

**МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

КАФЕДРА СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТА

На правах рукописи

Даниличева Полина Петровна

**Разработка технологии
виртуального повествования для
инновационных образовательных приложений**

Магистерская диссертация

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор С. В. Клименко

Рецензент
д.ю.н., профессор Ю.М.Батурин

Москва 2008

Оглавление

1	Введение	4
1.1	Актуальность	4
1.2	Космическое образование	5
1.3	Цель работы	8
1.4	Решаемые задачи	8
1.5	Научная новизна	8
1.6	Структура диссертации	10
2	Виртуальное повествование как инновационная образова- тельная технология	12
2.1	Технология виртуального окружения	12
2.2	Принцип edutainment	15
2.3	Серьезные игры	16
2.4	Виртуальное повествование	17
2.5	Механизм генерации сюжета	18
2.6	Обзор релевантных работ	20
3	Избранные технические решения	27
3.1	Система виртуального окружения VEonPC	27
3.2	Система виртуальной реальности Avango как платформа раз- работки	29
4	Реализация системы	32
4.1	Функциональная архитектура системы	33
4.2	Компоненты системы	35

4.2.1	Модуль визуализации	35
4.2.2	Модуль генерации сюжета	36
4.2.3	Вопросно-ответная подсистема	39
4.2.4	Модуль восприятия виртуального персонажа	42
4.2.5	Модуль Text-to-Speech	43
4.3	Взаимодействие компонентов системы	44
4.3.1	Интеграция компонентов системы с Avango	44
4.3.2	Граф сцены	45
4.3.3	Потоки данных	47
4.3.4	Реализация многопоточности	49
4.4	Демонстрационное приложение	51
5	Заключение	54
5.1	Конечные результаты	54
5.2	Практическая ценность	55
5.3	Дальнейшее развитие	56
	Благодарности	58
	Глоссарий	59
	Литература	65

Глава 1

Введение

1.1 Актуальность

Закон об образовании Российской Федерации [1] отмечает, что система образования должна быть адаптирована «к уровням и особенностям развития и подготовки учащихся». Ввиду нехватки педагогов, перегруженности классов и учебных групп учителя очень часто не имеют времени на поиск индивидуального подхода к каждому ученику.

Инновационные подходы, лежащие в основе национального проекта «Образование», нацелены в первую очередь на то, чтобы дать учащимся качественные и прочные знания. Такие знания человек приобретает только тогда, когда ему интересно учиться. Поэтому ученик должен стать активным участником образовательного процесса, а зубрежка и учеба из-под палки должны остаться в прошлом.

Предлагаемые в данной работе инновационные технологии позволяют персонифицировать обучение и сделать этот процесс более увлекательным, повысив таким образом качество образования.

Во всем мире сегодня стало популярным направление *edutainment* — это «обучение в процессе игры» или «развлечение + обучение» (*education + entertainment*) [2]. По принципу *edutainment* созданы все современные музеи науки, что позволяет объединить исследования с развлечением и учиться с удовольствием.

Например, *Cybernarium* [3] — это выставочный центр в Дармштадте, Гер-

мания, использующий технологии виртуальной и расширенной реальности. Его посетители могут увидеть аэропорт будущего, напечатать книгу в виртуальном печатном цехе, самостоятельно провести ультразвуковое обследование на виртуальном тренажере, а также прогуляться по собору в Сиене, полистать виртуальный гербарий, где растения вырастают прямо из страниц и даже полетать вдоль Млечного пути в виртуальном планетарии.

Виртуальное повествование [4] — это инновационная интерактивная образовательная технология, которая реализует принцип edutainment. Она обеспечивает погружение пользователя в виртуальный мир с использованием технологии виртуального окружения (ВО) и включает пользователя в определенный сюжет (сценарий) в качестве действующего лица [5]. Основной задачей виртуального повествования является информирование или обучение, при этом пользователь играет активную роль в прохождении сюжета и имеет определенную свободу действий в виртуальном мире. В отличие от компьютерных игр технология виртуального повествования позволяет добиться высокой степени погружения в виртуальный мир даже при достаточно простом сюжете и второстепенной роли развлекательной составляющей. Это открывает широкие возможности по созданию обучающих и тренировочных приложений в ВО.

Таким образом, разработка технологии виртуального повествования для образовательных целей позволит решить сразу несколько актуальных проблем:

- обеспечить персональное обучение для каждого учащегося;
- сделать процесс обучения интересным и увлекательным;
- перенести место проведения урока в виртуальный мир и сделать те демонстрации, которые в реальном мире невозможны.

1.2 Космическое образование

В данной работе уделено особое внимание космическим образовательным приложениям технологии виртуального повествования, т.к. чтобы полететь в космос, недостаточно одного лишь нашего желания, а нам было бы очень

интересно знать, что же происходит на борту орбитальной космической станции. Мотивация данной работы связана с предложением ректора МГУ В. А. Садовниченко открыть инновационную образовательную программу «Образование и космос».

Разработка приложения «Виртуальные и уроки из космоса» в жанре виртуального повествования является попыткой продолжить космическую образовательную программу «Уроки из космоса», начатую космонавтом А.А.Серебровым во время полета орбитальной станции «Мир» [6]. Целью программы было пробудить у учащихся интерес к изучению космической техники, условий космического полета, наук о Земле. Ведь именно в невесомости можно поставить уникальные эксперименты, невозможные на Земле, и с их помощью наглядно продемонстрировать явление поверхностного натяжения, законы магнетизма и много других интересных вещей. В рамках программы проводились сеансы прямой связи школьников, находящихся в ЦУП, с космонавтами на борту орбитальной станции (рис. 1.1). Школьники могли задать интересующие их вопросы. После полета было выпущено несколько образовательных фильмов по физике, экологии, химии. Весь тираж был быстро раскуплен, однако его повторение не состоялось. Хорошая идея была забыта.

Совсем недавно, в августе 2007 года, NASA возобновила запланированную еще почти 20 лет назад программу космического образования школьников. Трагическая гибель «Челленджера» и его экипажа, в составе которого была учительница Криста Макколиф, на два десятилетия отсрочила реализацию красивой идеи [7]. Барбара Морган, в прошлом дублер Кристи Макколиф, провела первый урок из космоса для американских школьников в августе 2007 года. Она отвечала на вопросы в рамках сеансов прямой связи. Однако следует заметить, что школьники зачастую задавали вопросы, ответы на которые можно прочесть в книге, а при смене аудитории вопросы обычно повторялись [8]. Вот почему такой формы обучения недостаточно для формирования у учащихся систематических знаний по научным дисциплинам. Для этого нужны хорошо продуманные, заранее подготовленные уроки. Ввиду загруженности космонавтов во время полета, систематически проводить

такие занятия будет достаточно сложно.



Рис.1.1. Сеанс прямой связи со школьниками

На виртуальных космических уроках, технология создания которых предложена в данной работе, стереоскопическая проекционная система обеспечивает погружение в модель орбитальной космической станции, а виртуальный учитель-космонавт объясняет важнейшие физические законы. За основу взяты реальные уроки, которые проводил с орбиты Александр Серебров.

Другая важная сфера применения разработанной мной технологии виртуального повествования также связана с космосом. Основанное на этой технологии приложение «Виртуальные космические эксперименты» может использоваться для тренировки космонавтов и постановщиков космических экспериментов (КЭ) [9] в условиях, приближенных к «боевым». Перемещаясь внутри виртуальной космической станции и взаимодействуя с ней, можно получить адекватное представление об обстановке на борту. Это позволит детально продумать и отработать методику постановки КЭ, учитывая всевозможные ограничения, и избежать ошибок при проведении реальных экспериментов в условиях космического полета [5]. В основу данного проекта положен богатый опыт планирования и постановки КЭ, накопленный специалистами Центра подготовки космонавтов.

В дальнейшем я не делаю различия между двумя проектами: «Виртуаль-

ные уроки из космоса» (для обучения школьников) и «Виртуальные космические эксперименты» (для тренировки космонавтов), — поскольку в их основу положена одна образовательная технология, и называю их «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» или кратко Образовательное Приложение. Там, где это существенно, будет указано особо, о каком именно из приложений идет речь.

1.3 Цель работы

Цель диссертационной работы — разработать технологию виртуального повествования для создания нового типа образовательного приложения на примере проекта «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».

1.4 Решаемые задачи

В рамках данной работы решаются следующие задачи:

- Исследование различных подходов к виртуальному повествованию, анализ возможности и эффективности их использования в образовательных приложениях.
- Разработка технологии и выбор оптимальных методов виртуального повествования с целью создания образовательных приложений в наукоемких технических областях таких, как физика, биология, науки о Земле.
- Разработка архитектуры и пригодного для тиражирования прототипа образовательного приложения на примере проекта «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».

1.5 Научная новизна

До настоящего времени в целях обучения использовались и системы искусственного интеллекта [10], и технологии виртуальной реальности [11]. Предпринимались попытки объединять обучение с игрой и даже проводить уроки

из космоса. Однако пока не существует интегрированного решения, которое объединяло бы все перечисленные выше идеи и технологии.

Новизна данной работы заключается в следующем:

Новая технология. Разработанная система представляет не просто объединение ВО, искусственного интеллекта (Artificial Intelligence — AI) и вопросно-ответной (QA) системы [12]. На их базе построена принципиально новая технология обучения, где преподавателем является виртуальный персонаж (в Образовательном Приложении это космонавт), который не только отвечает на вопросы пользователей, но и меняет свое поведение в зависимости от этих вопросов, влияя, таким образом, на сюжет самого виртуального повествования.

Новые методы преподавания. Большая часть существующих образовательных приложений в жанре виртуального повествования посвящена обучению поведению (например, таким образом пытаются бороться с насилием среди школьников, наркотиками, алкоголем [13–16]). Но практически не уделяется внимание техническим дисциплинам. Считается, что для них вполне подходят традиционные методы преподавания. Однако это не всегда так. Многим технические дисциплины кажутся скучными и оторванными от жизни. Человек хорошо запоминает то, что несет какую-то эмоциональную окраску. Учащийся, вовлеченный в виртуальное повествование в качестве участника, испытывает такие же эмоции, как во время интересной игры. Таким образом, благодаря выбранной технологии процесс обучения даже самым «скучным» и сложным дисциплинам становится более увлекательным для учащихся.

Новая сфера приложения. Как отмечалось, уже делались попытки проводить уроки из космоса. Но в интерактивном режиме они доступны узкому кругу учащихся, а при просмотре обучающих фильмов отсутствует обратная связь с преподавателем. Новая технология позволит, во-первых, выбрать для каждого ученика индивидуальную программу обучения в зависимости от его способностей, уровня знаний и предпочтений. Во-вторых, уроки будут проводиться на виртуальной орбите и в виртуальном открытом космосе. При этом каждый ученик может почувствовать себя не наблюдателем, а

непосредственным участником экспериментов, что повысит качество образования. Кроме того, разработанная технология может быть использована для обучения космонавтов методике подготовки и проведения космических экспериментов. Погружение космонавта в трехмерную модель орбитальной станции с использованием технологии ВО даст возможность космонавту еще на этапе предполетной подготовки ощутить себя на борту станции и оценить реальные условия, в которых будет проводиться КЭ.

Сфера применения технологии не ограничивается космическим образованием: она может использоваться для преподавания широкого спектра дисциплин. В дальнейшем под *учеником* в системе виртуального повествования понимается обучаемый / тренируемый, будь то школьник, студент, космонавт или другой человек, использующий Образовательное Приложение для обучения.

1.6 Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения.

Во второй главе дано общее описание технологии виртуального повествования и смежных с ней научных дисциплин, рассмотрены различные подходы к генерации сюжета виртуального повествования, обоснован выбор наиболее подходящего метода генерации сюжета для приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса», приведен обзор релевантных работ.

В третьей главе представлены избранные технические решения. Рассмотрена система виртуального окружения VEonPC, которая может применяться для проведения виртуальных уроков из космоса в учебных классах школ и ВУЗов. Далее приведено краткое описание системы виртуальной реальности Avango — платформы разработки.

Четвертая глава рассказывает о реализации приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса». Вначале приведено общее описание функциональной архитектуры системы, затем более подробно рассмотрены отдельные компоненты системы и методика их взаимодействия

между собой.

В заключении подведен итог проделанной работе, обоснована практическая значимость разработанной технологии и указаны возможные перспективы ее дальнейшего развития.

Глава 2

Виртуальное повествование как инновационная образовательная технология

2.1 Технология виртуального окружения

В российской и зарубежной литературе встречаются различные определения понятия виртуальная реальность (виртуальное окружение). Одно из них гласит [17]: «Виртуальная реальность — это синтезированное компьютером интерактивное трехмерное окружение, которое обеспечивает эффект погружения человека». Все эти три аспекта: трехмерность виртуальной сцены, ее нестатичность и эффект погружения — позволяют посетителю вести себя непосредственно, как в реальной жизни, и легко усваивать информацию [5].

Поскольку виртуальное окружение — это, прежде всего, технология взаимодействия человека и компьютерной системы, приведем более релевантное определение этого термина [5]:

Виртуальное окружение (ВО) — это технология человеко-машинного взаимодействия, которая обеспечивает погружение пользователя в трёхмерную интерактивную среду изучаемого явления или процесса и предоставляет естественный интуитивный интерфейс для взаимодействия с объектами (искусственными и/или реальными) в виртуальной среде.

ВО позволяет перейти на качественно более высокий уровень обработки

данных, моделирования и проектирования экспериментов, создания сложных машин и механизмов, промышленных объектов и процессов. За рубежом технологии виртуального окружения широко применяются как средство визуализации в самых различных областях науки и техники.

Прежде всего, это тренажеры [18,19]. Технология ВО обеспечивает погружение пользователя в виртуальный мир и позволяет максимально приблизить виртуальную тренировку к реальной. Многие тренажеры используют сложный интерфейс с силовой обратной связью. Это позволяет вырабатывать необходимые моторные навыки у тренирующегося. В отличие от реальных тренировок виртуальные существенно дешевле и не требуют предварительных организационных усилий.

Во-вторых, это области, где нужна поддержка принятия решений. Интуитивно-понятный интерфейс, который предоставляют системы ВО, позволяет пользователям сконцентрироваться на изучаемом процессе или явлении. Это преимущество ВО активно используется в ситуационных центрах (например, в ситуационном центре управления ликвидацией последствий ЧС [20]) и центрах управления сложными устройствами в условиях повышенного риска (например, ядерным реактором). Совместно с технологией ВО здесь часто применяют устройства ввода для интуитивного взаимодействия, например с помощью жестов и голосовых запросов на естественном языке [20].

Примером применения ВО для управления сложными техническими объектами является уникальная технология индуцированного виртуального окружения (ИВО), разработанная специалистами Института физико-технической информатики (ИФТИ, г. Протвино, Россия) для управления развертыванием и эксплуатацией сложных орбитальных комплексов [21,22]. Система ИВО в режиме реального времени осуществляет прием данных о состоянии реальных объектов и преобразует эту информацию в параметры состояния виртуальных объектов. Полученные данные визуализируются в системе виртуального окружения.

Системы ВО используются там, где необходимо представление трехмерных данных — результатов моделирования или измерения, например дан-

ных, полученных со сканирующего микроскопа, или геопространственной информации, которая по своей природе трехмерна.

Сейчас бурно развиваются новое направление в области геоинформационных систем — трехмерные ГИС [23], которые совместно с интерфейсом на базе технологии ВО могут применяться для широкого круга задач, в том числе при ликвидации последствий ЧС [20].

Наконец, технология ВО незаменима для представления такой информации, которую нельзя или очень сложно увидеть собственными глазами. Например, в виртуальной планетарии [5, 24] можно воочию наблюдать 3D планеты и созвездия, в виртуальном океанариуме — опуститься на морское дно, а на виртуальных космических уроках, разработка которых является целью данной диссертационной работы, можно побывать на орбитальной станции.

Основное отличительное свойство технологии виртуального окружения — это то, что она обеспечивает погружение пользователя в виртуальный мир. При этом восприятие человеком реальности частично или полностью блокируется. Однако опыт показывает, что не менее интересными и востребованными оказываются такие приложения технологии ВО, где пользователь имеет дело не с чисто виртуальным миром, а с комбинацией виртуальных и реальных объектов. Для такого случая были введены специальные термины: смешанная реальность (Mixed Reality — MR) и расширенная реальность (Augmented Reality — AR)¹ [25].

Задача MR и AR состоит в наложении виртуальных объектов на изображение реального мира. Технологии MR и AR часто применяются там, где нужно показать пользователю скрытые от его глаз объекты (так называемое рентгеновское зрение — X-Ray vision [26]). Таким образом хирургу во время операции можно показать визуально скрытые от него объекты, архитекторам — несущие конструкции, которые находятся за уже возведенными стенами здания, а пожарным — то, что происходит в соседней комнате или то, что они не видят из-за дыма [20].

¹Согласно общепринятой терминологии, предложенной Полом Миграмом, смешанная реальность (MR) может представлять собой реальное окружение, расширенную реальность (Augmented Reality — AR), расширенную виртуальность (Augmented Virtuality — AV) или виртуальное окружение в зависимости от доли реального и виртуального мира. Наиболее общепотребительными являются термины MR и AR.

Технология AR совместно с 3D ГИС может применяться для навигации, например навигации поисково-спасательных отрядов [20]. Это позволит спасателям значительно сэкономить время на дорогу до места происшествия. Им не нужно будет сравнивать пространство, которое они видят вокруг себя, с изображением на карте, чтобы определить направление, в котором необходимо двигаться.

Другой пример применения смешанной реальности — виртуальная студия [27]. Это высокоинтегрированный мультимедийный комплекс, который обеспечивает формирование виртуальной среды и совмещение в реальном времени аудио- и видеоданных различной природы: «живое видео» (лектор, экскурсовод), компьютерные изображения, видеоданные с различных носителей, текст. При этом создается впечатление непосредственного взаимодействия лектора с моделируемыми объектами и явлениями, как будто он присутствует в виртуальном мире.

Технологии расширенной реальности применяются и в развлекательных целях, например в игре ARQuake [28]. Игрок перемещается в реальном мире и сражается с виртуальными монстрами, которых генерирует система расширенной реальности.

В России технология виртуального окружения пока в полной мере не нашла свое применение. Специалисты Института физико-технической информатики — одни из немногих, кто занимается научными исследованиями и разработкой систем ВО и старается расширить сферу применения столь перспективной технологии у нас в стране.

2.2 Принцип edutainment

Edutainment - это совмещение обучения с развлечением или обучение в процессе игры.

$$edutainment = education + entertainment.$$

Этот термин придумал Боб Хэйман, основатель и директор компании E-Marketing Partners, когда создавал документальные фильм для Национального географического общества США. Неологизм вскоре стал необычайно

популярен.

Сегодня по принципу edutainment созданы ведущие научно-технические музеи мира, например Cybernarium в Дармштадте, технический музей в Вене, «Город науки и промышленности Ля Вилетт» в Париже, «Парк научных приключений ПАСС» в бельгийском городе Монс, «Эксплораториум» в Сан-Франциско, «Центр науки» в Монреале и многие другие.

Технологией edutainment заинтересовались и в России. «Город науки, образования и инноваций» в ближайшее время появится на территории Всероссийского выставочного центра (ВВЦ) [29]. Он будет рассказывать посетителям выставки простым языком о сложных вещах, например о строении человеческого организма, о свойствах жидкости и роли воды в жизни человека, позволит построить спираль ДНК в «Городе открытий», измерить температуру и влажность в «Ателье «Метео», записать телепередачу в «Ателье «Телевизионная студия» и т.д.

2.3 Серьезные игры

Смежным с технологией виртуального окружения является направление серьезных игр (serious games) [30]. Сегодня очевиден тот факт, что серьезные игры оказывают влияние на сферу виртуальной реальности, а сама виртуальная реальность, в свою очередь, влияет на индустрию игр.

Серьезная игра — это интеллектуальное состязание, проводимое с помощью компьютера по определенным правилам с использованием развлекательных приемов для достижения государственных или корпоративных целей в области образования, обучения, здравоохранения, государственной политики или стратегической коммуникации [30].

Серьезные игры - это нечто большее, чем просто сюжет, графика и программное обеспечение, они также включают элементы педагогики (действия, направленные на обучение и инструктаж, благодаря которым передаются знания и навыки). Широко известный пример серьезной игры —

это *America's Army*. Несмотря на скептические первоначальные оценки экспертов, *America's Army* оказалась эффективным военным тренажером. Например, солдаты, проходившие в игре этап стрельбищ, показывали лучшие результаты и в реальной жизни.

2.4 Виртуальное повествование

Виртуальное повествование² — это новая форма организации пользовательского интерфейса [5, 31], сформировавшаяся в самостоятельное научное направление. Основная задача виртуального повествования — передача информации пользователю от электронной информационной системы (ЭИС). Это направление возникло благодаря развитию технологий анимации, мультимедиа и динамических документов. Затем оно объединило в себе лучшие стороны технологий виртуального окружения и искусственного интеллекта (AI) [5, 31].

Технология виртуального повествования реализует принцип *edutainment*, т.е. совмещает обучение с развлечением. Она имеет много общего с описанными выше технологиями и направлениями, а именно: тренажерами на базе технологии ВО, интерактивными моделями и серьезными играми. Но есть и свои отличительные особенности.

Даже в серьезной игре на первом месте должна стоять развлекательная компонента, и педагогика должна подчиняться сюжету. Виртуальное повествование позволяет добиться высокой степени погружения в виртуальный мир даже при достаточно простом сюжете и второстепенной роли развлекательной составляющей.

Основная отличительная особенность виртуального повествования — это *нарративная (повествовательная) направленность*. Урок в жанре виртуального повествования представляет собой рассказ, содержащий элементы интерактивности. Интерактивность нужна, чтобы установить обратную

²В литературе можно встретить такие названия, как интерактивная история (*interactive story*, *interactive narrative*), нелинейное интерактивное повествование (*non-linear interactive narrative*), интеллектуальное виртуальное окружение (*intelligent VE*), виртуальное развлекательно-обучающее окружение (*virtual edutainment environment*), контекстно-зависимая игра (*context-dependent game*), драматургическая игра (*dramaturgical gameplay*), интерактивная драма (*interactive drama*) и др. [5, 31].

связь со слушателем и формировать сюжет дальнейшего развития истории в зависимости от его предпочтений. Способ организации этой обратной связи может быть различным. В самом простом варианте повествование может быть разделено на несколько этапов, по окончании каждого из которых пользователь выбирает один из возможных ключей дальнейшего продолжения истории (например, грустный или веселый конец сказки). В более сложном — пользователь сам является активным действующим лицом истории, непосредственно влияя на ее сюжет.

Виртуальное повествование постепенно сформировалось в самостоятельную научную дисциплину со своими подходами, методами и посвященными ему научными конференциями [32–35]. Однако среди ученых пока нет ни устоявшегося мнения, о том, что же это такое, ни общепринятых подходов к разработке приложений в жанре виртуального повествования. Можно сказать, что это направление объединяет множество различных подходов и представлений о том, что же такое интерактивная история. Их можно классифицировать по следующим основным критериям:

- Степень и способ вовлеченности пользователя³ в процесс повествования. Пользователь может быть слушателем истории, консультантом — суфлером (который подсказывает героям, как им поступить в сложной ситуации), режиссером или одним из действующих лиц.
- Способ погружения пользователя в виртуальный мир: установка ВО с эффектом полного погружения (fully-immersive VR) или настольное приложение (desktop-system).
- Механизм генерации повествования — «написания истории». Он может быть основан на сюжете (plot-based) или на действиях персонажей (character-based).

2.5 Механизм генерации сюжета

Различают два основных принципа генерации сюжета виртуального повествования: character-based и plot-based.

³В литературе используются термины: пользователь (user), игрок (player), зритель (spectator), публика (audience), персонаж (character), актёр (actor) [5].

В character-based (character-driven) storytelling [36] участвуют автономные виртуальные персонажи, наделенные интеллектом. Они могут иметь какие-то цели, выбирать в соответствии с ними план действий и выражать свои эмоции [36–38]. Обычно роль каждого персонажа описана как план, который содержит несколько альтернативных действий для каждой подзадачи и представляет собой объединение всех возможных ролей персонажа.

Взаимодействуя друг с другом, выбирая стратегию поведения и выполняя соответствующие действия, виртуальные персонажи формируют сюжет повествования. Такие сюжеты обычно достаточно правдоподобны, поскольку поступки виртуальных персонажей находятся в соответствии с их персональными качествами. Кроме того, такой подход предоставляет пользователю возможность контролировать действия одного или нескольких виртуальных персонажей, обеспечивая интерактивность. Основным недостатком является то, что сюжет зачастую оказывается плохо структурированным и неинтересным, в нем отсутствует кульминация или развязка.

В противоположность character-based, в plot-based (plot-driven) storytelling⁴ виртуальные персонажи не автономны и не оказывают влияния на сюжет [38]. Автор либо заранее пишет сценарий (отсюда и название scripted plot), либо история генерируется динамически на основе грамматики рассказа (story grammar) — общей структуры рассказа.

Очевидным недостатком такого подхода является то, что виртуальные персонажи теряют свою личность, они выступают лишь как строительные блоки для создания сюжета. Кроме того, количество всевозможных сюжетов истории весьма ограничено, даже если автор напишет сложный разветвленный сценарий, предоставляя пользователю выбор траектории его прохождения.

Осуществляются попытки объединить два подхода (character-based и plot-based) [38]. Идея состоит в том, чтобы ограничить каким-либо образом автономность персонажей и их способность повлиять на сюжет.

Именно такой промежуточный механизм генерации сюжета я выбрала для приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».

⁴Также употребляется термин «сюжет, заданный как сценарий» (scripted plot).

За основу взят подход character-based storytelling. В действии принимают участие два персонажа: учитель и ученик. Действиями ученика полностью руководит пользователь, поэтому в дальнейшем я называю его реальным персонажем в противоположность виртуальному учителю — космонавту.

Виртуальный учитель в своих действиях руководствуется планом (иерархической структурой задач, п. 4.2.2), постоянно выбирая оптимальную стратегию проведения урока в зависимости от действий ученика, его заинтересованности в том или ином предмете.

Реальный персонаж может повлиять на сюжет посредством перемещения в виртуальном мире и вопросов. Однако автономность ученика и его способность повлиять на сюжет ограничены, ведь сюжет всегда формирует учитель. Например, ученик не сможет увести разговор в сторону от предмета урока, поскольку знания виртуального персонажа ограничиваются только рассматриваемой предметной областью и он всегда будет возвращать ученика к теме беседы.

Таким образом, я устанавливаю контроль за сюжетом и этот контроль выполняет виртуальный персонаж — учитель, который одновременно играет и роль автора, и роль цензуры.

Я полагаю, что предложенный механизм генерации сюжета оптимален для системы типа учитель-ученик. В пользу этого свидетельствует и тот факт, что данный механизм соответствует модели поведения учителя и ученика в реальном мире.

2.6 Обзор релевантных работ

Мнения исследователей и разработчиков о том, что же такое виртуальное (интерактивное) повествование, сильно расходятся. Фактически разные исследовательские лаборатории разрабатывают различные технологии, каждая из которых по-своему уникальна [32–35].

Тем не менее, можно четко выделить пять основных направлений, с которыми связаны исследования в области виртуального повествования. Далее рассмотрим их по порядку.

Прежде всего, это *создание автономных виртуальных персонажей*, которые правдоподобно взаимодействуют друг с другом и выражают свои эмоции. Автономные виртуальные персонажи должны уметь воспринимать окружающий их виртуальный мир, взаимодействовать с другими персонажами, а в идеале еще и иметь свой особенный характер [39].

Например, проект VICTES [13] посвящен применению технологий виртуального повествования для борьбы с буллингом в школьной среде. Буллинг — это длительное физическое или психическое насилие со стороны человека или группы людей в отношении человека-жертвы, не способного защитить себя в данной ситуации. В рамках проекта было разработано приложение FearNot!, где школьник играет роль невидимого друга виртуального актера — жертвы. Повествование разбивается на этапы, по окончании каждого из которых пользователь может дать совет виртуальному участнику повествования, выбирая из списка стратегий дальнейшего поведения. Виртуальные персонажи автономны. Они могут послушаться или не послушаться пользователя. Кроме того, они обладают определенным характером в соответствии со своими ролями, могут испытывать различные чувства, симпатию или антипатию к другим героям и умеют достаточно правдоподобно «выражать» свои эмоции.

В проекте, выполняемом в университете Тиссайд (University of Teesside), также предпринята попытка создать автономных виртуальных персонажей [36, 37, 40]. Здесь пользователь должен помочь Россу пригласить Рэйчел на свидание. Каждый персонаж в повествовании обладает планом действий, который определяет все возможные стратегии поведения. Как и в Образовательном Приложении, используется алгоритм HTN-планирования (hierarchical task network planning)⁵ [41, 42]. Персонажи взаимодействуют, каждый из них планирует и перепланирует свои действия в зависимости от действий других героев, таким образом формируется сюжет повествования. Перемещая объекты виртуального мира и давая советы героям при помощи голоса, пользователь оказывает влияние на развитие сюжета.

⁵HTN — это подход к автоматизированному планированию, основанный на том, что взаимозависимости между действиями представляются в виде сетей.

Описанные выше приложения достаточно далеки от «Виртуальных космических экспериментов и уроков из космоса» не только по тематике, но и по преследуемой цели. В описанной выше ситуации действительно важно показать эмоции, которые испытывают разные герои в ситуации буллинга и заставить ученика задуматься над различными способами разрешения конфликта. Нам же нет необходимости разыгрывать какие-либо ситуации, связанные с отношениями между виртуальными персонажами, а нужно лишь передать ученику знания в занимательной форме, поэтому автономность и взаимодействие виртуальных персонажей в Образовательном Приложении второстепенны, зато более важную роль играют обучающая составляющая и взаимодействие с пользователем.

Второе направление — это разработка *инструментария для авторов*, который бы помогал им «писать» виртуальные истории.

Например, наиболее активно развивающаяся сейчас программная среда INSCAPE Storytelling [43] позволяет пользователю сочинять и визуализировать интерактивные истории путем написания сценариев. Сам контент и образовательная направленность приложений зависят от пользователя, который пишет сценарии и создает интерактивные истории. Однако данная среда, как и большинство подобных систем, скорее пригодна для создания интерактивных мультфильмов, нежели серьезных образовательных приложений, хотя бы потому что сценарий здесь всегда задает автор при написании истории.

В-третьих, это различные *виртуальные музеи / экскурсионные туры*.

Например, проект [44] рассказывает о поселении Като Манор в Южной Африке и позволяет взглянуть на него с точки зрения разных виртуальных персонажей. Как и в Образовательном Приложении, использована Avango VR-system (п. 3.2). Однако жанр приложения скорее можно охарактеризовать как интерактивную модель, нежели как виртуальное повествование.

Более серьезный проект [45], касающийся тематики виртуальных музеев, имеет некоторое сходство с приложением «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса». Это попытка создать виртуального экскурсовода, который бы проводил экскурсию и показывал свое отношение к тому,

о чем рассказывает. Он выбирает порядок проведения экскурсии и составляет свой рассказ из описаний различных экспонатов. Основное отличие от Образовательного Приложения — это отсутствие обратной связи с пользователем и интерактивности. Виртуальный гид здесь — единственный персонаж, и сюжет повествования зависит только от профиля гида (его пола, возраста, интересов, профессии и т.д.). Пользователь может лишь задавать характеристики гида.

Четвертый аспект — это *визуализация виртуальных персонажей* [39, 46, 47]. Эта задача весьма актуальна как для приложений в жанре виртуального повествования, так и для других приложений ВО. Она стоит особняком и заслуживает отдельного подробного рассмотрения. Я не касаюсь ее в данной работе, поскольку пока я не занималась визуализацией виртуального космонавта. Это планируется сделать в рамках следующего этапа проекта «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».

Наконец, последнее направление — *различные виды интерфейса для виртуального повествования*.

Наиболее подходящим для приложений в жанре виртуального повествования выглядит естественно-языковой интерфейс. Например, в [37] пользователь может дать совет виртуальному персонажу на ЕЯ, как ему поступить. Система включает модули Speech-to-Text и обработки запросов на ЕЯ. В дальнейшем я планирую реализовать в Образовательном Приложении возможность ввода вопросов к виртуальному учителю на ЕЯ при помощи голоса.

В некоторых проектах в качестве интерфейса для виртуального повествования используется смешанная или расширенная реальность [40, 48].

Есть и экзотические идеи на тему интерфейсов для виртуального повествования — например, проект «Потерявшийся космонавт» (Lost Cosmonaut [49]). Пользователь дорисовывает заранее заготовленные картинки или дописывает любовные письма при помощи цифровой ручки на специальной платформе. А система виртуального повествования показывает ему фрагменты фильмов, изображений и воспроизводит фрагменты звуковых записей в зависимости от предполагаемого настроения пользователя.

Существуют и другие заслуживающие внимания проекты, которые стоят особняком.

В приложении [50] виртуальный 3D-дедушка рассказывает сказки и умеет выражать свои эмоции. Сказка состоит из нескольких уровней, на каждом уровне есть несколько альтернативных битов истории. В начале каждого уровня пользователь выбирает одну из нескольких карточек (карточки снабжены штрихкодами) и вводит ее в специальное устройство. В зависимости от карточки дед выбирает, какой бит ему рассказать. Это несколько ближе к разрабатываемому мной приложению, поскольку и тут и там пользователь является слушателем истории, а не ее режиссером. Однако в «Виртуальных космических экспериментах и уроках их космоса» он не просто слушатель, а слушатель — участник, создается иллюзия присутствия пользователя на орбитальной станции и его непосредственного общения с космонавтом при помощи использования естественно-языкового интерфейса и погружения в трехмерную модель станции. Кроме того, разнообразие различных сюжетов не исчерпывается набором альтернативных битов истории на каждом шаге, история генерируется из большого набора атомов — небольших фрагментов истории (3 — 5 предложений). Космонавт рассказывает произвольное количество атомов в произвольном порядке, если это не противоречит заданным связям между атомами, поэтому для различных пользователей он может проводить совершенно разные уроки и практически никогда не повторяться. По мере накопления базы атомов, рассказы космонавта будут становиться все более разнообразными и похожими на рассказ реального учителя.

Сравнивая вышеописанные технологии, можно сделать вывод, что различны не только подходы к генерации истории, но и преследуемые цели. Даже само понятие виртуального повествования понимается разработчиками совершенно по-разному. Большинство описанных выше приложений либо преследуют развлекательные цели, либо развивают средства создания приложений в жанре виртуального повествования (программные среды для разработки приложений, интерфейс).

Наше приложение стоит особняком и хотя имеет некоторые общие качества с описанными выше проектами, не имеет близких аналогов. Основная

его отличительная особенность — это сугубо образовательная направленность, а именно нацеленность на преподавание технических дисциплин. Пока в этой области как подспорье учителям в лучшем случае применяются интерактивные модели (например, [51] рассказывает школьникам о процессе фотосинтеза).

Но интерактивные модели могут выступать лишь как иллюстративный материал к урокам. Сюжет, которым обладает виртуальное повествование, позволяет в перспективе вообще заменить реальные уроки виртуальными, а реального учителя частично заменить виртуальным. Человеку же останется гораздо более благодарная роль консультанта и методиста.

«Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» — это не первое приложение в жанре виртуального повествования, разрабатываемое в Институте физико-технической информатики. Специалистами ИФТИ в рамках сотрудничества с Фраунгоферовским институтом медиакоммуникаций (Санкт Августин, Германия) ранее было создано образовательное приложение «Виртуальный планетарий» (рис. 2.1), предназначенное для обучения школьников астрономии [5, 24, 52].

Приложение представляет 3200 ярчайших звезд (вплоть до звездной величины 5,6, то есть видимые невооруженным глазом при наилучших условиях наблюдения), 30 объектов Солнечной системы (9 планет и крупнейшие спутники, а также кольца Сатурна) и 88 созвездий. Все объекты отображаются так, как будто наблюдатель видит их из иллюминатора космического корабля. Модели объектов основаны на реальных астрономических данных. База данных содержит текстовые и звуковые описания астрономических объектов. Стереоскопическая проекционная система создаёт иллюзию открытого космического пространства.

Обучающее приложение «Виртуальный планетарий» может использоваться в одном из трех режимов навигации:

- ручная навигация: пользователь вручную перемещается по Солнечной системе и прослушивает интересующую его информацию о наблюдаемых объектах;
- полуавтоматическая навигация: пользователь выбирает маршрут путе-

- шествия по виртуальной Солнечной системе, используя панель навигации, сходную с окном HTML-браузера;
- автоматическая навигация: экскурсия по строго прописанному маршруту.



Рис.2.1. Школьники в «Виртуальном планетарии»

В режиме ручной навигации приложение «Виртуальный планетарий» фактически представляет собой интерактивную модель Солнечной системы, а в режиме автоматической навигации это повествование, но не интерактивное.

В режиме полуавтоматической навигации приложение реализует наиболее простой способ виртуального повествования, где пользователь выбирает один из возможных вариантов развития сюжета (полет на Марс, полет к Луне, возвращение на Землю и др.), т.е. является сценаристом и режиссером виртуальной истории.

В отличие от «Виртуального планетария», приложение «Виртуальные космические эксперименты» включает пользователя в сценарий как полноправное действующее лицо и создает иллюзию непрерывного диалога пользователя с виртуальным персонажем. В дальнейшем разработанную технологию можно будет применить и в системе «Виртуальный планетарий».

Глава 3

Избранные технические решения

3.1 Система виртуального окружения VEonPC

Приложение «Виртуальные уроки из космоса» предназначено для использования в учебных классах. Поэтому нужна недорогая установка ВО, которую можно использовать для демонстрации достаточно большой аудитории (порядка 20 человек).

Наиболее подходящим вариантом является система виртуального окружения VEonPC [52–55], разработанная в рамках совместного проекта Фраунгоферовского института медиакоммуникаций (IMK, г. Санкт-Августин, Германия) и Института физико-технической информатики.

По сравнению с зарубежными аналогами (CyberStage, iCONE, Responsive Workbench, Teleport) система VEonPC обладает достаточно невысокой стоимостью и доступна по цене отечественным ВУЗам и школам [24, 52, 56]. Снижение стоимости было достигнуто за счет применения общедоступных высокопроизводительных компьютеров и использования свободно распространяемого программного обеспечения.

Типичный вариант используемой специалистами ИФТИ в настоящее время (2008 г.) системы VEonPC включает проекционную подсистему, графическую станцию, аудиосистему, специализированное программное обеспечение.

Проекционная подсистема системы VEonPC включает:

- Два LCD-проектора, обладающих светимостью не менее 4000 ANSI люмен, снабженных поляризационными фильтрами и установленных на

юстировочной платформе.

- Специальный экран с минимальными деполяризационными свойствами (silver screen). Размер экрана может варьироваться (чаще всего используются экраны размера 2.8×2.1 м — 3.2×2.8 м)
- Комплект поляризационных очков.

В проекционной подсистеме используется прямая проекция изображения и пассивная схема разделения изображений на основе линейной поляризации: два изображения одновременно выводятся на экран и сепарируются за счет линейной поляризации света. Именно так устроена система создания стереоэффекта для зрителей наиболее распространенной международной сети кинотеатров IMAX [57]. Действительно, пассивное стерео на основе линейной поляризации наиболее подходит для установок, рассчитанных на большое число зрителей, по сравнению с другими технологиями создания стереоэффекта:

- Технология активного стерео использует дорогие очки, нуждающиеся в источнике питания и синхронизации.
- Пассивное стерео, использующее круговую поляризацию света, обладает меньшим коэффициентом подавления и имеет цветовые артефакты, вносимые пластинкой в четверть длины волны. Его единственное преимущество — сохранение разделения изображений при боковом наклоне головы зрителя. Однако если в системе не используется трекинг головы/глаз пользователя (в том числе в системах, рассчитанных на большое число зрителей), то изображение на экране постоянно имеет горизонтальный параллакс. При этом наклон головы, нарушающий горизонтальное расположение глаз пользователя, также нарушает стереовосприятие.
- Системы пассивного стерео, основанные на мультиплексировании по длине волны (инфитек-метод [58]), хотя и обеспечивают лучшее качество по сравнению с линейной поляризацией, пока обладают высокой стоимостью, что не позволяет использовать их для показа достаточно большой аудитории.

В качестве графической станции используется общедоступный высокопро-

производительный персональный компьютер с видеокартой — одной из новейших моделей NVIDIA Quadro FX [59]. Как устройства ввода информации могут применяться различные манипуляторы. Аудиосистема подбирается в зависимости от потребностей заказчика.

С системой VEonPC поставляется следующее программное обеспечение:

- операционная система GNU/Linux;
- система виртуальной реальности Avango (п. 3.2).

В качестве альтернативного варианта (наиболее подходящего для тренировки космонавтов) я предусматриваю возможность использования шлемов виртуальной реальности (head-mounted display — HMD) для обучения одного человека, а в дальнейшем и группы учеников в системе распределенного виртуального окружения.

В России решения в области портативных устройств ВО и AR предлагает компания «Электро-оптические системы» [60]. Такое решение будет обеспечивать большую степень погружения в виртуальный мир, полностью блокируя восприятие реального, однако оно также отличается более высокой стоимостью.

3.2 Система виртуальной реальности Avango как платформа разработки

Avango [52, 61, 62] — это программная среда, представляющая собой мощное средство для разработки интерактивных распределенных приложений виртуального окружения. Система была разработана в Институте медиакоммуникаций Немецкого центра информационных технологий (GMD, г. Санкт-Августин, Германия), а затем перенесена на PC-Linux кластеры при участии специалистов ИФТИ и Кафедры системной интеграции и менеджмента МФТИ в рамках международного проекта VEonPC [53–55]. Avango является надстройкой над SGI OpenGL Performer, который в свою очередь является надстройкой над OpenGL. Avango использует Performer для обработки графа сцены, что позволяет достичь высокой производительности при работе

со сложной графикой.

Avango предоставляет разработчикам C++ API, а также язык Scheme для написания скриптов. Путем написания сценариев на языке Scheme можно разрабатывать простые приложения: создавать объекты Avango высокого уровня и манипулировать ими, например вызывать методы и устанавливать связи между объектами. Если же нужно создать новые классы или обращаться к функциям более низкого уровня, то используется C++ API. Само же по себе приложение в этом случае по-прежнему представляет набор скриптов на Scheme, которые лишь создают объекты нужного типа и устанавливают связи между ними. Скрипты могут быть дополнены и отлажены непосредственно во время работы приложения, что значительно ускоряет процесс разработки.

Два основных типа объектов Avango — это датчики (сенсоры) и узлы (nodes). Датчики (сенсоры) обеспечивают взаимодействие Avango с внешним миром и импорт данных с различных устройств ввода в приложение Avango. Узлы — это элементы объектно-ориентированного графа сцены, который используется в Avango как средство описания 3D-сцены.

Все объекты Avango представляют собой полевые контейнеры [61, 62]. Полевой контейнер инкапсулирует информацию о состоянии объекта в виде набора полей. Два поля различных объектов могут быть связаны между собой при помощи полевой связи. Полевая связь — это однонаправленная связь между полями такая, что если поле первого объекта изменяется, то немедленно изменяется и поле второго объекта. Совокупность полевых связей формирует граф потоков данных, концептуально ортогональный графу сцены [24]. Граф потоков данных задает поведение объектов, а следовательно позволяет создавать интерактивные приложения.

Avango позволяет разрабатывать распределенные приложения виртуального окружения, где несколько пользователей сосуществуют в одном виртуальном мире и взаимодействуют с ним и друг с другом. Реализация базируется на концепции полей и полевых контейнеров. Процессы, участвующие в распределенном виртуальном окружении, формируют распределенные группы [61, 62]. Объекты Avango могут быть локальными (т.е. существующими

только для одного процесса) или распределенными, т.е. принадлежать распределенной группе. Каждый процесс, входящий в распределенную группу, создает локальные копии всех распределенных объектов. Как только какой-то процесс локально изменяет поле общего объекта, он информирует о новом состоянии объекта все остальные процессы.

Глава 4

Реализация системы

Приложение «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» обеспечивает полное погружение обучающегося в виртуальную сцену и интерактивный процесс обучения. В действии, как и в классическом образовательном процессе, участвуют два персонажа: учитель и ученик.

Цель учителя (виртуального персонажа) — объяснить ученику некоторый учебный материал, состоящий из набора уроков: рассказов, презентаций и экспериментов. Учитель не обязательно рассказывает один и тот же материал каждому из учеников. В зависимости от того, к чему ученик проявляет интерес в процессе обучения, система в режиме реального времени генерирует персонально для него урок.

Сценарий обучения напрямую зависит от действий ученика — пользователя системы. Ученик занимает активную позицию в процессе обучения, ведь именно интерактивность и погружение в виртуальный мир исследуемого явления являются основными преимуществами виртуального повествования перед другими технологиями обучения. В дальнейшем предполагается расширить систему для одновременного обучения нескольких учеников под руководством нескольких учителей-инструкторов.

Процесс обучения выглядит как непрерывный диалог ученика с виртуальным преподавателем. Система реагирует на следующие действия пользователя:

- Перемещение пользователя, изменение направления его наблюдения (например, какие приборы он рассматривает). Исходя из этих данных, вир-

туальный преподаватель рассказывает ученику о том, что ему действительно интересно.

- Вопросы, которые задает пользователь. Система включает вопросно-ответную подсистему. Таким образом, учитель может отвечать на вопросы ученика на естественном языке (ЕЯ) и продолжать свой рассказ в зависимости от того, чем ученик интересуется.

Таким образом, Образовательное Приложение на основе технологии виртуального повествования обладает следующими отличительными особенностями:

- Виртуальное окружение с эффектом полного погружения.
- Пользователь — активное действующее лицо повествования.
- Механизм генерации сюжета записан в виде плана виртуального персонажа и непосредственно зависит от действий реального персонажа.

На данный момент в системе не реализована визуализация виртуального персонажа. Как следующий этап развития системы я планирую визуализировать виртуального космонавта, включая правдоподобное моделирование мимики и движения человека в невесомости.

Разработанная технология может успешно применяться как в средней и высшей школе («Виртуальные уроки из космоса»), так и для специализированного обучения, например, для тренировки космонавтов («Виртуальные космические эксперименты»). В зависимости от аудитории и от цели урока изменяется сюжет виртуального повествования, при этом сама технология остается неизменной.

Далее подробно изложена реализация системы. В п. 4.1 описана функциональная архитектура системы, отдельные модули рассмотрены более подробно в п. 4.2, а их взаимодействие между собой — в п. 4.3.

4.1 Функциональная архитектура системы

Приложение «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» состоит из следующих модулей (см. рис. 4.1):

- модуль восприятия виртуального персонажа;
- вопросно-ответная подсистема;
- модуль генерации сюжета;
- модуль преобразования текста в речь (text-to-speech);
- модуль визуализации.

Первые четыре модуля вместе — это и есть виртуальный учитель-космонавт.

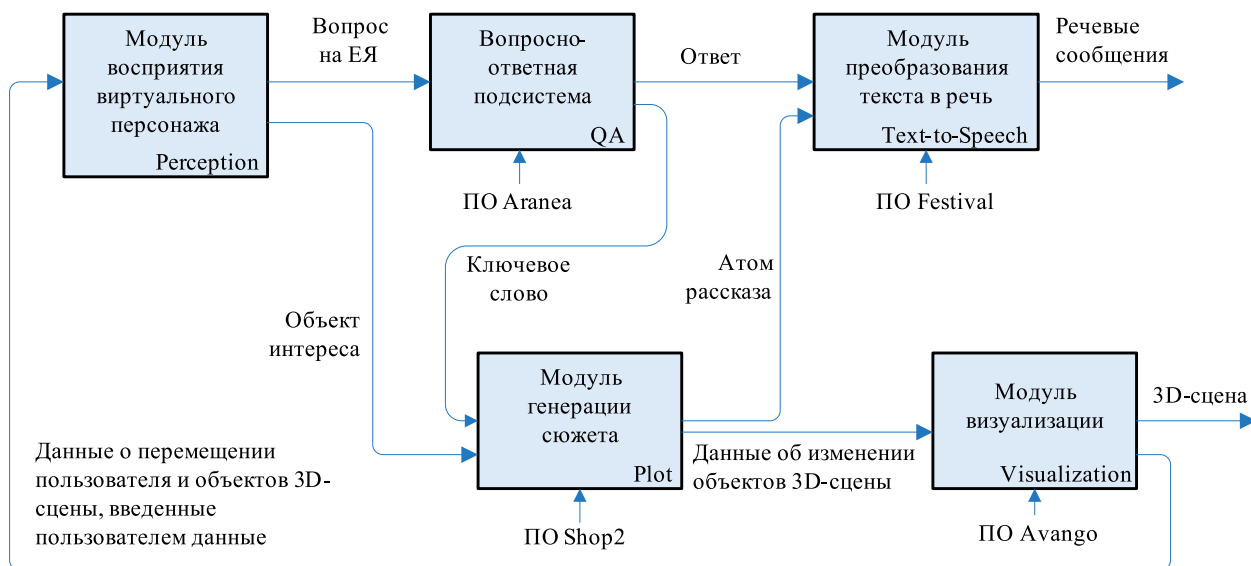


Рис.4.1. Функциональная архитектура системы

Модуль восприятия позволяет виртуальному персонажу определить, на какой объект в каждый момент времени направлено внимание ученика, и принимать от него вопросы на естественном языке.

Модуль генерации сюжета генерирует сюжет урока в зависимости от перемещения и вопросов пользователя, т.е. составляет урок из набора атомов.

Вопросно-ответная подсистема позволяет учителю отвечать на вопросы ученика, заданные на естественном языке. Кроме того, она передает ключевое слово в модуль генерации сюжета, чтобы космонавт продолжал рассказ в зависимости от того, чем ученик интересуется.

Благодаря модулю преобразования текста в речь космонавт может разговаривать, т.е. рассказывать урок и отвечать на заданные пользователем

вопросы.

Модуль визуализации обеспечивает отрисовку 3D-сцены и взаимодействие пользователя с ней.

Далее (п. 4.2.1 — 4.2.5) каждый из этих модулей описан более подробно.

4.2 Компоненты системы

4.2.1 Модуль визуализации

Модуль визуализации использует стандартные средства Avango VR-system. Основная часть работы над модулем визуализации — это разработка 3D-моделей, используемых при проведении виртуального урока. Далее при помощи модификации скриптов на языке Scheme (см. п. 3.2) их легко можно добавить в виртуальную сцену и задать их поведение в зависимости от сценария конкретного урока.

Для приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» нужны модели орбитальной станции (Международной космической станции, рис. 4.2), включая интерьер, и Земли. На данный момент в распоряжении у специалистов ИФТИ есть все модели, кроме интерьера.

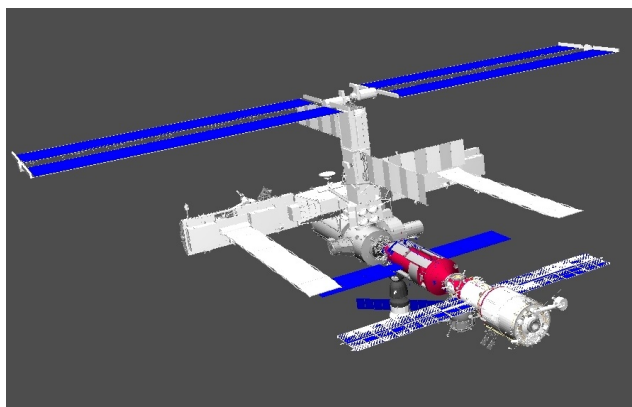


Рис.4.2. Трехмерная модель Международной космической станции

Двадцатого мая 2008 г. сотрудник ИФТИ Д. Б. Волегов, специалист Центра подготовки космонавтов (ЦПК) Д. Ю. Щербинин и я провели фотосъемку макета Международной космической станции, находящегося в ЦПК (Звездный городок, Московская область), рис. 4.3. В настоящее время Д. Во-

легов ведет активную работу над восстановлением трехмерной модели интерьера станции по данным фотосъемки. Восстановленную модель Международной космической станции мы будем использовать как на «Виртуальных уроках из космоса» для обучения школьников, так и в «Виртуальных космических экспериментах» с целью подготовки космонавтов.



Рис.4.3. Фотография макета Международной космической станции, сделанная при помощи фотоаппарата со стереонасадкой

4.2.2 Модуль генерации сюжета

Сюжет повествования в приложении «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» строится виртуальным учителем — космонавтом из небольших фрагментов рассказа — атомов. Планируя или перепланируя сюжет, космонавт выбирает последовательность атомов, которые нужно рассказать ученику. Первый раз виртуальный учитель планирует сюжет в начале урока. Затем каждый раз, когда изменяется ключевое слово вопроса или имя объекта наблюдения, он перепланирует остаток урока, принимая во внимание то, что он уже рассказал.

Приложение «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» может иметь широкую сферу применения. Оно может с успехом использоваться на уроках физики в школе, в научно-технических музеях и на выставках, а также для самообразования.

Цели применения Образовательного Приложения в вышеперечисленных ситуациях будут различны. Например, на уроках из космоса в средней школе необходимо рассказать ученикам обязательный минимум — сведения из

школьной программы. При этом учитель может рассказывать дополнительный материал по той теме, которой ученик интересуется, но не должен слишком сильно уходить в сторону от программы урока.

Образовательное Приложение на выставке или в музее должно быть в большей степени интерактивным. Здесь уже не нужен какой-либо обязательный минимум, можно рассказывать все что угодно, главное — чтобы это было интересно.

Поскольку цели применения Образовательного Приложения разные, то и алгоритмы генерации сюжета в описанных выше случаях будут различны. Решение о выборе того или иного алгоритма должно приниматься сценаристом при написании урока и основываться на тех задачах, которые в конкретном случае стоят перед Образовательным Приложением.

Алгоритм HTN-планирования [41, 42], который используется для планирования и перепланирования сюжета, позволяет легко адаптировать приложение для самых различных образовательных задач. Это осуществляется путем переформулирования целей урока и критериев отбора атомов.

В HTN-планировании система планирования характеризуется начальным состоянием мира и целью — создать план для выполнения некоторого набора задач (задача — абстрактное представление того, что нужно сделать). Само планирование выполняется путем рекурсивной декомпозиции задач до примитивных задач, которые могут быть непосредственно выполнены.

В Образовательном Приложении для HTN-планирования применяется система планирования SHOP2 [63] и Allegro Common Lisp [64], который позволяет использовать Lisp как совместно используемую библиотеку (unix-shared-library).

На данный момент я использую достаточно простой алгоритм планирования, который хорошо подходит для уроков физики в школе.

Знания виртуального учителя-космонавта — это большой набор атомов рассказа. Для конкретного урока (например, урока о свойствах жидкости) выбирается обязательный минимум — некоторый набор атомов, которые составляют костяк урока. Их космонавт обязательно должен рассказать.

Каждый атом характеризуется:

- Набором ключевых слов.
- Набором атомов, которые обязательно должны быть рассказаны до него (иначе ученик не поймет, о чем идет речь).

На вход модуля генерации сюжета подаются следующие данные:

- последовательность уже рассказанных атомов;
- ключевое слово вопроса и имя объекта наблюдения.

В процессе планирования/перепланирования состояние системы в каждый момент характеризуется последовательностью уже рассказанных атомов.

Планирование осуществляется при помощи алгоритма HTN согласно следующим критериям. Каждый следующий атом выбирается согласно условиям:

1. Он еще не был рассказан.
2. Все атомы, которые обязательно должны быть рассказаны до него, уже рассказаны.
3. Он имеет как минимум два общих ключевых слова с предыдущим атомом (это условие обеспечивает связность рассказа).

Для первого атома при вызове перепланирования сюжета условие (3) заменяется на следующее условие. Если есть атом, который содержит в качестве ключевых слов и ключевое слово вопроса, и имя объекта наблюдения, то в качестве первого атома выбирается он. Если такого нет, но есть атом, который содержит в качестве ключевого слова ключевое слово вопроса, то выбирается он. Наконец ищется атом с ключевым словом — именем объекта наблюдения. Если ни одно из трех вышеперечисленных условий не выполняется, то выбирается любой атом согласно общим критериям.

Урок считается рассказанным, когда учитель изложил обязательный минимум. При этом (если пользователь не вел себя пассивно) он отвечал на вопросы пользователя и давал дополнительную информацию по теме вопросов, рассказывал об объектах наблюдения пользователя. А таким образом (согласно условию связности атомов) изменялся и весь сценарий урока.

Можно дополнительно задавать продолжительность урока. Тогда учитель будет игнорировать вопросы пользователя (т.е. будет отвечать на них, но не

будет менять программу урока), если ученик задает слишком много вопросов не по теме, а учитель не успевает изложить обязательный минимум.

В дальнейшем я планирую создать набор стандартных алгоритмов планирования для различных образовательных целей.

На данный момент учитель умеет только генерировать урок, т.е. строить логичный и связный рассказ. Используемый в Образовательном приложении алгоритм HTN-планирования позволяет обучить его проводить различного рода демонстрации, а в перспективе, когда виртуальный персонаж будет визуализирован, — перемещаться по станции и вести себя достаточно правдоподобно.

4.2.3 Вопросно-ответная подсистема

Вопросно-ответная система (Question-answering system - QA) представляет собой информационную систему, обладающую свойствами справочных и интеллектуально-поисковых систем. Основное назначение QA системы — «понимать» вопросы на естественном языке и отвечать на них. Как источник информации используется закрытый корпус текстов или документы из Интернет.

В рамках приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» вопросно-ответная подсистема позволяет виртуальному учителю — космонавту отвечать на вопросы пользователя класса *factoid questions* (т.е. вопросы, касающиеся различных фактов). Вопросы и ответы формулируются на естественном языке (ЕЯ). На данный момент используется английский язык, хотя в перспективе я планирую адаптировать систему для работы с русским.

Разработка вопросно-ответной подсистемы велась на базе The Aranea Question Answering System [65], которая была существенно доработана и расширена. Это свободно распространяемая система с открытым исходным кодом, что позволило мне внести необходимые изменения и адаптировать систему для использования в Образовательном приложении.

Вопросно-ответная система Aranea использует основанный на избыточно-

сти (redundancy-based) подход. Принцип работы заключается в следующем.

Сначала на основе вопроса определяется семантический тип ожидаемого ответа. Путем переформулирования создается несколько различных шаблонов ответа.

Затем при помощи какой-либо поисковой системы осуществляется поиск документов, содержащих эти шаблоны. Далее обрабатываются фрагменты информации из документов (snippets), полученные поисковой системой.

На основе фрагментов информации генерируются N-граммы (N-grams) — подпоследовательности, состоящие из N членов заданной последовательности. Это кандидаты в ответы. Кандидаты ранжируются в зависимости от частоты, с которой они встречаются, и значения статистической меры IDF (таким образом кандидатам с менее общеупотребительными словами отдается предпочтение перед кандидатами с более общеупотребительными словами). Далее исключаются повторяющиеся кандидаты. Наконец, оставшиеся кандидаты фильтруются в зависимости от типа вопроса и типа сущности в ответе (например, ответом на вопрос “what language ...?” должно быть название языка).

Отличительной особенностью Aranea является тот факт, что для поиска документов система использует Web, а не закрытый корпус текстов. Это усложняет обработку, поскольку документы в World Wide Web по своей природе неоднородны, некоторые из них содержат сомнительные и даже заведомо ошибочные сведения. Однако когда анализируется большое число документов, неверные ответы становятся шумом. Кроме того, поскольку ответ на каждый вопрос встречается много раз (в различных документах, в различных формулировках), то документы, в которых ответы сформулированы неявно, можно вообще исключить из обработки (именно поэтому подход называется redundancy-based). Опыт показывает, что наилучшая производительность вопросно-ответной подсистемы достигается при обработке порядка 100-300 наиболее релевантных результатов поиска.

Система Aranea показала один из лучших результатов на сравнительном тестировании QA-систем в рамках конференции по поиску текстов (Text REtrieval Conference — TREC [66–68]) в 2002, 2003 и 2004 годах. Однако

существовал ряд недостатков, которые не позволяли использовать Aranea в Образовательном Приложении.

В системе использовался поиск при помощи Google [69] и Teoma [70] без использования API, выполнялся парсинг страниц с результатами поиска. Такой подход следует признать малоэффективным по следующим причинам:

- Он не позволяет обрабатывать более одного запроса в течение 30 секунд из-за ограничений, которые Google устанавливает на частоту обращений к своему серверу. Такая задержка не позволяла использовать систему Aranea для приложений, работающих в режиме реального времени и в частности для приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».
- Формат страниц с результатами поиска периодически изменяется (за период работы над проектом он менялся несколько раз). Соответственно, приходится постоянно модифицировать программный модуль.

Мной были разработаны программные модули веб-поиска при помощи Yahoo [71], AltaVista [72] и Hyper Estraier [73] (desktop search), использующие API-интерфейсы соответствующих поисковых систем. Это позволило существенно повысить скорость поиска, что снизило время обработки вопроса QA-подсистемой до приемлемого для использования в Образовательном Приложении. Поиск при помощи Hyper Estraier позволяет использовать вопросно-ответную подсистему при отсутствии доступа в Интернет (при этом нужно хранить все релевантные документы, касающиеся тематики урока, локально). Однако следует заметить, что вопросно-ответная подсистема ориентирована на обработку большого числа документов, поэтому локальный поиск значительно менее эффективен, чем веб-поиск.

Вопросно-ответная система передает ключевое слово в модуль генерации сюжета, чтобы учесть заинтересованность пользователя при планировании/перепланировании урока. Ключевым словом считается подлежащее вопроса или ответа, в случае если вопрос является вопросом к подлежащему. Подлежащее считается ключевым словом только тогда, когда оно выражено существительным (собственным или нарицательным).

4.2.4 Модуль восприятия виртуального персонажа

Модуль восприятия позволяет виртуальному персонажу воспринимать введенный пользователем с клавиатуры вопрос, чтобы отправить его на обработку в вопросно-ответную подсистему, и отслеживать направление внимания пользователя.

Каждый раз при перемещении пользователя определяется объект наблюдения. Кандидатами в объекты наблюдения считаются все непосредственные потомки PlotDCS в графе сцены (п. 4.3.2). Объект считается объектом наблюдения, если:

1. Объект расположен в центре наблюдения (т.е. пересекается с лучом, задающим направление наблюдения пользователя). В момент инициализации системы пользователь находится в начале координат и смотрит в направлении $(0 \ 1 \ 0)^T$. В процессе работы на основании матрицы, которая задает поворот и перемещение системы координат, связанной с объектом av-mover (см. п. 4.3.3), определяется положение пользователя и направление его наблюдения.
2. Угловой размер объекта достаточно большой (больше, чем $\min\{FOV[1], FOV[2]\}/10$). Здесь FOV (field of view, поле зрения) — это свойство стандартного объекта Avango fpScreen, определяющие два угла раствора пирамиды видимости.
3. Объект находится ближе, чем все остальные объекты, удовлетворяющие условиям (1) и (2).
4. Объект целиком находится в пределах пирамиды видимости (объект считается объектом наблюдения только в том случае, когда пользователь видит его целиком).

Центром объекта считается центр ограничивающей его сферы (поле Bound класса fpLoadFile, см. п. 4.3.2), а радиусом - радиус сферы. Такое приближение обеспечивает достаточную точность при определении объекта наблюдения.

Если ученики будут использовать НМД в качестве устройства вывода информации, то можно дополнительно применять датчики движения зрачков пользователя, чтобы точнее определять объект наблюдения. Однако при использовании установки VEonPC и демонстрации большой аудитории (в учебном классе) описанный выше подход к определению объекта наблюдения вполне оправдан.

4.2.5 Модуль Text-to-Speech

Модуль Text-to-Speech использует Festival Speech Synthesis System [74]. Это свободно распространяемая система синтеза речи, разработанная в Центре исследования речевых технологий Эдинбургского университета (The Centre for Speech Technology Research, The University of Edinburgh). Система Festival предназначена как для разработчиков речевых технологий, позволяя им эффективно добавлять новые модули в систему, так и для пользователей систем Text-to-Speech. Festival также позволяет создавать и добавлять новые голоса (разработкой инструментария для создания новых голосов для Festival занимаются специалисты из университета Карнеги — Меллон, г. Питтсбург — проект Festvox [75]).

В настоящее время Festival поддерживает английский язык (британский и американский) и испанский. Ряд научно-исследовательских групп по всему миру работает над расширением этого перечня. В том числе, Николай Шмырев (Московский государственный университет) активно развивает поддержку русского языка в Festival [76].

Festival поддерживает клиент-серверный интерфейс. Для обращения к Festival server я разработала библиотеку libTS. Она передает серверу на обработку команды на языке Scheme, например команды выбора голоса и произнесения текста.

Для виртуального космонавта я выбрала голос voice_cstr_us_jmk_arctic_multisyn (мужской голос, американский английский), разработанный создателями Festival и Festvox в рамках проекта MBROLA [77].

В перспективе я планирую адаптацию приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» для работы с русским языком. Можно будет использовать описание русского языка [76] и русские голоса, созданные Николаем Шмыревым. Пока эти голоса несовершенны, но посредством ручной разметки базы для синтеза речи, их можно существенно улучшить, однако это довольно трудоемкий процесс. В дальнейшем можно будет смоделировать голоса космонавтов, например А. А. Сереброва.

4.3 Взаимодействие компонентов системы

4.3.1 Интеграция компонентов системы с Avango

Разработка приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» велась на базе Avango VR-system (п. 3.2). Для интеграции компонентов системы с Avango я разработала следующие классы:

- *fpKeyboardInput* — обработка ввода пользователем вопроса для QA-подсистемы.
- *fpUserAttention* — определение объекта наблюдения.
- *fpQuestionAnswering* — интерфейс для взаимодействия с вопросно-ответной подсистемой.
- *fpPlotGeneration* — интерфейс для обращения к модулю генерации сюжета.
- *fpTextToSpeech* — интерфейс для обращения к модулю преобразования текста в речь.

Все классы являются наследниками базового класса *fpObject* (стандартный класс Avango). Реализация вышеперечисленных классов будет подробнее рассмотрена в п. 4.3.2 — 4.3.4.

Кроме того, я разработала динамические библиотеки, с которыми взаимодействуют указанные выше классы:

- *libQA* осуществляет доступ к вопросно-ответной подсистеме (п. 4.2.3), написанной на Perl, при помощи утилит `ExtUtils::Embed`, инициализи-

рует вопросно-ответную подсистему, передает ей на обработку вопрос на ЕЯ, получает ответ и ключевое слово.

- *libTS* фактически является программой-клиентом для Festival Speech Synthesis System (п. 4.2.5), осуществляет доступ к Festival server и передает ему на исполнение команды на языке Scheme, в частности, команды выбора голоса и произнесения текста.
- *libPG* осуществляет доступ к модулю генерации сюжета (п. 4.2.2).

Таким образом, схему взаимодействия модуля визуализации с остальными модулями можно представить в виде, изображенном на рис. 4.4.

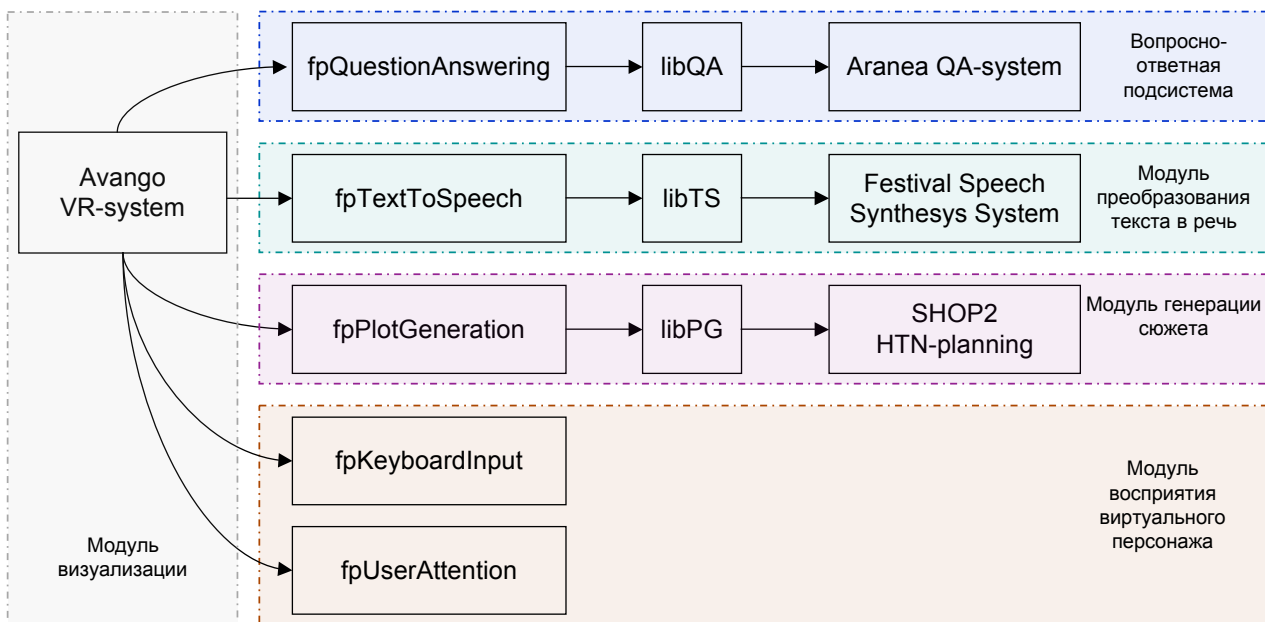


Рис.4.4. Схема взаимодействия модуля визуализации с остальными модулями

4.3.2 Граф сцены

Как средство описания 3D-сцены в Avango используется дерево (граф) сцены (п. 3.2). Пример графа сцены для приложения «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» приведен на рис. 4.5.

Объект `av-root` — узел дерева сцены, к которому прикрепляется большинство создаваемых пользователем объектов.

Узел типа `fpDCS` (Dynamic Coordinate System) задает систему координат для своих потомков в графе сцены. Выполняя преобразования этой систе-

мы координат, можно одновременно перемещать, поворачивать и масштабировать все объекты-потомки. SceneDCS — система координат, к которой привязана вся видимая геометрия сцены за исключением Qtext.

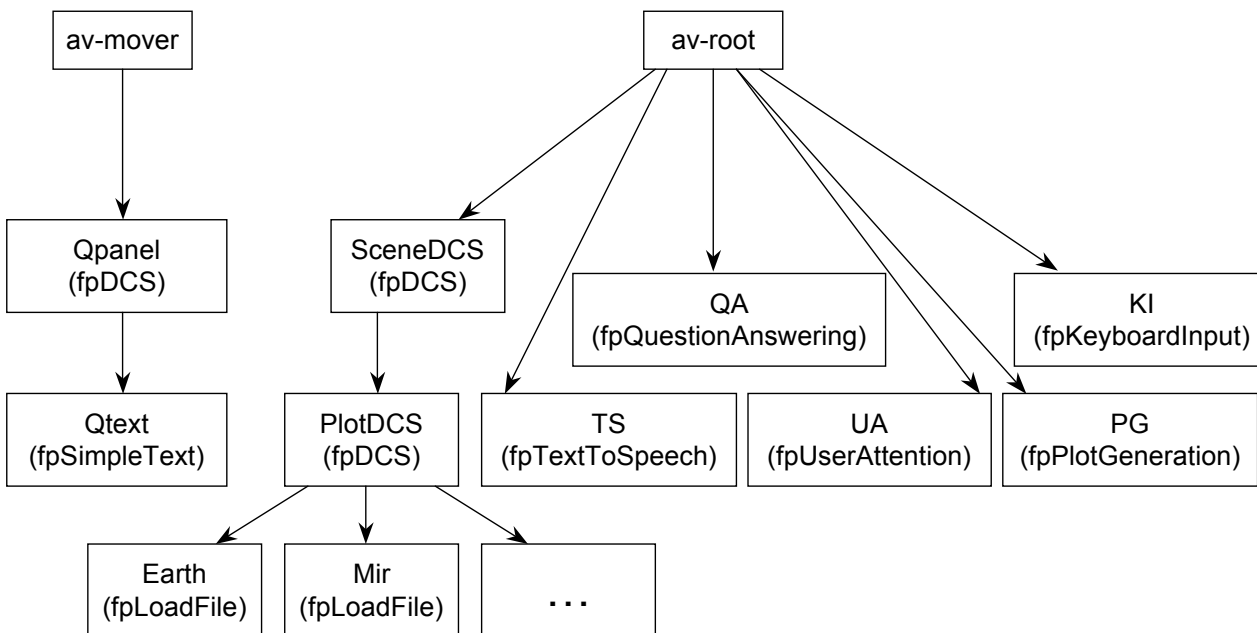


Рис.4.5. Граф сцены

PlotDCS служит для объединения объектов, участвующих в генерации сюжета виртуального повествования (п. 4.2.4). В примере на рис. 4.5 такими объектами являются Земля (Earth) и орбитальная станция «Мир» (Mir). Класс fpLoadFile загружает соответствующие модели из файлов (преимущественно используется формат iv).

Объект av-mover обеспечивает передвижение пользователя в виртуальной сцене. С ним связана система координат текста (Qpanel), а через нее и текст (Qtext). Привязка текста к объекту av-mover обеспечивает неподвижность текста на экране при передвижении пользователя в виртуальном мире.

Класс fpSimpleText позволяет отображать текст в трехмерной сцене. Qtext служит для отображения вводимого пользователем вопроса к виртуальному персонажу.

Объекты KI и UA обеспечивают работу модуля восприятия виртуального персонажа, QA — вопросно-ответной подсистемы, PG — модуля генерации сюжета, TS — системы преобразования текста в речь.

Посредством языка Scheme (п. 3.2) можно добавлять в виртуальную сцену новые объекты, параллельно изменяя сюжет урока, написанный на Lisp (см. п. 4.2.2), добавляя туда новые атомы текста и обработку вновь созданных объектов. Это позволяет легко и быстро, без перекомпиляции самой системы и модификации кода на C++, создавать новые образовательные приложения в самых различных областях на базе разработанной мной технологии.

4.3.3 Потоки данных

Модулям системы необходимо взаимодействовать как с Avango (п. 3.2), так и между собой. Потоки данных в Образовательном Приложении реализованы при помощи стандартного механизма Avango — полевых связей.

Все объекты Avango представляют собой так называемые *полевые контейнеры* [24, 52, 79]. Состояние объекта задается набором значений атрибутов состояния. А сами поля — это контейнеры, реализующие интерфейс для доступа к атрибутам состояния посредством методов `getValue()` и `setValue()`.

Изменение значений атрибутов состояния объекта можно отслеживать с использованием методов `evaluate()` и `fieldHasChanged()`. Метод `evaluate()` для полевого контейнера вызывается один раз за кадр, если изменилось хотя бы одно из полей. Метод `fieldHasChanged()` вызывается немедленно, как только значение поля изменилось, а в качестве аргумента передается ссылка на измененное поле.

Два поля различных объектов могут быть связаны между собой при помощи *полевой связи*. Полевая связь — это однонаправленная связь между полями такая, что если поле первого объекта изменяется, то немедленно изменяется и поле второго объекта, т.е. вызываются методы `setValue()` и `fieldHasChanged()` для второго объекта. Механизм полевых связей используется в Avango в том числе для связи с внешними устройствами.

Потоки данных, реализуемые при помощи полевых связей, принято представлять в виде графа потоков данных, концептуального ортогонального графу сцены [24]. Для Образовательного Приложения граф потоков данных

будет иметь вид, изображенный на рис. 4.6.

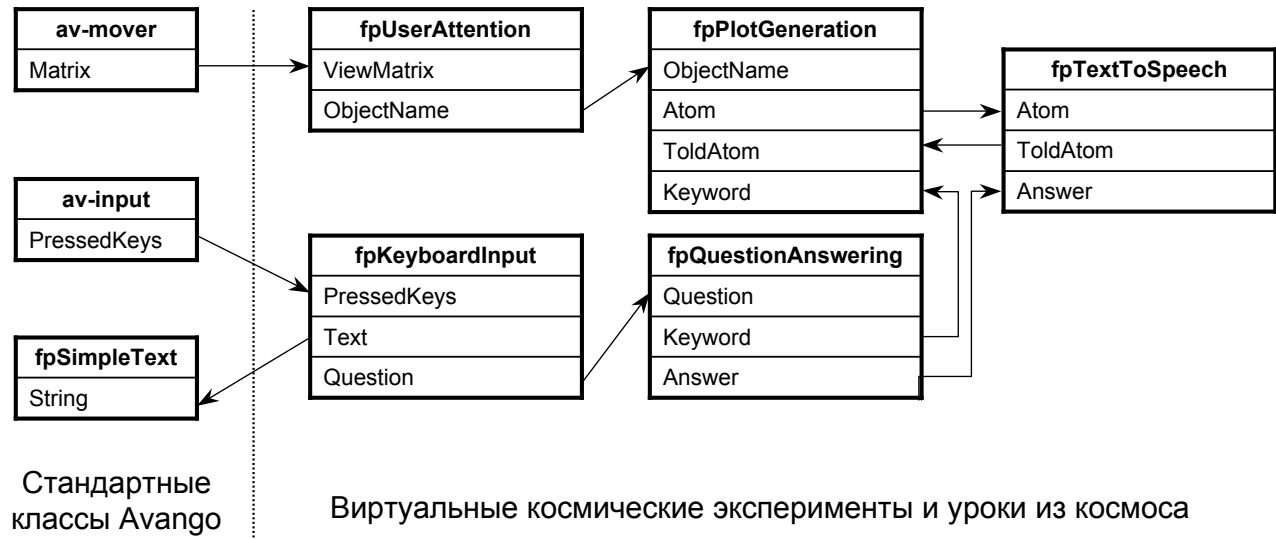


Рис.4.6. Полевые связи в графе потоков данных

Стандартный объект Avango `av-mover` обеспечивает передвижение пользователя в виртуальной сцене, он может быть связан с различными устройствами ввода. Поле `Matrix` объекта `av-mover` содержит матрицу 4×4 , которая задает поворот и перемещение системы координат наблюдателя. Поле `ViewMatrix` класса `fpUserAttention` связано (при помощи полевой связи) с полем `Matrix` объекта `av-mover`¹, оно изменяется при изменении точки или направления наблюдения пользователя. В методе `findObject` класса `fpUserAttention` производится переопределение объекта наблюдения. Если он изменяется, значению поля `ObjectName` присваивается имя нового объекта.

Потенциальными кандидатами в объекты наблюдения считаются вершины — непосредственные потомки `PlotDCS` в дереве графа сцены (см. рис. 4.5). Поэтому все объекты, которые могут повлиять на сюжет виртуального повествования, должны быть непосредственными потомками `PlotDCS`. Кроме того, они должны иметь уникальные имена. Имя объекта наблюдения (`ObjectName`) передается в модуль генерации сюжета по полевой связи между `fpUserAttention` и `fpPlotGeneration`.

¹на самом деле, с полем `Matrix` объекта `av-mover` связано поле `ViewMatrix` объекта `UA`, который имеет тип `fpUserAttention`, но здесь и в дальнейшем я использую названия классов (`fpUserAttention`, `fpKeyboardInput`, `fpQuestionAnswering`, `fpPlotGeneration`, `fpTextToSpeech`) вместо имен объектов для простоты, поскольку для каждого из этих классов создается ровно один объект.

Стандартный объект Avango `av-input` обеспечивает взаимодействие с внешними устройствами ввода. Поле `PressedKeys` содержит набор нажатых клавиш в каждый момент времени. Его значение передается классу `fpKeyboardInput`.

`fpKeyboardInput` обрабатывает совокупность нажатых клавиш. Набираемая строка записывается в поле `Text` и передается классу `fpSimpleText` для отображения на экране. По окончании ввода она заносится в поле `Question`.

`fpQuestionAnswering` вызывает вопросно-ответную подсистему для полученного от `fpKeyboardInput` вопроса. Когда вопросно-ответная подсистема выдает ответ, класс `fpQuestionAnswering` передает по полевой связи `Keyword` (ключевое слово) классу `fpPlotGeneration` для перепланирования сюжета, а `Answer` (ответ) — классу `fpTextToSpeech` для воспроизведения.

Как только у класса `fpPlotGeneration` изменяется поле `ObjectName` или `Keyword`, инициируется перепланирование сюжета, после чего изменяется внутренний атрибут `atoms` — последовательность атомов урока, которые нужно рассказать следующими.

Классы `fpPlotGeneration` и `fpTextToSpeech` непрерывно взаимодействуют между собой по полевым связям `Atom-Atom`, `ToldAtom-ToldAtom`. При инициализации системы класс `fpPlotGeneration` передает `fpTextToSpeech` первый атом (`Atom`) рассказа. Далее в процессе работы системы как только класс `fpTextToSpeech` произносит очередной атом текста, он передает его (`ToldAtom`) классу `fpPlotGeneration`. `fpPlotGeneration` присваивает полю `Atom` значение первого элемента внутреннего атрибута `atoms` и убирает первый элемент из `atoms`. Затем `fpPlotGeneration` передает `Atom` классу `fpTextToSpeech` на воспроизведение.

4.3.4 Реализация многопоточности

Наша система должна предоставить пользователю возможность непрерывно перемещаться в виртуальном мире и взаимодействовать с 3D-сценой, параллельно производя обработку вопроса пользователя (что занимает значительное время), генерируя сюжет повествования и воспроизводя речь вирту-

ального персонажа. Чтобы обеспечить параллельное выполнение всех этих функций, система использует многопоточный режим.

Первый поток (thread1, рис. 4.7) — это поток, в котором работают модуль визуализации и модуль восприятия виртуального персонажа, т.е. стандартный функционал Avango и классы fpUserAttention и fpKeyboardInput. Он обеспечивает непрерывное взаимодействие пользователя с системой и визуализацию 3D-сцены. Первый поток также устанавливает значения полей Question класса fpQuestionAnswering и ObjectName класса fpPlotGeneration, после чего подает об этом сигналы потокам 2 и 3 соответственно.

Во втором потоке (thread2) функционирует вопросно-ответная подсистема. Он создается классом fpQuestionAnswering при запуске и инициализирует вопросно-ответную подсистему. Далее он ждет сигнала от первого потока о том, что изменилось значение поля Question. Как только сигнал поступил, вызывается вопросно-ответная подсистема. Когда она выдает ответ и ключевое слово, thread2 устанавливает значения полей Keyword класса fpPlotGeneration и Answer класса fpTextToSpeech, после чего сигнализирует об этом потокам 3 и 4, а сам ждет следующего сигнала от thread1.

Третий поток (thread3) планирует и перепланирует урок, создается классом fpPlotGeneration в момент запуска системы. Как только он получает сигнал от потока 1 или потока 2, то вызывает модуль генерации сюжета.

Четвертый поток (thread4) «разговаривает» с пользователем, создается классом fpTextToSpeech при запуске. При запуске thread1 заполняет поле Atom класса fpPlotGeneration, а соответственно и поле Atom класса fpTextToSpeech (по полевой связи) и сигнализирует об этом потоку 4. Поток 4 произносит этот атом. Каждый раз после произнесения очередного атома thread4 заполняет поле ToldAtom классов fpPlotGeneration и fpTextToSpeech, выбирает следующий атом (метод tellNextAtom класса fpPlotGeneration), заполняет поле Atom. А дальше произносит Answer (если поступил сигнал от потока 2) или очередной атом.

Для синхронизации доступа потоков к объектам типа fpQuestionAnswering, fpTextToSpeech и fpPlotGeneration использовались

мьютексы и условные переменные.

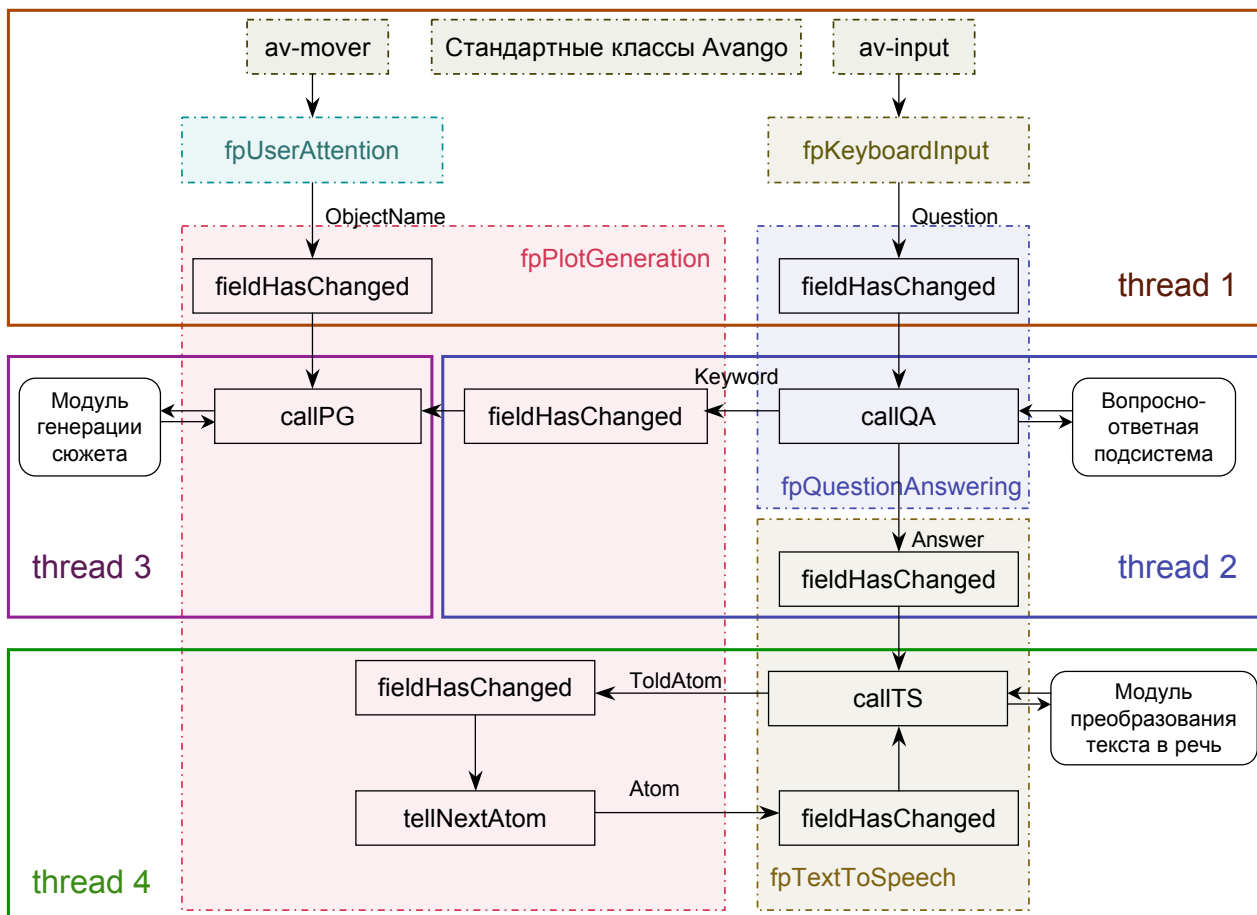


Рис.4.7. Схема взаимодействия потоков выполнения

4.4 Демонстрационное приложение

На базе разработанной технологии было создано демонстрационное приложение — пробный урок из космоса. Виртуальный учитель ведет урок на виртуальной орбите станции «Мир». Пользователь может насладиться видом Земли из космоса, посмотреть на орбитальную станцию «Мир» и задать интересующие его вопросы. Демонстрационный урок позволит учащимся не только ощутить себя космическими путешественниками, но и вернуться на десяток лет назад, когда орбитальная станция «Мир» еще продолжала свою работу на орбите Земли.

Было смоделировано движение станции «Мир» по орбите, а также вращение Земли. Модель станции «Мир» была разработана Валерием Афанасьевым, Константином Матвеевым и Сергеем Матвеевым в рамках совместного проекта ИФТИ и Центра управления полетами. Текстуру поверхности Земли я взяла из общедоступного архива NASA [78].



Рис.4.8. Демонстрационное приложение — пробный урок из космоса

Поскольку характерные для данного приложения расстояния отличаются на много порядков (радиус Земли — 6400 км, высота орбиты — 390 км, размер станции — 30 м), а станция «Мир» постоянно перемещается по орбите и Земля вращается, стандартные методы навигации неприменимы (пользователь, удалившись от станции, уже не сможет найти ее в виртуальном пространстве).

Был разработан специальный метод навигации на основе стандартного для Avango метода `fpTrackBall`. Разработанный метод навигации позволяет пользователю как удаляться от станции, так и вновь приближаться к ней, а также изменять ракурс обзора. Например, ученик может посмотреть на Землю целиком, а затем вновь приблизить «Мир» и рассмотреть его.

Принцип навигации заключается в следующем.

Сначала выполняются стандартные для `fpTrackBall` преобразования, зависящие от ввода пользователя (порядок преобразований записан для глобальной системы координат):

- Зумирование (перемещение вдоль оси z), что позволяет пользователю приближать/удалять объект, расположенный в начале координат.
- Поворот, что позволяет пользователю вращаться вокруг объекта, расположенного в начале координат.

Затем выполняются дополнительные преобразования:

- Поворот, соответствующий перемещению станции по орбите, вокруг оси, перпендикулярной плоскости орбиты.
- Перемещение на радиус-вектор текущей точки орбиты наблюдателя. Орбита наблюдателя — это орбита немного большего радиуса, чем орбита станции «Мир», расположенная в той же плоскости. Текущая точка орбиты наблюдателя и станция «Мир» движутся по своим орбитам синхронно с одинаковой угловой скоростью. Центр Земли, текущая точка орбиты наблюдателя и станция «Мир» всегда находятся на одной прямой.

Если пользователь не будет осуществлять навигацию с помощью устройства ввода, то он будет перемещаться по орбите наблюдателя с той же угловой скоростью, что и станция по своей орбите, поворачиваться так, чтобы всегда смотреть в центр Земли, и станция всегда будет находиться в центре его поля зрения.

Осуществляя навигацию, пользователь может удаляться от станции и вновь приближаться к ней, лететь вслед за станцией по орбите и наблюдать Землю с разных ракурсов.

Глава 5

Заключение

5.1 Конечные результаты

В рамках проекта «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса» мной были

- исследованы различные подходы к виртуальному повествованию, проанализирована эффективность их использования в образовательных приложениях;
- разработана технология и выбраны оптимальные методы виртуального повествования с целью создания образовательных приложений в наукоемких технических областях таких, как физика, биология, науки о Земле;
- разработана архитектура и пригодный для тиражирования прототип образовательного приложения на примере проекта «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».

Материал по теме диссертации опубликован в работах [5, 80], а также докладывался и обсуждался на международных конференциях ED-MEDIA 2007 (The World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications) в Ванкувере (Канада) в июне 2007 года [80] и Диалог-2008 на Кипре в мае 2008 г. Доклад вызвал живой интерес у участников конференций. Я также представляла проект на СеBIT-2008 [81] в Ганновере в марте 2008 г., где интерес к виртуальным урокам из космоса и к экспозиции МФТИ проявили многие посетители выставки из России, ближ-

него и дальнего зарубежья.

5.2 Практическая ценность

Разработанная технология может с успехом применяться как в средней и высшей школе (например, «Виртуальные уроки из космоса»), так и для специализированного обучения, например, для тренировки космонавтов («Виртуальные космические эксперименты»).

Сфера применения технологии не ограничивается космическим образованием: она может использоваться для преподавания широкого спектра дисциплин. При этом сюжет виртуального повествования зависит от предметной области и от цели урока.

Предлагаемый подход к обучению позволит повысить активность учащихся на занятиях, выбрать для каждого ученика индивидуальную программу и корректировать ее автоматически в процессе обучения.

Учащиеся получают новый более эффективный способ получения информации, а преподаватели — новые интересные возможности преподнести эту информацию.

Новая технология существенно сократит время, которое затрачивает преподаватель на объяснение материала: достаточно будет один раз продумать методику и записать ее в виде сценариев уроков. Остальное время преподаватель сможет потратить непосредственно на педагогическую деятельность.

Кроме того, технология может с успехом использоваться для самообразования учащихся. Если методика обучения отлажена, преподаватель из процесса обучения может быть исключен вообще — его заменит виртуальный персонаж. Человеку же останется гораздо более благодарная роль консультанта и методиста. Он будет объяснять учащимся вопросы, которые еще недостаточно или неполно освещены в системе виртуального повествования, и разрабатывать новые сценарии обучения.

5.3 Дальнейшее развитие

Проведенная аналитическая работа и разработанный прототип образовательного приложения являются первым этапом проекта «Виртуальные космические эксперименты и уроки из космоса».

В рамках дальнейшей работы над проектом на втором этапе будут выполнены следующие задачи:

- Будет восстановлена трехмерная модель Международной космической станции на основе данных фотосъемки (п. 4.2.1).
- При непосредственном участии летчиков-космонавтов А. А. Сереброва и Ю. М. Батурина будут разработаны сюжеты демонстрационных уроков как для школьников (Виртуальные уроки из космоса), так и для космонавтов (Виртуальные космические эксперименты) .

К концу второго этапа будут разработаны два приложения (Виртуальные уроки из космоса и Виртуальные космические эксперименты), которые можно использовать на практике на уроках физики в средних школах и для обучения космонавтов методике проведения КЭ.

В качестве перспектив дальнейшего развития проекта можно выделить следующие направления:

- Визуализация виртуального космонавта; моделирование движения, мимики, жестов; достижение сходства виртуальных персонажей с реальными космонавтами.
- Создание набора стандартных алгоритмов планирования для различных образовательных целей (п. 4.2.2).
- Адаптация вопросно-ответной подсистемы для работы с русским языком.
- Моделирование голосов космонавтов средствами Festival Speech Synthesis System (А. А. Сереброва и других).
- На данный момент вопросно-ответная подсистема контекстно-независима. Модернизация вопросно-ответной подсистемы и ее более тесная интеграция с модулем восприятия виртуального персонажа поз-

волит виртуальному персонажу отвечать на вопросы типа «Что это?» и другие контекстно-зависимые вопросы.

- Разработка модуля Speech-to-Text, который позволил бы обучающемуся задавать вопросы при помощи голоса, а не ввода с клавиатуры. Например, можно использовать систему CMU Sphinx [82], разработанную в университете Карнеги — Меллон, г. Питтсбург.
- Моделирование эмоций учителя-космонавта. Используемый алгоритм HTN-планирования позволяет добавить в модуль генерации сюжета учет эмоций виртуального персонажа.

В дальнейшем можно расширить систему, чтобы одновременно могли обучаться несколько учеников под руководством нескольких виртуальных космонавтов. Например, каждый ученик может носить HMD, а все ученики вместе встретятся на виртуальном уроке, где у них будет несколько виртуальных учителей. Система Avango-VR позволяет создавать подобные распределенные приложения(п. 3.2). Однако такое расширение связано с некоторыми сложностями:

- Необходимо смоделировать правдоподобное взаимодействие виртуальных персонажей между собой, что является непростой задачей [83, 84]. Однако HTN-формализм, который используется для генерации сюжета виртуального повествования, позволяет решить эту задачу при внесении соответствующих изменений в иерархические структуры задач для персонажей.
- Реальные люди в этом случае должны быть представлены аватарами. Необходимо каким-то образом отслеживать состояние реального человека (с помощью датчиков или камер) и рисовать его аватар в соответствии с этими данными. Более того, люди должны быть узнаваемы друг для друга [39]. Это предъявляет высокие требования к визуализации аватаров.

Благодарности

В заключение хотелось бы выразить благодарность моему научному руководителю профессору С. В. Клименко за блестящие идеи и мудрое руководство, а также всем коллегам — сотрудникам ИФТИ и особенно С. А. Фомину — за существенный вклад в разработку проекта.

Я благодарна летчику-космонавту, Герою Советского Союза А. А. Сереброву — за увлекательные рассказы об «Уроках из космоса» и за подаренное вдохновение, сотруднику Центра подготовки космонавтов Д. Ю. Щербинину — за помощь в подготовке и проведении фотосъемки макета Международной космической станции, преподавателям МФТИ — за ценные замечания и советы, данные на Государственном квалификационном экзамене и на предзащите.

Также хочу выразить признательность Российскому фонду фундаментальных исследований за частичное финансирование проектов, выполняемых в ИФТИ, в том числе «Разработка технологии виртуального повествования на примере системы «Виртуальный Планетарий» (05-07-90344-в, 2005 — 2007 г.) и «Разработка средств создания интерактивных виртуальных повествований для задач исследования космоса» (08-07-00468-а, 2008 — 2010 г.).

Глоссарий: словарь терминов и сокращений

При подготовке данного материала использовались следующие источники: [5, 22, 23, 27, 28, 30, 38, 56].

3D ГИС (трехмерная геоинформационная система) — геоинформационная система, работающая с трехмерным представлением геопространственной информации. В настоящее время полнофункциональной трехмерной ГИС пока не существует. Большинство существующих сегодня 3D ГИС эффективно визуализируют 3D-данные, однако имеют весьма ограниченные возможности анализа и обработки.

AI (Artificial Intelligence) — искусственный интеллект.

America's Army — наиболее широко распространенная и наиболее успешная серьезная игра, с разработки и распространения которой началась революция в представлениях о потенциальной роли видеоигр в областях, не связанных с развлечениями. Несмотря на скептические первоначальные оценки экспертов, America's Army оказалась эффективным военным тренажером. Например, солдаты, проходившие в игре этап стрельбищ, показывали лучшие результаты и в реальной жизни.

API (Application Programming Interface) — интерфейс программирования приложений.

AR (Augmented Reality) — расширенная (дополненная) реальность, частный случай смешанной реальности (MR). Технология AR «дополняет»

реальный мир посредством наложения на его изображение сгенерированных компьютером данных.

ARQuake — новая интерпретация игры Quake, разработанная в лаборатории носимых компьютеров Южноавстралийского университета (Wearable Computer Lab, University of South Australia) [28]. Она позволяет игроку перемещаться в реальном мире и сражаться с виртуальными монстрами, которых генерирует система расширенной реальности.

Avango VR-system — программная среда, представляющая собой мощное средство для разработки интерактивных распределенных приложений виртуального окружения.

Character-based (character-driven) storytelling — вид виртуального повествования, сюжет которого генерируется динамически автономными виртуальными персонажами, которые взаимодействуют друг с другом, выбирают стратегию поведения и выполняют соответствующие действия.

Desktop Search — локальный поиск файлов на компьютере.

Edutainment — образовательный принцип, в основе которого лежит совмещение обучения с развлечением (*edutainment = education + entertainment*).

Factoid questions — вопросы, касающиеся фактов. Например, вопрос «Кто был первым человеком в космосе?» относится к классу factoid questions, а вопрос «Почему небо голубое?» — нет.

FOV (Field of View) — поле зрения.

HMD (head-mounted display, шлем виртуальной реальности) — это дисплей, который человек носит на голове (может быть частью шлема). HMD включает микродисплеи, которые находятся непосредственно перед глазами пользователя (перед одним глазом — monocular HMD, перед двумя — binocular HMD).

HTN (Hierarchical Task Network planning) — подход к автоматизированному планированию, основанный на том, что взаимозависимости между действиями представляются в виде сетей.

IDF (inverse document frequency) — статистическая мера, пропорциональная числу документов в коллекции и обратно пропорциональная числу документов, содержащих заданное слово.

LCD-проектор (Liquid Crystal Display) — жидкокристаллический проектор. LCD-проекторы имеют три жидко-кристаллические панели и яркий источник, свет которого разделяется на красную, синюю и зеленую компоненты, пропускается через соответствующие панели, затем вновь объединяется и проецируется на экран.

Lisp — семейство языков программирования, программы и данные в которых представляются системами линейных списков символов. Разработанный в 1959 г. основателем направления Artificial Intelligence Джоном Маккарти, на настоящий момент Lisp — один из старейших языков программирования. Сегодня существуют два наиболее популярных диалекта Lisp: Common Lisp и Scheme.

MR (Mixed Reality) — смешанная реальность, технология визуализации, основанная на совмещении сгенерированных компьютером данных и изображения реального мира. Она создает новый тип окружения, где сосуществуют и взаимодействуют реальные и виртуальные объекты.

N-grams (N-граммы) — подпоследовательности, состоящие из N элементов заданной последовательности. Часто используются в статистической обработке естественного языка (Natural language processing).

NASA (National Aeronautics and Space Administration) — НАСА, Национальное агентство по авиационным и космическим исследованиям, США.

OpenGL — программный аппаратно-независимый интерфейс низкого уровня к графическому оборудованию.

Plot-based (plot-driven) storytelling — вид виртуального повествования, сюжет которого либо заранее написан автором, либо генерируется динамически на основе грамматики рассказа (story grammar) — общей структуры рассказа. Виртуальные персонажи не автономны и не оказывают влияния на сюжет.

QA system (вопросно-ответная система, англ. Question-answering system) — информационная система, обладающая свойствами справочных и интеллектуально-поисковых систем. Основное назначение QA системы — «понимать» вопросы на естественном языке и отвечать на них. Как источник информации используется закрытый корпус текстов или документы из Интернет.

Scheme — универсальный язык программирования, происходящий от Алгола и Лиспа. Это язык высокого уровня, который умеет оперировать со структурными данными, такими как строки, списки и векторы.

SGI OpenGL Performer — программный интерфейс для разработки высокопроизводительных графических приложений. Является надстройкой над OpenGL.

Snippet — сниппет, небольшой фрагмент или отрывок чего-либо, в данной работе: фрагмент информации веб-страницы, выводимый поисковой системой в результатах поиска и содержащий ключевые слова запроса.

Speech-to-Text — система, осуществляющая преобразование речи (произносимых слов) в машиночитаемый текст (также употребляется термин speech recognition system).

Text-to-Speech — система, осуществляющая преобразование обычного текста на каком-либо языке в речь, разновидность систем класса Speech synthesis.

TREC (Text REtrieval Conference) — конференция по поиску текстов.

VEonPC (Virtual Environment on a PC Cluster, виртуальное окружение на кластерах персональных компьютеров) — относительно недорогая, но

весьма эффективная установка виртуального окружения, разработанная в рамках совместного проекта Фраунгоферовского института медиакоммуникаций (ИМК, г. Санкт-Августин, Германия) и Института физико-технической информатики.

X-Ray vision (так называемое «рентгеновское зрение») — способность видеть скрытые от взора объекты, например находящиеся за непрозрачной стеной. Термин широко использовался в научной фантастике. Сегодня такую возможность предоставляют системы смешанной и расширенной реальности.

Аватар — трехмерный виртуальный персонаж, который представляет реального человека в виртуальном окружении.

Автономные виртуальные персонажи — персонажи в системе виртуального повествования, которые обладают определенным поведением, способны воспринимать окружающий их виртуальный мир, взаимодействовать с другими персонажами, а в идеале еще и имеют свой особенный характер.

Виртуальная студия — высокоинтегрированный мультимедийный комплекс, который обеспечивает формирование виртуальной среды и совмещение в реальном времени аудио- и видеоданных различной природы: «живое видео» (лектор, экскурсовод), компьютерные изображения, видеоданные с различных носителей, текст. При этом создается впечатление непосредственного взаимодействия лектора с моделируемыми объектами и явлениями, как будто он присутствует в виртуальном мире.

ВО (виртуальное окружение) — технология человеко-машинного взаимодействия, которая обеспечивает погружение пользователя в трехмерную интерактивную среду изучаемого явления или процесса и предоставляет естественный интуитивный интерфейс для взаимодействия с объектами (искусственными и/или реальными) в виртуальной среде.

Виртуальное повествование (Virtual Storytelling, VS) — это новая форма организации пользовательского интерфейса, сформировавшаяся в само-

стоятельное научное направление. Виртуальное повествование обеспечивает погружение пользователя в виртуальный мир с использованием технологии ВО и включает пользователя в определенный сюжет. Основной задачей виртуального повествования является обучение пользователя, при этом пользователь играет активную роль в прохождении сюжета и имеет определенную свободу действий в виртуальном мире.

ГИС (геоинформационная система) — информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, анализ и визуализацию пространственных данных и связанной с ними информации.

ЕЯ (естественный язык) — язык человеческого общения.

ИВО (индуцированное виртуальное окружение) — система виртуального окружения, которая в режиме реального времени осуществляет прием данных о состоянии реальных объектов и преобразует эту информацию в параметры состояния виртуальных объектов. ИВО позволяет синхронно, с высокой точностью и реалистичностью воспроизводить поведение физических объектов некоторой реальной среды. Наблюдение реальной среды посредством ИВО позволяет использовать для этой цели альтернативные методы визуализации объектов по любым доступным косвенным данным, не требующие использования для этой цели средств непосредственного наблюдения (оптических и телевизионных).

ИФТИ — Институт физико-технической информатики, г. Протвино, Московская область, <http://icpt.su/>.

КЭ — космический эксперимент.

МФТИ — Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская область.

Пассивная схема разделения изображений — схема формирования стереоизображения, в которой два изображения одновременно выводятся на экран и сепарируются за счет: цветных светофильтров (анаглифный метод); линейной или круговой поляризации света; или

при помощи мультиплексирования по длине волны (инфитек-метод). Помимо пассивной, существует также активная (эклипсная, обтюра-торная) схема разделения изображений. Она использует поочередную проекцию изображений для левого и правого глаза на экран и специальные затворные очки (shutter glasses), которые должны быть синхронизированы с выводимым изображением.

Пирамида видимости — объем видимости в перспективной проекции, представляет собой усеченную пирамиду с прямоугольным основанием. Объем видимости (viewing frustum) задает поле зрения воображаемой камеры и представляет собой часть виртуального пространства, которую может наблюдать пользователь в определенный момент времени. Геометрическая форма объема видимости определяет способ проецирования трехмерного пространства на плоскость экрана.

Прямая проекция изображения — тип проекции изображения, в котором зрители и проекторы находятся с одной стороны от экрана. Существует также обратная проекция (зрители и проекторы находятся по разные стороны от экрана).

Серьезная игра — интеллектуальное состязание, проводимое с помощью компьютера по определенным правилам с использованием развлекательных приемов для достижения государственных или корпоративных целей в области образования, обучения, здравоохранения, государственной политики или стратегической коммуникации.

ЦУП — Центр управления полетами (г. Королев, Московская область).

ЦПК — Центр подготовки космонавтов (Звездный городок, Московская область).

ЧС — чрезвычайная ситуация.

Литература

- [1] Закон Российской Федерации «Об образовании» от 10 июля 1992 года No. 3266-1 (с изменениями от 5 декабря 2006 г.).
- [2] “*Edutainment*”// Special issue Computer & Graphics, Vol.30, Num.1, 2006, pp. 1-28.
- [3] Cybernarium: <http://www.cybernarium.de/>
- [4] “*Digital Storytelling*”// Special issue Computer & Graphics, Vol.26, Num.1, 2002, pp. 1-66.
- [5] Батурин Ю.М., Гёбель М., Даниличева П.П., Клименко С.В., Леонов А.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д., Серебров А.А., Уразметов В.Ф., Щербинин Д.Ю., «*Виртуальное повествование как инновационная образовательная технология*» // В сб. Международной конференции VEonPC’2006 и Третьей научной конференции СИМ-2006 — изд. ИФТИ, Москва, 2006.
- [6] Полтавец Г.А., «*Аэрокосмическое образование детей в непрерывной системе обучения*» // В сб.: Космос в фокусе политики, экономики, культуры. — М.: Информационно-издательский дом «Новости космонавтики», Издательский центр «Экспринт», 2002, с.190-203.
- [7] Космонавт и учитель поменялись ролями, интервью с Александром Серебровым, Российская газета, федеральный выпуск No. 4451 от 28 августа 2007 г.
- [8] Барбара Морган провела орбитальный урок с борта “Endeavour”, Независимая газета, интернет-версия от 17 августа 2007 г, http://www.ng.ru/world/2007-08-17/100_shattle.html.

- [9] Батурин Ю.М., Жуков В.М. «К вопросу о методологии космического многофакторного эксперимента»// Труды Шестой международной научно-практической конференции «Пилотируемые полёты в космос», 10-11 ноября 2005 г., Звёздный городок, с. 83-85.
- [10] “*Artificial Intelligence Tools in education*” // Proceedings of the IFIP TC3 Working Conference, Frascati, Italy, 26-28 May 1987, Elsevier, Edited by P.Ercoli, R.Lewis, 1987.
- [11] Youngblut, C., “*Educational Uses of Virtual Reality Technologies*”, Institute for Defence Analyses, IDA Document Report Number D-2128, 1998.
- [12] Burger, J., Cardie, C., Chaudhri, V., Gaizauskas, R., Harabagiu, S., Israel, D., Jacquemin, C., Lin, C.Y., Maiorano, S., Miller, G., Moldovan, D., Ogden, B., Prager, J., Riloff, E., Singhal, A., Shrihari, R., Strzalkowski, T., Voorhees, E., Weishedel, R., “*Issues, Tasks and Program Structures to Roadmap Research in Question & Answering (Q&A)*”, National Institute of Standards and Technology, 2001, http://www-nlpir.nist.gov/projects/duc/papers/qa.Roadmap-paper_v2.doc.
- [13] Paiva, A., Dias, J., Sobral, D., Aylett, R., Sobreperetz, P., Woods, S., Zoll, C., Hall, L.E., “*Caring for Agents and Agents that Care: Building Empathic Relations with Synthetic Agents*”, Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems — Volume 1 (AAMAS’04), 2004, pp. 194-201, ACM-Press, ISBN: 1-58113-864-4.
- [14] Dias, J. and Paiva, A., “*Feeling and Reasoning: a Computational Model for Emotional Agents*”, Progress in Artificial Intelligence, pp. 127-140, 2005, Springer Berlin / Heidelberg, ISBN: 978-3-540-30737-2.
- [15] Paiva A., Dias J., Sobral D., Aylett R., Woods S., Hall L., Zoll C, “*Learning By Feeling: Evoking Empathy With Synthetic Characters*”, in Applied Artificial Intelligence Journal, Volume 19 (3-4), pp. 235-266.
- [16] Aylett, R., Louchart, S., Dias, J., Paiva, A., M. Vala, S. Woods, L. Hall, “*Unscripted Narrative for Affectively Driven Characters*”, IEEE Computer Graphics and Applications, 26(3), pp. 42-52, Jun. 2006, IEEE Computer Society.

- [17] Aukstakalnis, S. and Blatner, D. *“Silicon Mirage The Art and Science of Virtual Reality”*, Berkeley: CA, Peachpit Press, 1992.
- [18] Алешин В.П., Афанасьев В.О., Байгозин Д.А., Бурлаков С.К., Клименко С.В., *«Высокоточная визуализация индуцированного виртуального окружения в перспективных космических тренажерных системах и центрах управления космическими полетами»* // В сб. Технические средства и технологии для построения тренажеров, Труды 5-го научно-технического семинара, Звезный городок, РИО РГНИИ ЦПК им.Ю.А.Гагарина, 2004, с. 49.
- [19] Афанасьев В.О., Брусенцев П.А., Клименко С.В., Михайлюк М.В., Торгашев М.А., Фомичев В.М., *«Опыт применения и перспективы развития систем виртуального окружения в космических тренажерах и системах телеприсутствия»*// В сб. Трудов 3-й Международной конференции «VEonPC-2003 Системы виртуального окружения на Linux-кластерах персональных компьютеров» — Москва, Ханты-Мансийск, Протвино: Изд-во ИФТИ, 2003, с. 5-20.
- [20] Klimenko, S.V., Baigozin, D.A., Danilicheva, P.P., Fomin, S.A., Borisov, T.N., Islamov, R.T., Kirillov, I.A., Lukashevich, I.E., Baturin, Yu.M., Romanov, A.A., Tsyganov, S.A., *“Using Virtual Environment Systems during the Emergency Prevention, Preparadness, Response and Recovery Phases”*, Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues, pub. Springer, the Netherlands, ed. Pasman, H.J. & Kirillov, I.A., ISBN 978-1-4020-8488-1, in press.
- [21] Алешин В.П., Афанасьев В.О., Байгозин Д.А., Батурин Ю.М. и др. *«Система визуализации индуцированного виртуального окружения для задач исследования космоса: состояние проекта»*// В сб. Трудов 14-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению Графикон-2004, М.: Изд-во МГУ, 2004, с. 12-15.
- [22] Афанасьев Валерий Олегович, *«Системы 3D-визуализации индуцированной виртуальной среды»*, диссертация на соискание учёной степени

- доктора физико-математических наук, специальность 05.13.11 — математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, ВМК МГУ, Москва, 2007.
- [23] Zlatanova, S., Rahman, A. A., Pilouk, M., “*3D GIS: Current Status and Perspectives*” // Proceedings of International Symposium on Geospatial Theory, 8-12 July 2002, Ottawa, Canada, CDROM, 8p..
 - [24] Никитина Ляля Дамировна, «*Исследование и разработка методов визуализации в крупномасштабных системах виртуального окружения для научных, образовательных и промышленных приложений*», диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, НИВЦ МГУ, Москва, 2002.
 - [25] Milgram, P. and Kishino, F., “*A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*”, IEICE Transactions on Information Systems, E77-D (12), 1994.
 - [26] Bane, R., and Höller, T., “*Interactive tools for virtual X-ray vision in mobile augmented reality*” // Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, IEEE Computer Society, 2004, pp. 231-239.
 - [27] Долговесов Б.С., Морозов Б.Б., Тарасовский А.Н., Пархоменко И.Н., «*Система обучения и презентаций с использованием технологии «погружения» лектора в интерактивную виртуальную среду*» // В сб. Международной конференции VEonPC'2006 и Третьей научной конференции СИМ-2006 — изд. ИФТИ, Москва, 2006.
 - [28] Wearable Computer Lab, University of South Australia, tinmith AR system, <http://tinmith.net>.
 - [29] Проект «Город науки, образования и инноваций», <http://www.vvcentre.ru/about/science/project/#1>
 - [30] Zyda, M., “*From visual simulation to virtual reality to games*”, Computer, Vol.38, Issue 9, Sept. 2005, pp. 25-32.
 - [31] Леонов Андрей Владимирович, «*Разработка технологии автоматизированной подготовки динамических документов и интерактивного*

повествования», диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 05.13.11 — математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, ГИЦ «Курчатовский институт», Москва, 2005.

- [32] “*Virtual Storytelling. Using Virtual Reality Technologies for Storytelling: International Conference ICVS 2001*”, Avignon, France, September 27-28, 2001 Proceedings (Lecture Notes in Computer Science 2197), Springer, 2001, ISBN: 978-3-540-42611-0.
- [33] “*Virtual Storytelling; Using Virtual Reality Technologies for Storytelling: Second International Conference, ICVS 2003*”, Toulouse, France, November 20-21, 2003 Proceedings (Lecture Notes in Computer Science 2897), Springer, 2004, ISBN: 978-3-540-20535-7.
- [34] “*Virtual Storytelling. Using Virtual Reality Technologies for Storytelling Third International Conference, ICVS 2005*”, Strasbourg, France, November 30-December 2, 2005, Proceedings (Lecture Notes in Computer Science 3805), Springer, 2005, 978-3-540-30511-8.
- [35] “*Virtual Storytelling. Using Virtual Reality Technologies for Storytelling, 4th International Conference, ICVS 2007*”, Saint-Malo, France, December 5-7, 2007, Proceedings (Lecture Notes in Computer Science 4871), Springer, 2007, ISBN: 978-3-540-77037-4.
- [36] Charles, F., Cavazza, M., and Mead, S.J., “*Character-driven Story Generation in Interactive Storytelling*” // Proceedings of the Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM’01), IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2001, ISBN: 0-7695-1402-2.
- [37] Cavazza, M., Charles, F., and Mead, S. J., “*Under the influence: using natural language in interactive storytelling*” // In International Workshop on Entertainment Computing, Makuhari, 2002.
- [38] Theune, M., Faas, S., Nijholt, A., Heylen, D., “*The Virtual Storyteller: Story Creation by Intelligent Agents*” // Proc. of technologies for interactive digital storytelling and entertainment conference, pp. 204-215.

- [39] Thalmann, D., *“The Role of Virtual Humans in Virtual Environment Technology and Interfaces”*// Frontiers of human-centred computing, online communities and virtual environments, Springer-Verlag, London, UK, 2001, pp. 27-38, ISBN:1-85233-238-7.
- [40] Cavazza, M., Martin, O., Charles, F., Mead, S. J. and Marichal, X., *“Interacting with Virtual Agents in Mixed Reality Storytelling”*, Proc. of Intelligent Virtual Agents, Kloster Irsee, Germany, 2003.
- [41] Erol, K., Nau, D. and Hendler, J. *“HTN planning: Complexity and expressivity”*//In Proceedings of the twelfth national conference on Artificial intelligence (vol. 2), American Association for Artificial Intelligence Menlo Park, CA, USA, 1994, pp.1123-1128, ISBN: 0-262-61102-3.
- [42] Erol K., Hendler, J. and Nau, D. *“Semantics for hierarchical task network planning”*, Tech. Rep. CS-TR-3239, Univ. of Maryland, March 1994.
- [43] INSCAPE Storytelling — программная среда для создания и визуализации интерактивных историй, <http://www.inscapers.com/>.
- [44] Greeff, M. and Lalioti, V., *“Interactive Cultural Experiences using Virtual Identities”*, ICHIM (1), pp. 455-465, 2001.
- [45] Ibanez, J., Aylett, R., Ruiz-Rodarte, R., *“Storytelling in virtual environments from a virtual guide perspective”*, Virtual Reality, Vol. 7, Num. 1, December 2003, pp. 30-42.
- [46] Frank, T., Hoch, M., Trogemann, G., *“Automated Lip-Sync for 3D-Character Animation”*, Proceedings of 15th IMACS World Congress on Scientific Computation, Modelling and Applied Mathematics, Volume 4: Artificial Intelligence and Computer Science, Wissenschaft & Technik Verlag, Berlin/Germany, 1997, pp 721-726.
- [47] Kalra, P., Magnenat-Thalmann, N., Mocozet, L., Sannier, G., Aubel, A., Thalmann, D., *“Real-time animation of realistic virtual humans”*, Computer Graphics and Applications, IEEE, Vol. 18, Issue 5, pp. 42-56.
- [48] Lee, Y., Oh, S., Park, Y., Lee, B.C, Park, J.C, Oh, Y.R, Lee, S., Oh, H., Ryu, J., Lee, K.H, Kim, H.K, Lee, Y.G., Kim, J, Ho, Y.S and Woo, W., *“Responsive Multimedia System for Virtual Storytelling”*, Advances

- in Multimedia Information Processing — PCM 2005 (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3767), Springer Berlin / Heidelberg, 2005, pp. 361-372, ISBN: 978-3-540-30027-4.
- [49] Vogelsang, A., Signer, B., “*The Lost Cosmonaut: An Interactive Narrative Environment on the Basis of Digitally Enhanced Paper*”, Virtual Storytelling (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3805), Springer Berlin / Heidelberg, 2005, p. 270-279, ISBN: 978-3-540-30511-8.
- [50] Silva, A., Raimundo, G., Paiva, A., “*Tell me that Bit Again... Bringing Interactivity to a Virtual Storyteller*”// Virtual Storytelling (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2897), Springer Berlin / Heidelberg, 2004, p. 146-154, ISBN: 978-3-540-20535-7.
- [51] Otero, N., Milrad, M., Vala, A., Paiva, A., “*BeLife: a simulation tool to support learning about photosynthesis*”, Towards Sustainable and Scalable Educational Innovations Informed by the Learning Sciences - Sharing Good Practices of Research, Experimentation and Innovation (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 133), 2005, pp. 857 - 860, ISBN: 978-1-58603-573-0.
- [52] Клименко С.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д. «Аванго: система разработки виртуальных окружений» — Москва-Протвино, 2006, Институт физико-технической информатики, ISBN 5-88835-017-6, 252 с.
- [53] *VEonPC'2001 — Первая международная конференция по системам виртуального окружения на кластерах персональных компьютеров*, изд. ИФТИ, Протвино 2001 г., ISBN 5-88835-032-X.
- [54] *Virtual Environment on PC Cluster'2002*, Workshop Proceedings, pub. by ICPT, 2002, ISBN 5-88835-011-7.
- [55] *Третья международная конференция VEonPC'2003 «Системы виртуального окружения на Linux-кластерах персональных компьютеров»*, изд. ИФТИ, Протвино 2003 г., ISBN 5-88835-009-5.
- [56] Никитина Л.Д., «*Исследование и разработка общедоступных крупномасштабных систем виртуального окружения для научных и образо-*

- вательных целей» // Электронный журнал «Исследовано в России», 3, с. 549-556, 2003, <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/047.pdf>.
- [57] IMAX — международная сеть кинотеатров, <http://www.imax.com>.
- [58] Helmut Jorke, Markus Fritz “*INFITEC - a new stereoscopic visualisation tool by wavelength multiplex imaging*” // Proceedings Electronic Displays September 2003, Wiesbaden.
- [59] NVIDIA: <http://www.nvidia.ru/>.
- [60] Компания «Электро-оптические системы», дистрибьютор продуктов TRIVISIO в России, <http://trivisio.com/products.html>.
- [61] Tramberend, H., *Avocado: A Distributed Virtual Environment Framework*, Ph.D. thesis, 2003.
- [62] Tramberend, H., *Avango: A Distributed Virtual Reality Framework* // Proceedings of the IEEE Virtual Reality '99, 1999, <http://www.avango.org/paper/paper-final.pdf>.
- [63] Система HTN-планирования SHOP2: <http://www.cs.umd.edu/projects/shop/>.
- [64] Allegro Common Lisp: <http://www.franz.com/products/allegrocl/>.
- [65] Lin, J., “*An Exploration of the Principles Underlying Redundancy-Based Factoid Question Answering*”, ACM Transactions on Information Systems, 27(2):1-55, 2007.
- [66] *The Eleventh Text REtrieval Conference (TREC 2002)*, NIST Special Publication 500-252, http://trec.nist.gov/pubs/trec11/t11_proceedings.html.
- [67] *The Twelfth Text REtrieval Conference (TREC 2003)*, NIST Special Publication 500-255, http://trec.nist.gov/pubs/trec12/t12_proceedings.html.
- [68] *The Thirteenth Text REtrieval Conference (TREC 2004)*, NIST Special Publication 500-261, http://trec.nist.gov/pubs/trec13/t13_proceedings.html.
- [69] Поисковая система Google: <http://www.google.com>.
- [70] Поисковая система Teoma: <http://www.ask.com>.

- [71] Поисковая система Yahoo: <http://www.yahoo.com>.
- [72] Поисковая система AltaVista: <http://www.altavista.com>.
- [73] Поисковая система Hyper Estraier: <http://hyperestraier.sourceforge.net>.
- [74] Система синтеза речи Festival: <http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival/>.
- [75] Проект Festvox: <http://festvox.org/index.html>.
- [76] Русский язык в ПО Festival:
<http://festlang.berlios.de/docu/doku.php?id=russianru>.
- [77] Проект MBROLA: <http://tcts.fpms.ac.be/synthesis/mbrola.html>.
- [78] Blue Marble: <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/BlueMarble/>
- [79] Никитина Л.Д. , Никитин И.Н., Клименко С.В., «*Графический ускоритель, использующий анализ видимости объектов для отрисовки сцен высокой сложности*», электронный журнал «Исследовано В России», <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/036.pdf>.
- [80] Baturin, Yu., Danilicheva, P., Klimenko, S., Serebrov, A., “*Virtual Space Experiments and Lessons from Space*” // Proc. ED-MEDIA 2007 The World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, Vancouver BC, Canada, June 2007, pub. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [81] Международная выставка CeBIT: <http://www.cebit.de/>.
- [82] CMU Sphinx — система распознавания речи:
<http://www.speech.cs.cmu.edu/>.
- [83] Prada, R., Paiva, A., “*A Believable Group in the Synthetic Mind*”// in proceedings of AISB’2005 — Symposium on Mind-Minding Agents, Hatfield, England, 2005.
- [84] Prada, R., Otero, N., Paiva, A., “*The User in the Group: Evaluating the Effects of Autonomous Group Dynamics*” // Proceedings of ACE’2007 — 4th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, Salzburg, June 2007, ACM Press.