

УДК 681.3.06

И. В. Белаго, Ю. В. Некрасов, А. В. Романовский, Ю. В. Тарасов

*(Новосибирск)***ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕД НА ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭВМ**

Рассматривается структура виртуальных сред, и кратко обсуждаются основные аппаратные и программные компоненты персональных ЭВМ, существенные для реализации виртуальных сред. Формулируются цели создания программной системы для разработки виртуальных сред на платформе персональной ЭВМ. Описывается структура реализованной программной системы, ее основные компоненты и функциональные особенности. Приводятся характеристики системы.

Введение. Как было остроумно отмечено в [1], один из вопросов, возникающих при обсуждении виртуальных сред, состоит в том, какие названия мы используем и какие определения даем для этих названий.

В настоящей статье под виртуальной средой подразумевается совокупность зрительных, слуховых и кинестетических раздражений, которые синтезируются с использованием компьютеров, а также при помощи других технических средств и с той или иной степенью достоверности имитируют раздражения, поступающие в органы чувств человека от реальности-оригинала.

Это определение перекликается с определениями виртуальной реальности в [2, 3] и в нашем случае служит отправной точкой для последующего изложения. В рамках данного определения классическим примером виртуальной среды является иллюзия полета на самолете (космическом корабле), возникающая у человека, находящегося в летном тренажере. Вид из иллюминаторов, шум двигателя, изменения скорости и т. п. — все эти эффекты частично генерируются компьютером, а частично другими устройствами, входящими в состав тренажера.

До недавнего времени виртуальные среды использовались для обучения человека-оператора в тех областях, где приобретение и закрепление навыков в реальных ситуациях исключались [4] из-за значительных затрат, высокого риска, низкой вероятности возникновения таких ситуаций или их невоспроизводимости. С развитием и удешевлением аппаратуры и программного обеспечения, прогрессом в исследовании закономерностей человеко-машинного взаимодействия виртуальные среды стали использоваться не только в летных и космических тренажерах, но и в медицине, индустрии развлечений и т. д.

Рассматривая структуру виртуальных сред в терминах существующих на сегодняшний день технологий, можно выделить три части виртуальных сред: реально существующая часть, физически моделируемая часть и часть, генерируемая с помощью компьютера [5].

Наличие реальной части в виртуальной среде означает, что создаваемая с помощью современных технологий такая среда не может быть полностью искусственной. Так, например, невозможно заменить чем-либо воздух, которым дышит человек, находясь в виртуальной среде, избавиться от тактильных ощущений, возникающих у человека при использовании специального оборудования (очков, перчаток) и т. п.

Физически моделируемая часть виртуальной среды состоит из материальных объектов, которые являются заменителями или дубликатами объектов

имитируемой реальности, например, это могут быть муляжи устройств управления автомобилем, самолетом, космическим кораблем, кресло, в котором сидит человек, сервомеханика для обеспечения «силовой обратной связи» и т. д.

Часть виртуальной среды, генерируемая с помощью компьютера, представляет собой зрительные и звуковые раздражители, которые воздействуют на соответствующие органы чувств человека и создают визуальные и аудиальные иллюзии. Для генерации таких раздражителей могут использоваться следующие основные аппаратные и программные компоненты [6]:

1) компьютерный генератор изображений реального времени (КГИ РВ) — персональный компьютер, позволяющий производить визуализацию виртуальной среды в темпе генерации изображений, не нарушающем иллюзию непрерывности движений;

2) выводное устройство — нашлемный индикатор или дисплей персонального компьютера с цветным адаптером, позволяющий выводить сгенерированные изображения в темпе КГИ РВ;

3) *n*-мерные датчики положений — устройства, выдающие данные о положении и ориентации головы, рук пользователя и (или) объектов среды в систему управления, в качестве которых на платформе РС чаще всего используются «мышь» и джойстик;

4) аудиосредства — quadro-, стерео- или монозвуковая плата и динамики, позволяющие генерировать и выводить звук одновременно с выводом изображений;

5) сетевые средства — сетевые адаптеры для персональных компьютеров и модемы, позволяющие связывать несколько КГИ РВ для совместных действий пользователей в виртуальной среде;

6) программное обеспечение, позволяющее создавать визуальные модели виртуальных сред, наиболее известным представителем которых на РС можно считать 3D Studio фирмы "AutoDesk";

7) программное обеспечение для описания поведения моделей, управления процессом генерации изображений и связи между пользователями в сетевых КГИ РВ;

8) программное обеспечение КГИ РВ, обеспечивающее процесс генерации изображений; из известных авторов библиотек наиболее функциональной является RenderWare от "Canon Inc.";

9) программные средства для генерации звука в виртуальной среде и, возможно, позволяющие переносить звуковую информацию из виртуального пространства в аудиопространство пользователя (с использованием таких эффектов пространственного звучания, как стерео- и квадроспроизведение, учитывающее расположение источников звука в трехмерном виртуальном пространстве, реверберация, hall); примером могут быть стандарт программирования и набор драйверов различных аудиоплат MidPak/DigPak от "Miles Design";

10) сетевое программное обеспечение, реализующее связь между пользователями систем виртуальной реальности или (и) КГИ РВ в распределенной системе виртуальной реальности; примером для платформы персональных компьютеров может служить сетевая среда Nowell NetWare.

Постановка задачи. Задача, которую авторы поставили перед собой, — создать программную систему для разработки виртуальных сред на персональной ЭВМ. Система должна обеспечивать синтез изображений виртуальной среды от 8 кадров в секунду с разрешением 320 × 200 пикселей в палитре из 256 цветов с возможностью отображения текстурированных поверхностей с правильным перспективным преобразованием текстуры, граней с плоской заливкой и 2D спрайтов. Система также должна поддерживать моделирование столкновений наблюдателя с объектами и объектов друг с другом. Система должна быть открытой, т. е. обеспечивать возможность ее расширения пользователями.

Ввиду огромного числа используемых персональных компьютеров наиболее перспективными целями применения такой программной системы, по нашему мнению, может быть разработка недорогих виртуальных сред общего

назначения (виртуальные музеи, виртуальные городские районы и т. п.), компьютерных игр, тренажерных систем малого класса, прототипов приложений, предназначенных для работы на специализированных платформах.

Концепция построения виртуальных сред. Предлагаемая концепция является обобщением и логическим продолжением идей, изложенных в [7—9].

Трехмерная виртуальная среда представляется математической моделью, описанной либо с использованием специализированного языка программирования, либо средствами интерактивного построения и редактирования трехмерных виртуальных сред. По такой модели программа-генератор изображений осуществляет построение изображений виртуальной среды с учетом изменения положения и ориентации наблюдателя в режиме, близком к реальному времени.

Математическая модель учитывает геометрию поверхностей, их визуальные характеристики, источники освещения и звука в виртуальной среде, параметры наблюдателя, подвижные объекты среды.

С подвижным объектом или группой таких объектов связывается система координат. Системы координат образуют многоуровневую древовидную иерархию, в которой каждая система координат $n + 1$ -го уровня считается вложенной в систему координат n -го уровня. Система координат n -го уровня называется базисной для вложенных в нее систем координат, а те, в свою очередь, называются подчиненными. Перемещение базисной системы координат означает перемещение всех подчиненных систем координат. Связи вида «базисный—подчиненный» могут оставаться неизменными на протяжении всего времени существования виртуальной среды либо изменяться в течение этого времени.

Изображение виртуальной среды строится в перспективной проекции на экране дисплея, представляющем собой виртуальное окно, через которое оператор-наблюдатель смотрит на среду. Изменение положения (вверх—вниз, вперед—назад, влево—вправо), ориентации (повороты влево—вправо), скорости движения наблюдателя относительно среды осуществляется при помощи «мыши», клавиатуры и т. п. Во время такого перемещения наблюдателя изображения среды на экране дисплея изменяются так, что у оператора создается визуальная иллюзия перемещения в виртуальной среде.

В математической модели виртуальной среды в терминах иерархического двоичного деления пространства представлена информация, необходимая для определения столкновений наблюдателя с поверхностями и объектами виртуальной среды и подвижных объектов между собой и с неподвижными поверхностями виртуальной среды. Для деления пространства используются как плоскости, так и другие простые геометрические примитивы — сферы, конусы и т. п.

Обработка взаимодействия с оператором-наблюдателем реализована в терминах механизма событий. Для каждого кадра формируется очередь событий, обработка которых позволяет определить текущее положение наблюдателя и подвижных объектов сцены.

Все поверхности аппроксимируются цветными плоскими односторонними многоугольниками или гранями. Цвет грани задается в RGB-модели. С поверхностью грани может быть связана цветная и частично прозрачная текстура. В предлагаемой концепции для повышения скорости построения изображений виртуальной среды задаются пространственные приоритеты поверхностей и объектов среды. Такие приоритеты используются при отражении граней на экране дисплея по алгоритму художника. Для неподвижных друг относительно друга поверхностей (объектов) их пространственные приоритеты всегда могут быть определены заранее, на этапе описания виртуальной среды. Для подвижных объектов их пространственные приоритеты определяются динамически во время построения изображения (кадра), что при большом количестве подвижных объектов может значительно уменьшить кадровую частоту. Для задания приоритетов используется иерархическое двоичное деление пространства.

Во многих случаях в поле зрения наблюдателя попадает только часть виртуальной среды. Расчеты, связанные с отбраковкой невидимых частей среды, могут быть значительно уменьшены, если их выполнять не для отдельных граней, а для кластеров, ограниченных некоторым габаритным объемом, например сферой, т. е. проверка попадания части среды, лежащей внутри габаритной сферы, сводится к проверке попадания этой сферы в поле зрения наблюдателя. Если сфера находится вне поля зрения, то грани этого кластера не участвуют в последующих вычислениях на данном кадре, если же сфера в поле зрения, то кластер, возможно, имеющий некоторую габаритную иерархию, будет обрабатываться дальше. Узлами такой габаритной иерархии могут быть не только сферы, но и плоскости, усеченные цилиндры и т. д. При этом для принятия решения о потенциальной видимости может тестироваться положение как габаритного подпространства относительно поля зрения наблюдателя, так и наблюдателя относительно габаритного подпространства или положение габаритных объемов друг относительно друга. Последний тест, в частности, может использоваться для эффективного определения пространственных приоритетов подвижных объектов в виртуальной среде.

Структура и функции предлагаемой программной системы. В программную систему входят: специализированный язык описания виртуальных сред; интерактивный редактор виртуальных сред; модули генератора кадров, управления динамикой виртуальных сред, поддержки 3D звука и оверлейной загрузки больших виртуальных сред; утилиты для генерации текстур и автоматического формирования палитр и преобразования данных из форматов 3DS, DXF, ASC в формат системы виртуальной реальности; драйверы устройств управления динамикой виртуальной среды; набор тестовых и демонстрационных виртуальных сред.

Специализированный язык программирования *Og* предоставляет широкий набор встроенных типов данных и специальных операторов, которые позволяют описывать визуальные модели достаточно широкого класса систем виртуальной реальности. В языке есть также типы данных, операторы и процедурные механизмы, характерные для языков программирования общего назначения.

Среда интерактивного построения и редактирования трехмерных объектов и сцен позволяет в терминах тех же типов данных визуально конструировать дерево сцены и одновременно просматривать полученный результат.

После того как модель трехмерной виртуальной среды была создана с использованием вышеуказанных инструментов, программа-генератор динамических изображений моделируемых трехмерных виртуальных сред позволила оператору-наблюдателю перемещаться в виртуальной среде в режиме, близком к режиму реального времени.

Для генерации регулярных (фрактальных) текстур, которые отображаются на поверхности сцены, написан ряд утилит, например, утилита для генерации текстур облачного неба, морской поверхности, травяных и лесных покровов и т. п.

Для задания цветов текстур, как и для задания цветов однотонно закрашиваемых поверхностей, используется представление цветов, в котором каждая компонента цвета определяется в интервале вещественных чисел от 0,0 до 1,0. Ввиду ограниченности размера палитры используемых в настоящее время на платформе PC графических адаптеров, возникает проблема отображения множества цветов с вещественными компонентами в палитру, состоящую, например, из 256 цветов. Для реализации этого отображения был разработан эвристический алгоритм кластеризации цветов и разрежения цветового пространства.

Открытость предлагаемой программной системы обеспечивается наличием утилит преобразования данных из форматов 3DS, DXF, ASC в формат системы виртуальной реальности. Это позволяет разрабатывать моделируемые объекты и части сцен в средах 3D-Studio, AutoCAD и т. д., а затем импортировать их.

Для задания направлений перемещения, скоростей используется «мышь», с которой программа-генератор изображений работает через специальный драйвер. Этот драйвер позволяет с помощью «мыши» имитировать n -мерный датчик положений с ограниченным числом степеней свободы.

Заключение. Прототип программной системы, реализованный в рамках предлагаемой концепции, имеет следующие функциональные характеристики (для конфигураций IBM PC 486 DX2, 33—66 МГц, RAM 4–8М): кадровая частота 4—20 кадров/с; моделирование динамики с привязкой к аппаратному таймеру; возможность отображения в стереорежиме; разрешение 320×200 в палитре из 256 цветов; производительность (примитивов в секунду): а) текстурированных граней с правильным перспективным преобразованием текстуры — 1500, б) граней с плоской заливкой — 8000, в) 2D спрайтов — 12000; количество одновременно перемещающихся в виртуальной среде объектов 30; виды текстуры: а) полноцветная (в пределах палитры) с битовой прозрачностью, б) подвижная; спрайтовая анимация; Z-сортировка динамических объектов; динамическое изменение палитры; оверлейная структура моделей виртуальной среды; обнаружение столкновений наблюдателя с объектами виртуальной среды и столкновений объектов виртуальной среды друг с другом; моделирование поведения объектов и наблюдателя после столкновения; трехмерный звук.

Основным полученным результатом является то, что разработанные программные средства позволяют получать динамические цветные изображения трехмерных виртуальных сред в перспективной проекции на компьютерах IBM PC с частотой около 10—15 кадров/с, с одной—тремя тысячами граней с плоской заливкой цветом или 200 граней с текстурой в одном кадре, на платформе персональной ЭВМ.

В отличие от подавляющего большинства интерактивных систем, используемых для подобных целей, данные программные средства предоставляют для создания визуальных моделей виртуальных сред не только интерактивные, но и языковые инструменты.

Направление дальнейшего развития предлагаемых программных средств визуального моделирования трехмерных виртуальных сред связано с переносом системы на другие аппаратные платформы, наиболее перспективными из которых, по мнению авторов настоящей статьи, являются платформы с использованием графического ускорителя MGA Impression + графический акселератор фирмы "Matrox", платформа графических станций фирмы "Silicon Graphics".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jense G. J., Kuijper Ir. F. Virtual reality research at TNO-FEL // Proc. of the Second Workshop on Simulators for European Space Programmes. Noordwijk, Netherlands, 1992.
2. Bricken W. A formal foundation for cyberspace // Beyond the Vision. The Technology, Research, and Business of Virtual Reality /Ed. S. K. Helsel. Meckler, London, 1992.
3. Krueger M. W. Artificial Reality II. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1991.
4. Research Frontiers in Virtual Reality // SIGGRAPH 94: Conf. Proc., July 24—29, 1994.
5. Beyond the Vision. The Technology, Research, and Business of Virtual Reality /Ed. S. K. Helsel. Meckler, London, 1992.
6. IRIS Universe // The Magazine of Visual Computing. 1993. N 25.
7. Белаго И. В., Некрасов Ю. Ю., Романовский А. В., Тарасов Ю. В. Комплекс трехмерного визуального моделирования: SoftLab Images 1.1 // Автометрия. 1993. № 5.
8. Белаго И. В., Некрасов Ю. Ю., Романовский А. В., Тарасов Ю. В. Типы данных и операции для описания визуальных моделей трехмерных сцен и их динамики реального времени // Автометрия. 1994. № 6.
9. Романовский А. В. Язык смешанных вычислений для визуального моделирования трехмерных сцен и их динамики реального времени // Там же.

Поступила в редакцию 25 октября 1995 г.