектов и корректной организации структуры сцены для обеспечения стабильной работы приложения. В данной работе рассматриваются особенности создания трехмерных моделей для приложений виртуальной реальности на примере медицинского ускорителя частиц. Описываются основные этапы подготовки 3D модели, включая анализ исходной документации, сканирование помещения и оборудования, моделирование объектов и их интеграцию в виртуальную сцену. Рассматриваемый подход позволяет создать реалистичную и функциональную виртуальную среду, обеспечивающую эффективное взаимодействие пользователя с объектами и применение разработанного решения в обучающих системах.

Материалы и методы. Разработка приложений виртуальной и дополненной реальности предъявляет особые требования к созданию трехмерных моделей и сцен [1]. В отличие от традиционной визуализации или игровой графики, VR/AR-системы требуют высокой производительности, точного соответствия реальному миру и корректной работы интерактивных механик [2]. Поэтому процесс подготовки 3D-контента строится как последовательный пайплайн, включающий анализ сценариев, сканирование среды, выделение интерактивных элементов, моделирование и проектирование сцены. Первым этапом разработки является согласование с заказчиком и получение исходных сценариев использования системы. Следующим этапом является общее сканирование помещения, в котором располагается оборудование. Основная задача этого этапа — получить точные пространственные размеры среды и расположение основных объектов. Дальнейшим этапом является более детальное сканирование отдельных элементов оборудования для точного

воспроизведения сложных деталей, органов управления и механических компонентов. После анализа сценариев и сбора геометрических данных проводится этап определения VR-механик. Этап моделирования включает создание оптимизированных 3D-моделей на основе сканов и референсов. Заключительным этапом является проектирование сцены и интеграция моделей в виртуальное пространство.

Результаты. Рассмотрим, какие результаты достигаются на каждом этапе работы. На этапе согласования с заказчиком и получения исходных сценариев использования системы, в случае обучающих или производственных VR-приложений, такими материалами обычно выступают техническая документация, эксплуатационные инструкции, регламенты работы с оборудованием, а также различные методические пособия. Анализ документации позволяет определить перечень объектов, которые необходимо смоделировать, а также понять, какие из них должны быть интерактивными. Это существенно влияет на дальнейшие этапы разработки, поскольку интерактивные объекты требуют несколько иного подхода при моделировании. Кроме того, на данном этапе определяется последовательность действий пользователя и логика выполнения операций. Эти данные впоследствии используются при проектировании VR-механик и структуры сцены. При разработке VR-тренажера для обучения работе с медицинским ускорителем Varian исходными материалами послужили эксплуатационные инструкции и техническая документация оборудования. Анализ этих материалов позволил выделить основные этапы работы с оборудованием и определить ключевые элементы управления, которые должны быть доступны пользователю в виртуальной среде. Основная задача этапа сканирования является получение точного пространственного размера среды и расположения основных объектов [3]. Полученные данные используются как референс для последующего моделирования и помогают сохранить корректные пропорции всех элементов сцены. К сканированию помещения предъявляются следующие требования: высокая точность геометрии, полное покрытие пространства, сохранение метрического масштаба, достаточная плотность точек или полигонов, отсутствие критических пропусков геометрии. Результаты общего сканирования используются как ориентир при моделировании: по ним проверяются размеры оборудования, расстояния между объектами и пропорции сцены. В рамках разработки тренажера было выполнено сканирование помещения с установленным медицинским ускорителем. Полученная модель помещения использовалась как масштабный ориентир при размещении оборудования и других объектов сцены (рис. 1).

После получения общего скана выполняется более детальное сканирование отдельных элементов оборудования для точного воспроизведения сложных деталей, органов управления и механических компонентов. Требования к детальному сканированию включают: повышенное разрешение сканирования, фокус на функциональных элементах (кнопки, переключатели, рычаги), минимальное количество шумов и геометрических артефактов, возможность разделения модели на отдельные элементы, сохранение корректного масшта-

ба и ориентации деталей. Полученные данные служат основой для создания точных и реалистичных моделей, которые затем оптимизируются для работы в реальном времени. Для обеспечения точности взаимодействия пользователя с оборудованием были отдельно отсканированы основные элементы управления ускорителя: панели управления, кнопки и механические компоненты. После анализа сценариев и сбора геометрических данных проводится этап определения VR-механик. Под механиками понимаются способы взаимодействия пользователя с объектами виртуальной среды. К таким механикам относятся нажатие кнопок, захват предметов, перемещение объектов и поворот элементов управления. Определение механик позволяет определить логику взаимодействия пользователя с виртуальной средой и требования к структуре моделей. В разработанном тренажере были реализованы такие механики, как нажатие кнопок, взаимодействие с элементами оборудования и перемещение объектов (рис. 2).



Рис. 1. Результат сканирования помещения

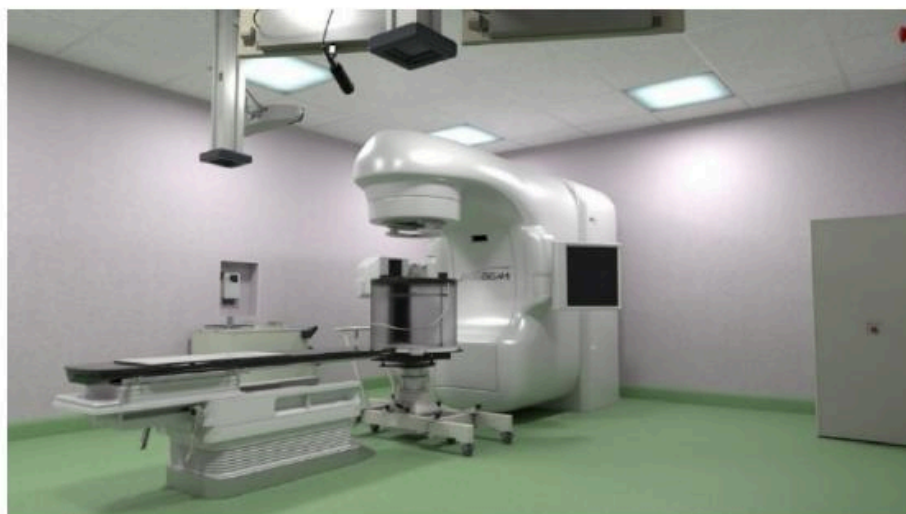


Рис. 2. Итоговая сцена VR-тренажера с размещенным оборудованием.

На основе определенных механик из сценариев выделяются интерактивные элементы — объекты, участвующие во взаимодействии пользователя с системой. Такие элементы необходимо создавать как отдельные меши, например, кнопка на панели управления должна быть отдельным объектом, чтобы можно было реализовать ее нажатие. Этап моделирования включает создание оптимизированных 3D-моделей на основе сканов и референсов [4]. В VR-приложениях важно соблюдать баланс между визуальной точностью и производительностью. Основные требования к моделям: оптимизация количества полигонов, чистая и корректная топология, использование текстур и карт нормалей для передачи мелких деталей, сохранение реального масштаба объектов (рис. 3).

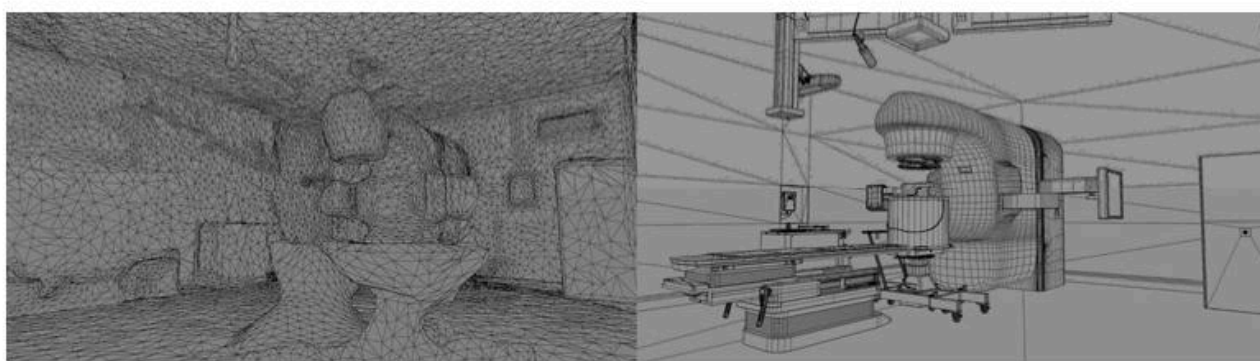


Рис. 3. Сравнение полигональной сетки сразу после сканирования и после окончания моделирования и сборки сцены

Использование карт нормалей позволяет значительно повысить уровень визуальной детализации моделей без увеличения количества полигонов. При моделировании оборудования использовалась оптимизированная геометрия, а мелкие элементы конструкции (болты, небольшие углубления и другие детали) были добавлены с помощью карт нормалей. На этапе проектирования сцены и интеграции моделей в виртуальное пространство определяется структура сцены, размещение объектов и настройка элементов взаимодействия пользователя с объектами, и проверка соответствия сцены исходным сценариям [5]. Все смоделированные элементы оборудования были интегрированы в виртуальную сцену, соответствующую реальному помещению. После этого была проведена настройка взаимодействия пользователя с элементами управления.

Заключение. Таким образом, подготовка 3D-моделей для VR/AR накладывает на процесс моделирования дополнительные требования, связанные с необходимостью сочетания точности воспроизведения объектов и оптимизации для работы в реальном времени. Грамотно выстроенный пайплайн подготовки моделей позволяет создать реалистичную и функциональную виртуальную среду, обеспечивающую эффективное взаимодействие пользователя с объектами и высокое качество пользовательского опыта. Так, в результате проделанной работы получилось перенести в виртуальное окружение полно-

стью рабочее помещение со всем необходимым оборудованием. В итоге получилось не только улучшить визуальную составляющую модели, но и оптимизировать окружение и сделать возможным взаимодействие пользователя с объектами и получать обратную связь от них.

Список источников

- [1] Sherman W., Craig A. Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design. Morgan Kaufmann, 2019, 938 p.
- [2] Jerald J. The VR Book: Human-Centered Design for Virtual. Morgan & Claypool Publishers, 2015, 619 p.
- [3] Luhmann T., Robson S., Kyle S., Boehm J. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. Berlin, De Gruyter, 2014, 702 p.
- [4] Remondino F., Campana S. 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices. BAR International Series, 2014, 238 p.
- [5] LaValle S. Virtual Reality. Cambridge University Press, 2017, 388 p.