

УДК 004.946

ТЕХНОЛОГИЯ СИТУАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ

М. В. Михайлюк^[0000-0002-7793-080X], Д. А. Кононов^[0000-0002-6059-5590],

Д. М. Логинов^[0000-0002-2717-6909]

*Научно-исследовательский институт системных исследований
Российской академии наук, г. Москва*

mix@niisi.ras.ru

Аннотация

Обсуждена технология моделирования различных ситуаций в системах виртуального окружения, которые являются компьютерными трехмерными моделями реальной или искусственной среды. Пользователь может рассматривать эти сцены непосредственно на экране компьютера, настенном экране, в стерео очках, в очках виртуальной реальности и т. д. Он также может перемещаться внутри виртуальной сцены и взаимодействовать с ее объектами. В свою очередь среда также может изменяться. Это позволяет проводить в системе виртуального окружения моделирование различных ситуаций (ситуационное моделирование). При таком моделировании задается некоторая статическая или динамическая обстановка в системе виртуального окружения, в которой оператор должен выполнить поставленные перед ним задачи.

Предложен механизм задания ситуаций путем изменения виртуальной трехмерной сцены с помощью конфигурационных файлов и виртуальных пультов управления. Для записи конфигурационных файлов разработан специальный язык, а для создания виртуальных пультов управления – специальный редактор. Представлена апробация предложенных методов на примере двух виртуальных сцен: полигона для мобильных роботов и реактивного рюкзака спасения космонавта в открытом космосе.

Ключевые слова: *открытый доступ, система виртуального окружения, ситуационное моделирование, трехмерная сцена, конфигурационный файл, виртуальный пульт управления.*

ВВЕДЕНИЕ

Системы виртуального окружения (СВО) представляют собой компьютерные трехмерные модели реальной или искусственной среды, которые пользователь может наблюдать непосредственно на экране компьютера, настенном экране, в стерео очках или в очках виртуальной реальности и т. д. Кроме наблюдения, пользователь может перемещаться внутри этой среды, взаимодействовать с ее объектами и анализировать результаты этого взаимодействия. Среда может также изменяться самостоятельно или под действием каких-либо факторов. Все это приводит к возможности проведения моделирования в СВО.

Известно несколько типов моделирования, которые могут использоваться в СВО. При имитационном моделировании создается компьютерная модель реальных или разрабатываемых системы или процесса, на которых изучаются результаты моделирования (поведение и параметры системы или процесса) или предсказываются будущие результаты. Существенными здесь являются визуализация всех процессов и их визуальное наблюдение. Сценарное моделирование позволяет изучать стойкость и живучесть сложных систем. Его задачами являются недопущение нештатных ситуаций, управление рисками, восстановление живучести систем и др. Структура системы и взаимодействие элементов при ее функционировании представляют в виде ориентированного графа, дугам и вершинам которого присваивают параметры и функционалы, адекватно описывающие процессы функционирования элементов исследуемой (моделируемой) системы. Визуализация такой системы в СВО позволяет наглядно наблюдать происходящие процессы. Имитационно-тренажерные комплексы предназначены для профессиональной подготовки операторов путем многократного выполнения ими необходимых действий. В этих комплексах СВО используется для моделирования динамики и визуализации окружающей обстановки. Расширение задач таких комплексов путем создания различных ситуаций для операторов приводит к ситуационному моделированию.

Ситуационное моделирование [1] создает особую статическую или динамическую обстановку в СВО, в которой оператор должен выполнить поставленные задачи. При этом он должен следовать как объективным свойствам созданной ситуации, так и своим субъективным представлениям о том, как действовать в такой

ситуации. Здесь важны не столько обучение конкретному ролевому поведению, сколько умение справляться со сложными ситуациями. Инструктор может предлагать как отдельные ситуации, так и несколько ситуаций, следующих друг за другом. Такое моделирование позволяет проверить не только квалификацию оператора, но и его психологические качества: смелость, склонность к риску, настойчивость, обучаемость, эмоциональность, стрессоустойчивость, адекватность, целенаправленность, потенциал работоспособности и др. В работе [2] рассмотрена ситуационная мотивация в решении такой проблемы, как состояние ситуативной когнитивной и эпистемической готовности к решению проблемы для уменьшения воспринимаемого несоответствия между ожидаемым и реальным состояниями. В [3] предложена классификация ситуаций и соответствующих им алгоритмов поведения на примере управления малым турбореактивным двигателем МРМ. В статье [4] рассмотрена работа оператора с пультом управления в виртуальном интерьере космического модуля «Пирс» для осуществления выхода космонавта в открытый космос. Целый комплекс возможных задач представлен в работе [5]. В ней, на основе анализа подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности выделены классы задач, которые физически сложно моделируются на технических средствах. К ним относятся задачи по аварийным ситуациям, управлению перспективными средствами, информационного обеспечения космонавтов и др. Некоторые другие задачи представлены в работах [6–8].

В данной работе рассмотрена задача ситуационного моделирования в системах виртуального окружения на примере двух виртуальных сцен: полигона для мобильных роботов и реактивного рюкзака спасения космонавта в открытом космосе. Предложены методы задания различных ситуаций в одной 3D виртуальной сцене с помощью конфигурационных файлов и виртуальных пультов управления, а также возможные задачи ситуационного моделирования в СВО.

1. СИСТЕМА ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ

Система виртуального окружения состоит из трехмерной (3D) виртуальной сцены, подсистемы управления, подсистемы динамики и подсистемы визуализации (см. рис. 1). Виртуальная 3D сцена создается в системе трехмерного моделирования (например, 3ds Max) и задает сцену, в которой будут происходить все действия. На рис. 2 слева показана сцена полигона мобильных роботов, а справа

– сцена космонавта с реактивным ранцем спасения в открытом космосе. Выбранная сцена на начальном этапе загружается в подсистемы динамики и визуализации. Подсистема управления включает пульта управления динамическими объектами (например, роботами или реактивными двигателями ранца), функциональные схемы и программные модули вычисления управляющих сигналов, являющихся результатом воздействия оператора на элементы пульта управления. При этом можно использовать как реальные, так и виртуальные пульта управления.

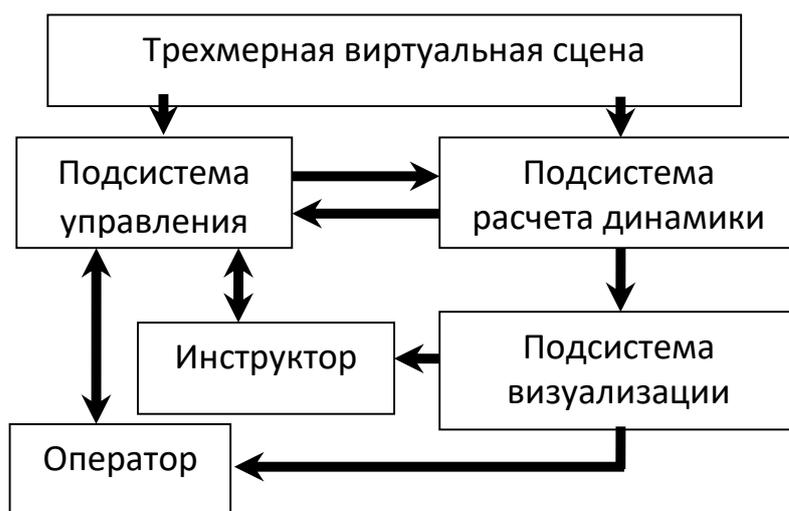


Рис. 1. Система виртуального окружения.

Для создания виртуальных пультов управления разработан специальный интерактивный редактор, содержащий большой набор типов управляющих элементов (кнопки, тумблеры, джойстики, регуляторы и т. д.). Функциональные схемы создаются в другом специальном редакторе, который включает широкий набор функциональных блоков различных функций (арифметических, логических, тригонометрических, динамических, автоматического управления, генераторов сигналов и др.). Каждый блок имеет входы и выходы, которые можно соединять в редакторе линиями, получая таким образом функциональную схему. На вход схемы подаются управляющие воздействия оператора, показания датчиков из виртуальной сцены, параметры настройки СВО и др. Вычисленные сигналы передаются в подсистему динамики, которая рассчитывает новые координаты, углы ориентации и состояния управляемых объектов через промежуток Δt времени моделирования. При этом учитываются все динамические параметры, столкнове-

ния (коллизии) объектов, силы трения, гравитация и т. д. Результаты расчетов передаются в подсистему визуализации. Эта подсистема осуществляет синтез изображения виртуальной сцены с новыми параметрами динамических объектов. Также моделируются различные типы освещения, специальные объекты (огонь, струи воды и пены, рельеф и др.), а также состояния окружающей среды (время суток, дождь, снег, туман и т. д.). Так как один цикл работы всех подсистем занимает не более 40 миллисекунд, то у оператора создается впечатление непрерывного управляемого процесса в системе виртуального окружения.



Рис. 2. Трехмерная сцена в системе виртуального окружения.

В ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН разработана оригинальная СВО VirSim, включающая все описанные подсистемы. Ее основное назначение заключается в использовании в качестве тренажера операторов управления сложными динамическими системами. Поэтому работа всех подсистем должна быть максимально реалистичной, чтобы не формировать у операторов так называемые ложные навыки. Эта система использовалась для подготовки операторов мобильных и антропоморфных роботов, а также для тренировки космонавтов на МКС. На рис. 2 показаны примеры виртуальных сцен в этой СВО.

Сцену СВО можно рассматривать как некоторую ситуацию (ситуационную модель), определяемую взаимным расположением объектов и их свойствами.

2. СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Под ситуационным моделированием здесь понимаются создание некоторой ситуации (статической или динамической) в СВО и решение в ней оператором (или группой операторов) некоторой задачи. Задание ситуации, постановка за-

дачи, контроль и оценка действий оператора осуществляются инструктором. Инструктор может предлагать как отдельные ситуации, так и несколько ситуаций, идущих подряд. Целью моделирования является не только обучение оператора выполнению известных действий, но и умению найти правильное решение в сложных ситуациях. Поэтому оператор не только должен учитывать объективные свойства заданной ситуации, но и использовать свои способности действовать в сложной и неожиданной обстановке. Примером являются нештатные ситуации в моделируемой системе. По окончании тренировки обычно проводятся анализ и самоанализ участниками процесса своих действий и их результатов. Это позволяет приобрести опыт действия в таких ситуациях, не подвергая опасности свою жизнь и здоровье. В работе [5] выделены классы задач в процессе подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности, которые физически сложно смоделировать на обычных технических средствах, но возможно с использованием технологий виртуальной реальности. К первому классу относятся задачи по информационному обеспечению космонавта, а именно, демонстрация сложившейся ситуации и необходимых действий космонавта в этой ситуации. Ко второму классу относится моделирование действий космонавта по выполнению ряда задач и демонстрации результатов допущенных ошибок (незакрепления страховочного фала, неправильной траектории отброса запускаемых малых спутников, пропуск аварийного сигнала и др.). Третий класс включает задачи по управлению перспективными средствами перемещения космонавта (спасательный ранец, робототехнические системы, мобильные роботы и т. д.). Аналогичную классификацию можно провести для любой области деятельности.

3. МЕТОДЫ ЗАДАНИЯ СИТУАЦИИ В СВО

Статическая ситуация — это ситуация, в которой все объекты и окружающая обстановка не изменяют своих параметров в процессе моделирования. Самый простой способ моделирования статической ситуации — это создание для СВО новой трехмерной сцены в системе 3D моделирования. Например, для этой цели можно использовать систему 3ds Max. Однако во многих задачах для различных ситуаций в качестве базовой может использоваться одна и та же сцена. В этом случае возникнут многочисленные ее конкретные модификации, которые будут

занимать большой объем памяти и мало отличаться друг от друга. В случае изменения базовой сцены придется отслеживать изменения всех ее модификаций.



Рис. 3. Изменение ситуации с помощью конфигурационного файла.

Другой способ задания ситуации возможен с помощью конфигурационного файла. Конфигурационный файл представляет собой xml файл, в котором для любого объекта можно задать значение любого его параметра. Для объекта можно задать положение и ориентацию, а также сделать его невидимым или заменить на поврежденный; источник освещения можно включить или выключить, задать время суток, включить дождь или снег и задать их интенсивности и т. д. На рис. 3 слева показан пример сцены, а справа – той же сцены, в которой некоторые объекты заданы невидимыми с помощью конфигурационного файла.

Для управления конфигурационными файлами можно использовать виртуальные пульты управления. Такие пульта создаются с помощью специально разработанного редактора, который позволяет разместить на подложке пульта элементы управления (кнопки, тумблеры, переключатели и т. д.). Положения элементов управления при моделировании передаются в функциональную схему, которая строится из функциональных блоков различного типа (арифметических, тригонометрических, управляющих и др.). В частности, в ней имеются блоки отслеживания времени и блоки запуска на исполнение конфигурационных файлов.

С помощью этого механизма можно изменить ситуацию в виртуальной сцене в определенный момент времени. На рис. 4 показан пример пульта инструктора, с помощью которого он может задать одну из 12 ситуаций и выбрать погодные условия (дождь или снег).

4. ВОЗМОЖНЫЕ ЗАДАЧИ СИТУАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим возможные задачи ситуационного моделирования на примере двух сцен СВО: полигона мобильных роботов и спасательного реактивного ранца (сейфера) космонавта. В первой сцене (см. рис. 2 слева) оператор с помощью виртуального или реального пульта управляет движением робота и может осуществлять захват объектов манипулятором. Во второй сцене (см. рис. 2 справа) оператор с помощью специального реального или виртуального джойстика управляет реактивным ранцем, перемещая космонавта в пространстве.



Рис. 4. Ситуационный пульт управления.

На начальном этапе оператор должен освоить управление и выполнение простых базовых операций (изучение пульта управления, перемещение управляемого средства вперед и назад, поворот влево и вправо, захваты объектов и т. д.).

Более сложные задачи состоят в перемещении робота (или сейфера) в заданную точку. Точка может задаваться координатами (при этом необходимо моделировать систему локального позиционирования и выводить текущие координаты на пульт управления) или описанием (например, вход в ангар, выходной люк Международной космической станции и др.). К такому типу задач относятся также поиски заданных объектов или инспекция окружающей обстановки. При поиске объектов могут использоваться специальные виртуальные датчики. Например, виртуальный γ -детектор показывает уровень γ -излучения радиоактивного объекта, попадающего в его конус действия. Его можно использовать для поиска зараженных радиоактивных объектов с целью их дальнейшей транспортировки в

специализированные контейнеры. Объект может быть также задан описанием (например, источник огня, бочка с топливом, солнечная батарея, определенный космический модуль и т. д.). Задачи инспекции окружающей обстановки могут включать осуществление съемки виртуальной камерой (включая панорамную съемку 360 градусов), поиск повреждений, проверку правильности креплений конструкций и т. д.). Выполнение всех этих операций можно ограничивать временем и наличием препятствий.



Рис. 5. Задачи ситуационного моделирования.

Более сложными операциями являются тушение горящих объектов с помощью струи воды или пены из водомета мобильного робота, ориентация при выходе из строя какого-либо датчика, «застревание» робота в яме, восстановление его работоспособности и др. В сцене с сейфером можно отрабатывать автоматический возврат (в случае запотевания скафандра или потери видимости МКС), возврат к ближайшему поручню (в случае недостатка топлива для перелета к шлюзу), выход из строя одного двигателя, стабилизацию космонавта (в случае его закручивания) и т. д. Имея в сцене подстилающую поверхность Земли, можно изменять время суток, ставить задачи распознавания места пролета, выявление пожаров, наводнений и других катаклизмов. На рис. 5 слева показан пример тушения роботом очага возгорания, при этом оператор управляет процессом с помощью виртуального пульта управления в левом нижнем углу. Справа на этом же рисунке показана модель подстилающей земной поверхности с высоты 300 км, на которой необходимо распознать видимый участок местности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложены методы задания различных ситуаций, а также возможные задачи ситуационного моделирования в СВО на примере двух виртуальных сцен: полигона для мобильных роботов и реактивного рюкзака спасения космонавта в открытом космосе. При этом ситуационное моделирование осуществлялось в СВО VirSim, разработанной в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН. Апробация создания различных ситуаций с помощью 3D виртуальных сцен, конфигурационных файлов и виртуальных пультов управления показала адекватность предложенных методов поставленным задачам.

Благодарности. Публикация выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН «Проведение фундаментальных научных исследований (47 ГП)» по теме № FNEF-2021-0012 «Системы виртуального окружения: технологии, методы и алгоритмы математического моделирования и визуализации. 0580-2021-0012», Рег. № 121031300061-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, 288 с.
2. *Jeong-Nam Kim, James E. Grunig.* Problem Solving and Communicative Action: A Situational Theory of Problem Solving // Journal of Communication. 2011. V. 61. P. 120–149.
3. *Andoga R., Főző L., Madarász L.* Digital Electronic Control of a Small Turbojet Engine MPM 20 // Acta Polytechnica Hungarica. 2007. V. 4. No. 4. P. 83–95.
4. *Maltsev A.V., Mikhaylyuk M.V.* Virtual Environment System for Pirs Space Module Interior // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. 2019. V. 2485.
URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper1.pdf>
5. *Алтунин А.А., Долгов П.П., Жамалетдинов Н.Р., Иродов Е.Ю., Коренной В.С.* Направления применения технологий виртуальной реальности при подготовке космонавтов к внекорабельной деятельности // Пилотируемые полеты в космос. 2021. № 1 (38). С. 72–88.

6. Maltsev A.V., Mikhaylyuk M.V. Visualization and virtual environment technologies in the tasks of cosmonaut training // *Scientific Visualization*. 2020. V. 12, No. 3. P. 16–25.

7. Михайлюк М.В., Мальцев А.В., Тимохин П.Ю., Страшнов Е.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Системы виртуального окружения для прототипирования на моделирующих стендах использования космических роботов в пилотируемых полетах // *Пилотируемые полеты в космос*. 2020. № 2 (35). С. 61–75.

8. Tomchinskaya T., Shaposhnikova M., Dudakov N. Training Beginners and Experienced Drivers using mobile-based Virtual and Augmented Reality // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. of the 30th International Conference on Computer Graphics and Vision*. 2020. V. 2744. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2744/paper69.pdf>

SITUATIONAL MODELING TECHNOLOGY IN VIRTUAL ENVIRONMENT SYSTEMS

M. V. Mikhaylyuk^[0000-0002-7793-080X], D. A. Kononov^[0000-0002-6059-5590],

D. M. Loginov^[0000-0002-2717-6909]

Scientific Research Institute for System Analysis RAS, Moscow

mix@niisi.ras.ru

Abstract

The technology of modelling various situations in virtual environment systems, which are computer three-dimensional models of a real or artificial environment, is discussed. The user can view these scenes directly on the computer screen, wall screen, in a stereo glasses, virtual reality glasses, etc. He can also move inside a virtual scene and interact with its objects. In turn, the environment can also change. This allows modelling of various situations (situation modelling) in the virtual environment system. With such modelling, some static or dynamic situation is set in the virtual environment system in which the operator must perform the tasks assigned to him.

A mechanism for setting situations by changing a virtual three-dimensional scene using configuration files and virtual control panels is proposed. A special language has been developed for writing configuration files, and a special editor has been developed

for creating virtual control panels. The approbation of the proposed methods is presented on the examples of two virtual scenes: a training ground for mobile robots and a jet backpack for the rescue of an astronaut in outer space.

Keywords: *virtual environment system, situational modeling, three-dimensional scene, configuration file, virtual control panels*

REFERENCES

1. *Pospelov D.A.* Situatsionnoe upravlenie: teoriia i praktika. M.: Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. 288 s.

2. *Jeong-Nam Kim, James E. Grunig.* Problem Solving and Communicative Action: A Situational Theory of Problem Solving // *Journal of Communication.* 2011. V. 61. P. 120–149.

3. *Andoga R., Főző L., Madarász L.* Digital Electronic Control of a Small Turbojet Engine MPM 20. *Acta Polytechnica Hungarica.* 2007. V. 4, No. 4. P. 83–95.

4. *Maltsev A.V., Mikhaylyuk M.V.* Virtual Environment System for Pirs Space Module Interior // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision.* 2019. V. 2485. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper1.pdf>

5. *Altunin A.A., Dolgov P.P., ZHamaletdinov N.R., Irodov E.YU., Korenoj V.S.* Napravleniya primeneniya tekhnologij virtual'noj real'nosti pri podgotovke kosmonavtov k vnekorabel'noj deyatel'nosti // *Pilotiruemye polety v kosmos.* 2021. No. 1 (38). S. 72–88.

6. *Maltsev A.V., Mikhaylyuk M.V.* Visualization and virtual environment technologies in the tasks of cosmonaut training // *Scientific Visualization.* 2020. V. 12, No. 3. P. 16–25.

7. *Mikhailiuk M.V., Maltsev A.V., Timokhin P.Iu., Strashnov E.V., Kriuchkov B.I., Usov V.M.* Sistemy virtualnogo okruzheniia dlia prototipirovaniia na modeliruiushchikh stendakh ispolzovaniia kosmicheskikh robotov v pilotiruemykh poletakh // *Pilotiruemye polety v kosmos.* 2020. № 2 (35). S. 61–75.

8. *Tomchinskaya T., Shaposhnikova M., Dudakov N.* Training Beginners and Experienced Drivers using mobile-based Virtual and Augmented Reality // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. of the 30th International Conference on Computer Graphics and Vision.* 2020. V. 2744. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2744/paper69.pdf>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



МИХАЙЛЮК Михаил Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ системных исследований РАН.

Mikhail Vasilievich MIKHAYLYUK – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Scientific Research Institute for System Analysis RAS, chief researcher

email: mix@niisi.ras.ru

ORCID: 0000-0002-7793-080X



КОНОНОВ Дмитрий Алексеевич – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИИ системных исследований РАН.

Dmitry Alekseevich KONONOV – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Research Institute for System Analysis RAS, chief researcher

email: mix@niisi.ras.ru

ORCID: 0000-0002-6059-5590



ЛОГИНОВ Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИИ системных исследований РАН.

Dmitry Mikhailovich LOGINOV – Candidate of Technical Sciences, Scientific Research Institute for System Analysis RAS, senior researcher

email: mix@niisi.ras.ru

ORCID: 0000-0002-2717-6909

Материал поступил в редакцию 19 октября 2021 года