

§ 5 ВИРТУАЛЬНЫЕ МИРЫ И СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М.Е. Рыженков

РЕДАКТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА

Аннотация. 3D-записи занятий – мощное средство для обучения в виртуальных мирах. Однако как и видеозапись занятия, 3D-запись должна быть отредактирована преподавателем, чтобы превратиться в образовательный контент высокого качества. 3D-запись в отличие от видеопотока представляет собой сложную последовательность смены синхронизируемых свойств, привязанных к временным отсчетам относительно начала занятия. Для возможности редактирования 3D-записи требуется решить ряд технических задач, связанных с размером исходных данных, удалением ненужных ресурсов, скоростью воспроизведения отредактированной записи и размером сетевых пакетов. Этим вопросам и посвящена эта статья.

Ключевые слова: Программное обеспечение, 3d-контент, редактирование контента, виртуальные миры, 3d-запись, обучение, синхронизация, мультимедиа, ресурсы, коллекция

Введение

На текущий момент обучение в виртуальных образовательных средах перестало быть педагогическим экспериментом и перешло в разряд постоянной деятельности, которую ведут десятки университетов из самых разных уголков мира [1]. Крупные компании-разработчики программного обеспечения, такие как IBM, Sun/Oracle, Microsoft, активно занимаются разработкой виртуальных 3D-миров для образовательных целей уже несколько лет.

Запись виртуального занятия – важный и ценный образовательный контент, так как её возможно просмотреть уже после того, как занятие завершилось, в отличие от обычного занятия. Запись осуществляется в 3D-пространстве и представляет из себя 3D-контент. Однако, как и видеозапись, 3D-запись занятия должна быть отредакти-

рована преподавателем, чтобы исключить ненужные фрагменты и оставить в записи только ценное содержание.

Способы и методы, позволяющие учителю редактировать образовательный 3D-контент на основе 3D-записи, на текущий момент не исследованы и нуждаются в изучении. Это объясняется тем, что понятие образовательного 3D-контента (виртуальной записи 3D-занятия) появилось относительно недавно, а все предыдущие способы записать занятие в виртуальном мире сводились к записи видео. Между тем, как будет показано, реализация редактирования 3D-записи будет сопряжена с решением серьезных технических проблем.

Обзор системы воспроизведения 3D-занятия и постановка задач

Чтобы показать, какие технические задачи ставятся для реализации возможности редактировать 3D-запись, необходимо провести краткий обзор принципов функционирования подсистемы воспроизведения 3D-записей в vAcademia [3]. Эта система тесно интегрирована в систему синхронизации виртуального мира [2].

Система синхронизации реализует алгоритмы и структуры данных для обеспечения идентичности воспроизведения виртуального мира на компьютерах всех участников, а также сохраняющая данные необходимые для восстановления визуального состояния виртуального мира в процессе воспроизведения 3D-записи. Существенным недостатком системы синхронизации является возможность лишь линейного воспроизведения записей. Такое ограничение обусловлено отсутствием механизма восстановления состояния объектов, участвующих в записи на определенный момент времени, что является необходимым условием для корректного воспроизведения записанного занятия и реализации редактора записанных занятий.

Синхронизация состояния виртуального мира обеспечивается за счет эквивалентности реплик виртуального мира в vAcademia. В качестве реплики трехмерного объекта используется его укрупненное состояние, которое определяет не просто характеристики объекта, необходимые для его отображения, а параметры выполняемых объектом действий, позволяющие клиентскому приложению воссоздать визуальное представление объекта и воспроизвести его изменения в течение времени. При этом, для каждого типа объектов, исходя из его функциональности, разрабатывается модель состояний и способы переходов между ними. Так как изменение укрупненного состояния, т. е. смена действий объекта, происходит намного реже чем изменение полного визуального состояния объекта, это позволяет сократить объем передаваемых данных, необходимых для синхронизации реплик трехмерных объектов.

Виртуальные миры и системы виртуальной реальности

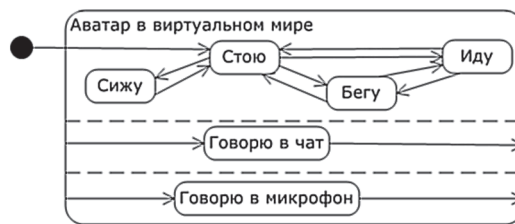


Рис. 1. Диаграмма укрупненных состояний аватара

Для примера рассмотрим модель укрупненных состояний аватара. На рис. 1 представлена диаграмма состояний. Используются вложенные параллельные состояния для отображения того факта, что состояния «Стою», «Иду», «Бегу», «Сажу» являются взаимоисключающими, а в состояниях «Говорю в чат» и «Говорю в микрофон» аватар может находиться параллельно с другими.

Возможность эквивалентности реплик виртуального мира обеспечивается за счет декомпозиции виртуального мира на отдельные элементы, характеризующиеся набором свойств, однозначно определяющих аудиовизуальное представление объекта. Такой набор свойств называется состоянием объекта. Изменение состояния объекта происходит в результате наступления какого-либо события, что в свою очередь приводит к выполнению объектом определенного действия. Структура реплики мира представлена на рис. 2.

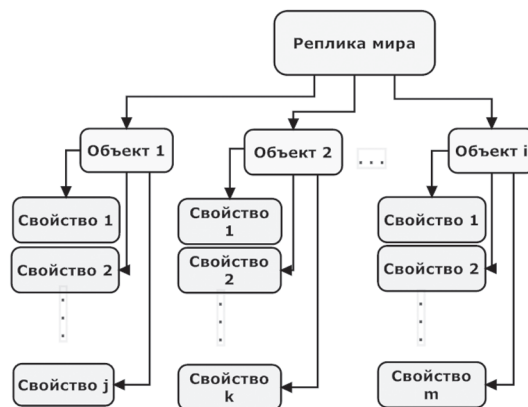


Рис. 2. Реплика виртуального мира

Основным отличием воспроизведения 3D-записи от воспроизведения видеозаписи является то, что в видеозаписи основной единицей является кадр, а основной единицей записанного занятия являются действия, которые могут быть как мгновенными, так и длительными во времени. Несмотря на то, что наступление действий можно обозначить как событие, которое может быть рассмотрено как ключевой кадр в видео потоке, все длительные операции над объектами нельзя рассматривать в такой аналогии. Их особенностью является длительность, что существенно затрудняет процесс отсечения фраг-

ментов друг от друга при редактировании. Вследствие этого, возникает проблема восстановления состояния объекта на любой из моментов проведения длительной операции. Такие ситуации возникают при быстрой перемотке, удалении, вставке или копировании фрагментов записи.

В момент времени, на границе двух следующих друг за другом фрагментов, которые изначально были единым целым, может происходить длительная операция, которая должна быть корректно обработана в обоих соседствующих фрагментах. Один из фрагментов должен получить состояние объекта, производящего длительную операцию на момент времени, отсекаемого фрагментом.

Помимо проблемы восстановления состояния объекта в середине совершения длительного действия, большой проблемой является производительность системы воспроизведения записи в момент склейки двух фрагментов. В момент склейки, при переходе от отрисовки одного кадра 3D-сцены к отрисовке кадра следующей 3D-сцены, требуется применить ко всем объектам записи последовательно все изменения свойств синхронизации, которые произошли от конца первого фрагмента и до начала второго в оригинальной 3D-записи. Проблемой является как большой размер сетевых пакетов синхронизации, которые надо получить по сети, так и достаточно ресурсоемкий процесс их одновременного разбора и применения.

С другой стороны, свойства синхронизации не содержат в себе данных, которые позволяют в полной мере восстановить состояние объекта. Например, при синхронизации изображения (допустим слайд презентации), на виртуальной доске системой синхронизации, в качестве свойства содержимого доски используется не бинарный набор данных изображения, а ссылка на ресурс изображения на ресурсном сервере, которое будет запрошено клиентом виртуального мира после получения данных синхронизации. В момент склейки должны одномоментно смениться изображения на виртуальных досках, переодеться аватары и совершиться другие действия, которые исходя из принципа работы системы синхронизации не могут быть выполнены сразу, т.к. должны быть запрошены ресурсы с удаленного сервера и объем запрошенных одновременно данных может быть очень большим.

Кроме того, встает проблема оптимального хранения данных ресурсов. В случае, если из записи был удален фрагмент, хранение связанных с ним ресурсов (если они не были использованы где-либо еще) становится необязательным, они могут быть удалены или перемещены на сервер-архив.

Оптимальное хранение данных

При проведении занятий, учитель генерирует 3D-контент (запись виртуального занятия) с помощью инструментов виртуального образовательного мира и ресурсов (блоков 2D-контента и пользовательских объектов с настройками интерактивности). Такие ресурсы могут повторяться в записях 3D-занятий, кроме того, часть из них должна по-

лучаться в результате конвертации учебного материала в требуемый формат. Таким образом, есть необходимость в хранилище ресурсов, в которое материалы занятия могут быть загружены заранее и использоваться в требуемом числе занятий без дублирования и повторных преобразований.

Роль такого хранилища в vAcademia выполняет коллекция ресурсов. Коллекция ресурсов имеет иерархическую структуру и состоит из папок и отдельных ресурсов. Папки в свою очередь могут содержать внутри себя новые папки и ресурсы. Ресурсы бывают двух видов: конвертируемые (презентации, пользовательские 3D-модели) и неконвертируемые (картинки). Неконвертируемые ресурсы могут быть преобразованы по требованию, например, изображения из коллекции ресурсов при размещении их на доску автоматически преобразуются так, чтобы не превышать определенных линейных размеров. Конвертируемые ресурсы преобразуются на сервере ресурсов в момент загрузки в коллекцию ресурсов, например, презентации преобразуются в набор изображений слайдов, а пользовательские модели преобразуются из формата Collada во внутренний формат BMF5.

Ресурсы могут использоваться не только в наборе записей одного автора. Часто возникает необходимость использования одних и тех же ресурсов в записях разных авторов. Поэтому коллекция ресурсов поделена на три части с разными правами доступа: общая коллекция ресурсов (доступ открыт для всех пользователей), коллекция ресурсов занятия (доступ открыт для участников урока), коллекция ресурсов автора (доступна только автору).

Запись виртуального занятия описывается формулой

$$P(t) = \{f_1(o_1, t), f_{i+1}(o_{i+1}, t), \dots, f_n(o_n, t)\} \quad (1),$$

где t – время от начала записи, o – записываемый объект, $f_1(o_1, t)$ — это дискретная функция преобразования состояния объекта от времени.

Чтобы математическая модель соответствовала задаче генерации 3D-контента, представим выражение (1) в виде

$$P(a) = \{B_1, B_2, \dots, B_n\} \quad (2),$$

где a – идентификатор автора записи и B_i – множество данных необходимых для воспроизведения i -го объекта записи $P(a)$. В свою очередь B_i выражается формулой:

$$B_i = \{O_i, A(t), R_i\} \quad (3),$$

где O_i – объект записи, $A(t)$ – функция синхронизируемого состояния объекта от времени t , R_i – множество ресурсов, необходимое для воспроизведения объекта O_i в записи.

Пусть ресурс $r \in R_i$, тогда справедливо, что $r \in R_g$ или $r \in R_1$ или $r \in R_a$, где R_g – множество ресурсов «общей коллекции» ресурсов, R_a – «пользовательской коллекции», R_1 – «коллекции ресурсов занятия».

Коллекция ресурсов в общем виде представляется формулой:

$$R = \{R_1, R_a, R_g\} \quad (4).$$

Директория коллекции ресурсов в свою очередь может быть представлена как

$$F = \{F_p, F_r\} \quad (5),$$

где F_p – множество поддиректорий, а F_r – множество ресурсов в данной директории. Таким образом, директория в коллекции ресурсов задается рекурсивно.

R_p, R_a, R_g по сути представляют собой папки в коллекции ресурсов с особыми правами доступа:

$$R_i = \{ F_i, C_i \} \quad (6),$$

где C_i – множество правил доступа к директории.

Для того, чтобы ресурсы удаленного фрагмента 3D-записи можно было удалить, необходимо, чтобы у каждого ресурса был счетчик использования в записях. Если этот счетчик равен 0, то ресурс может быть удален или перенесен на сервер-архив. Таким образом, понятие ресурса в новой интерпретации расширяется:

$$r_i' = \{ r, J_i \} \quad (7),$$

где r_i' – расширенный ресурс, J_i – количество ссылок на ресурс в 3D-записях, которая может быть выражена формулой:

$$J_i = \sum_{k=1}^{k \leq N_R} \sum_{m=1}^{m \leq N_S(k)} H(P_k, B_M) \quad (8),$$

где N_R – количество всех 3D-записей, $N_S(k)$ – размер множества P_k , а функция $H(P_k, B_M)$ задана следующим образом:

$$H(P_k, B_M) = \begin{cases} 1, & \text{если } \exists R: r \in R, a R \in B_M \\ 0 & \text{в ином случае} \end{cases} \quad (9),$$

Таким образом, ресурс может быть удален, если он удален из всех коллекций ресурсов и счетчик ссылок равен 0, иначе говоря, выполняется система:

$$\begin{cases} J_i = 0 \\ \forall R, r \notin R \end{cases} \quad (10),$$

Если выполняется только первое условие системы, то ресурс может быть перенесен на сервер-архив.

Обработка длительных действий

Для обработки длительных действий, в каждое длительное состояние, устанавливающееся объекту, было добавлено временное смещение от начала выполнения длительного действия, относительно времени установки синхронизируемого свойства. Таким образом, при обработке синхронизируемых свойств в клиенте виртуального мира для каждого длительного действия частным образом обрабатывается смещение относительно начала действия. Формула (3) переписывается в виде

$$V_i' = \{ B_i, T \} \quad (11),$$

где V_i' – расширенные данные синхронизации свойства объекта, T – временное смещение.

Для того, чтобы такой принцип работал корректно, введено требование на инвариантность выполнения длительного действия относительно времени. Таким образом, не-

зависимо от любых обстоятельств, временных и сетевых задержек, при воспроизведении одного и того же синхронизируемого действия, декомпозированные аудиовизуальные свойства синхронизируемого объекта в один и тот же момент времени совпадут на любом клиенте виртуального мира.

Другой подход используется при синхронизации рисования на доске. Набор примитивов, нарисованных на доске, с их свойствами является единым бинарным состоянием объекта. Над бинарным состоянием определены два действия: очистить бинарное состояние и дописать данные в его конец. Таким образом, если требуется восстановить состояние рисунка на доске в момент рисования, достаточно применить к доске бинарное состояние, которое было собрано на сервере в требуемый момент времени.

Оптимальная перемотка записи

Быструю перемотку записи можно достичь несколькими способами: оптимизацией применения конкретных синхронизированных свойств, переводом установки свойства на асинхронный принцип и более оптимальной установкой таких свойств. В vAcademia были применены все три способа.

Так при реализации инструмента рисования на доске с использованием графических потоковых процессоров [4] было получено ускорение в 50 и более раз, что позволяет устанавливать бинарное состояние виртуальной доски менее чем за 1 мс. Таким образом, в момент воспроизведения «склейки» фрагментов записи или перемотки, бинарное состояние виртуальных досок будет установлено без провала в производительности.

Асинхронная загрузка тела и одежды аватаров позволила исключить провалы производительности в случаях, когда смена тела и одежды аватара происходила в вырезанном фрагменте. Хотя асинхронность предполагает некоторую задержку изменения аудиовизуальных свойств объекта, тем не менее, в некоторых случаях (включая описанный) это оказывается приемлемым для восприятия человеком.

Однако, если бинарное состояние само по себе исключает дублирование установки свойств, по крайней мере такое, которое можно распознать автоматически, то другие свойства в момент «склейки» фрагментов или прокрутки могут быть установлены многократно. Между тем, для восстановления нужного состояния виртуального мира, каждое синхронизируемое свойство объекта может быть установлено лишь единожды. Чтобы обеспечить выполнение этого условия, на клиент в момент проигрывания «склейки» фрагментов посылаются не все синхронизируемые пакеты, относящиеся к вырезанному фрагменту, а набор полных состояний объектов, которые присутствуют в начале второго фрагмента. На клиенте, при установке синхронизируемого свойства, выполняется проверка, новым ли является его значение, что исключает установку тех свойств, которые имеют те же самые значения как в конце первого фрагмента, так и в начале второго.

Побочной проблемой становится сборка полных состояний на сервере, в момент проигрывания момента «склейки» фрагментов. Данная задача занимает значительное

время, т.к. полное состояние объекта хранится только на момент начала записи, а в течение записи записываются только изменения этого состояния. С целью оптимизации, в момент удаления фрагмента записи в месте склейки, сервером генерируется дополнительный набор полных состояний, которые используются при воспроизведении момента «склейки» фрагментов.

Предзагрузка данных перед моментом склейки двух фрагментов записи

Чтобы решить проблему мгновенного визуального перехода от проигрывания конца первого фрагмента к проигрыванию начала второго фрагмента, требуется заранее уведомлять клиент виртуального мира о грядущем изменении синхронизируемых свойств, с тем, чтобы произвести предзагрузку ресурсов.

Для этого сервер посылает пакеты синхронизации заранее, за время T , которое рассчитывается в зависимости от скорости сетевого соединения. Расчет времени позволяет успеть произвести предзагрузку ресурсов для начала второго фрагмента как при медленном интернет-соединении, так и при быстром.

Клиент, получая такие пакеты синхронизации, генерирует в управляющие скрипты синхронизируемых объектов события о грядущем изменении свойств, а скрипт организует предзагрузку ресурсов. Между тем, реальная установка свойств начинается с задержкой времени T , относительно времени получения пакета.

Результаты

Предложенные подходы были реализованы в виртуальном образовательном мире vAcademia [3].

Для редактирования сгенерированного контента был разработан редактор записей занятий [2], интерфейс которого представлен на рис. 3.

В редакторе записей предоставлены элементы графического интерфейса, позволяющие выполнять операции редактирования. Шкала времени позволяет быстро и легко найти и выделить искомый фрагмент записи, просмотреть запись с возможностью быстрой перемотки при помощи совместного использования элементов управления воспроизведением. При помощи элементов панели инструментов производятся непосредственно операции монтирования, а окном предварительного просмотра является сам плеер виртуального мира. Меню редактора позволяет вызвать окно выбора записи для редактирования, а так же выполнять операции монтажа, включенные в панель инструментов.

Ключевыми функциями разработанного редактора являются: поиск нужного фрагмента, удаление, копирование и вставка. Так же, в качестве дополнительной возможности использования редактора, включена возможность отмены и повтора проделанных операций.

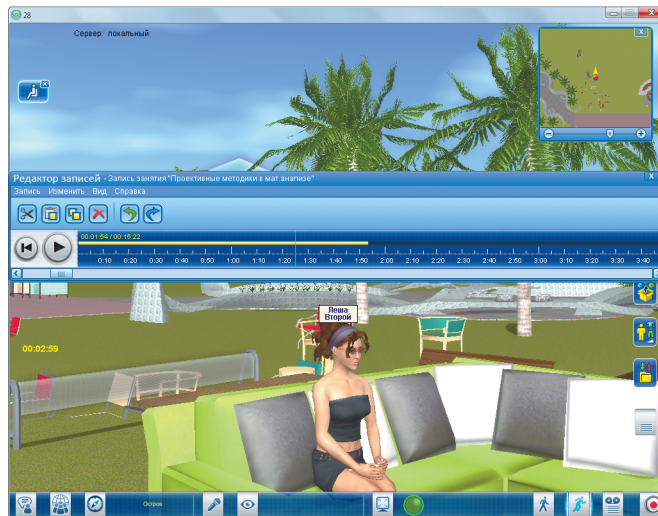


Рис.3. Интерфейс редактора 3D-записей.

Поддержка разрыва длительных синхронизируемых действий позволяет снять какие-либо ограничения на удаление фрагментов записи. Результаты оптимизации проигрывания момента «склейки» двух фрагментов представлены в табл. 1. Приведены усредненные данные по результатам редактирования около 100 записей в ходе внутреннего тестирования продукта.

Табл. 1. Результаты оптимизации

	До	После
Средний размер сетевого пакета	871,1 кб	133,4 кб
Среднее время обработки момента склейки фрагментов	541 мс	73 мс
Среднее время ожидания загрузки ресурсов, нужных на момент начала загрузки, после момента «склейки»	2423 мс	200 мс

Разработанная коллекция ресурсов позволяет загружать различные типы изображений, презентации, PDF-файлы, интерактивные пользовательские объекты, создавать ссылки. Кроме того, возможна загрузка файлов других типов. На примере статистики по открытым и закрытым курсам, в «Виртуальной академии», был проведен расчет экономии дискового пространства хранимых данных, необходимых для воспроизведения записей занятий. Экономия дискового пространства составила 23% (средний размер записи составляет 150 Mb) за счет исключения дублирования при копировании и использовании одинаковых ре-

сурсов в разных занятиях. Исключение ресурсов, использованных в удаленных фрагментах отредактированных записей, позволяет в среднем увеличить экономию места на диске до 31%.

Заключение

В данной статье были предложены методы решения основных технических проблем редактирования трехмерного образовательного контента в форме 3D-записи виртуального занятия. Предложенные методы были успешно апробированы в образовательном виртуальном мире vAcademia на примере инструмента «Редактор 3D-записи».

Список литературы:

1. Сморкалов А.Ю. Реализация образовательных инструментов в виртуальных 3D-средах с использованием потоковых процессоров. //Образовательные технологии и общество.– 2011.– Т. 14.– N 3.– С. 409-425.
2. Рыженков М.Е., Морозов М.Н., Герасимов А.В. Генерация и редактирование 3D-контента в виртуальных образовательных средах. //Образовательные технологии и общество.– 2011.– Т. 14.– N 3.– С. 425-439.
3. URL: www.vacademia.com
4. Сморкалов, А.Ю. Поддержка операций рисования в системе обработки растровых изображений на потоковых процессорах. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе». – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011.– С. 201-206.

Библиография:

1. Сморкалов А.Ю. Реализация образовательных инструментов в виртуальных 3D-средах с использованием потоковых процессоров. //Образовательные технологии и общество.– 2011.– Т. 14.– N 3.– С. 409-425.
2. Рыженков М.Е., Морозов М.Н., Герасимов А.В. Генерация и редактирование 3D-контента в виртуальных образовательных средах. //Образовательные технологии и общество.– 2011.– Т. 14.– N 3.– С. 425-439.
3. URL: www.vacademia.com
4. Сморкалов, А.Ю. Поддержка операций рисования в системе обработки растровых изображений на потоковых процессорах. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции “Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе”. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011.– С. 201-206.

References (transliteration):

1. Smorkalov A.Yu. Realizatsiya obrazovatel'nykh instrumentov v virtual'nykh 3D-sredakh s ispol'zovaniem potokovykh protsessorov. //Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo.– 2011.– T. 14.– N 3.– S. 409-425.
2. Ryzhenkov M.E., Morozov M.N., Gerasimov A.V. Generatsiya i redaktirovanie 3D-kontenta v virtual'nykh obrazovatel'nykh sredakh. //Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo.– 2011.– T. 14.– N 3.– S. 425-439.
3. URL: www.vacademia.com
4. Smorkalov, A. Yu. Podderzhka operatsiy risovaniya v sisteme obrabotki rastrovnykh izobrazheniy na potokovykh protsessorakh. Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Informatsionnye tekhnologii v professional'noy deyatel'nosti i nauchnoy rabote». – Yoshkar-Ola: MarGTU, 2011.– S. 201-206.