

Рис. 6. Вариант информационного взаимодействия тренажеров

плагинов по узлам с целью достижения большей эффективности и производительности.

3. Занесение разработанных структур типов данных в БД СОТА и проектирование дополнительных возможностей (конфигурирование, наблюдение) в рамках разрабатываемого тренажера.

Среда распределенного моделирования СОТА является гибким и эффективным программным инструментом для построения системы моделирования, позволяющим решать широкий круг задач при разработке сложных комплексных тренажеров. Использование данной среды дает возможность эффективно и в кратчайшие сроки не только создавать новые тренажеры, тренажерно-моделирующие комплексы и обучающие системы, но и наращивать их функционал и интегрировать в единое информационное пространство ранее соз-

данные тренажеры, что является актуальной задачей при наличии множества поколений созданных тренажерных систем. Реализации информационного взаимодействия тренажеров посредством набора шлюзов системы моделирования СОТА – это один из практических примеров решения задачи взаимодействия различных тренажеров и формирования единого информационного пространства, обладающего набором единообразных интерфейсов доступа и управления.

Литература

1. Шукшунов В.Е., Янюшкин В.В. Проектирование тренажерно-моделирующих комплексов нового поколения // Программные продукты и системы. 2012. № 4. С. 192–200.
2. Шукшунов В.Е., Циблев В.В., Пототский С.И. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. М.: Машиностроение, 2005. 384 с.
3. Шорин А.Б., Новиков И.В. Варианты взаимодействия рабочих мест тактического тренажера // Программные продукты и системы. 2009. № 1. С. 111–113.
4. Рихтер Д., Назарп К. Windows via C/C++. Программирование на языке Visual C++. СПб: Питер, Русская редакция, 2009. 896 с.

References

1. Shukshunov V.E., Yanyushkin V.V., *Programmnye produkty i sistemy* [Software and Systems], 2012, no. 4, pp. 192–200.
2. Shukshunov V.E., Tsibliev V.V., Pototsky S.I., *Trenazhernye komplekсы i trenazhery. Tekhnologii razrabotki i opyt ekspluatatsii* [Training complexes and simulators. Design technique and field experience], Moscow, Mashinostroenie, 2005.
3. Shorin A.B., Novikov I.V., *Programmnye produkty i sistemy* [Software and Systems], 2009, no.1, pp. 111–113.
4. Richter J., Nazarre Ch., *Windows via C/C++*. Visual C++ programming], Piter, 2009.

УДК 004.9

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА СРЕДСТВАМИ СИСТЕМ ИМИТАЦИИ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ

А.О. Чуланов, зам. начальника отдела; Е.М. Бондарь, гл. специалист;
Д.В. Шабуров, начальник сектора (Донской филиал Центра тренажеростроения,
Платовский просп., 101, г. Новочеркасск, 346400, Россия,
bondar.dfct@gmail.com, achulanov@yandex.ru, dmon2006@yandex.ru)

Представлена формализация задачи обучения персонала средствами систем имитации визуальной обстановки, описывающая подход, использованный специалистами Центра тренажеростроения (г. Москва) при создании средств подготовки космонавтов к проведению работ на борту Международной космической станции. Описаны базовые подходы к использованию систем имитации визуальной обстановки при подготовке персонала. Определен основной перечень задач, решаемых в процессе создания виртуальных тренажеров, введен способ описания сценариев демонстрации материалов обучения с привязкой к терминам систем виртуальной реальности. Приведена модель интерактивного взаимодействия обучаемого с системой и определен способ сохранения результатов работы обучаемого и механизмов проверки его работы на основе контрольных сценариев. Кроме того, описаны подходы к выявлению ошибок в действиях обучаемого и определен способ привязки результатов деятельности обучаемого к данным математического моделирования процессов управления.

Ключевые слова: система имитации визуальной обстановки, подготовка персонала, формализация, виртуальная реальность, интерактивное взаимодействие, сценарий, графы, запись и воспроизведение, моделирование, поиск ошибки.

PERSONNEL TRAINING PROBLEM FORMALIZATION USING VISUAL ENVIRONMENT SIMULATION SYSTEMS TOOLS

*Chulanov A.O., deputy head of department; Bondar E.M., chief engineer; Shaburov D.V., head of sector
(Don Branch of the Space Simulator Center, Platovsky Av., 101, Novocherkassk, 346400, Russia,
bondar.dfct@gmail.com, achulanov@yandex.ru, dmon2006@yandex.ru)*

Abstract. This paper presents personnel training problem formalization using visual environment simulation systems tools. This approach is used by engineers of Space Simulator Center when creating training tools for cosmonauts to work on the board of the International Space Station. The article describes basic approaches to using visual environment simulation systems in personnel training. The main task list for creating virtual training simulators is defined; the method of training material demonstration script definition using virtual reality terms; the method for saving trainee working results and examination mechanisms based on control scripts are defined; the ways of searching error in trainee actions are described; the method of attaching trainee results to mathematical modeling data of control processes is presented.

Keywords: visual environment simulation system, personnel training, formalization, virtual reality, interactive communication, scripting, graphs, recording and replay, modeling, error searching.

Подготовка персонала в различных областях средствами виртуальной реальности – актуальное направление развития систем обучения. Постоянный рост производительности вычислительных средств и сопутствующий ему прогресс средств имитации визуальной обстановки, существенно приближающих генерируемое виртуальное пространство к реальному, заставляют разработчиков систем обучения прибегать к данным средствам все чаще.

О мировом опыте

Технология и способы использования систем имитации визуальной обстановки (СИВО) в процессе обучения для каждой из предметных областей тренажерной техники различны – от замкнутых систем на базе некоторых ноу-хау разработчика до опирающихся на мировые стандарты глобальных систем разработки и внедрения. Интерактивное взаимодействие в виртуальном окружении позволяет погружать пользователя в трехмерную интерактивную модель изучаемого явления или предметной области и обеспечивает естественное интуитивное взаимодействие пользователя с моделью согласно заданному сценарию. Благодаря этому реализуются принципиально новые возможности информирования, обучения и тренировки пользователя, недоступные при использовании традиционных информационных систем и обучающих программ. В последние годы стремительно растет интерес к технологиям интерактивного взаимодействия со стороны военных и образовательных ведомств различных стран, космической промышленности, авиа- и машиностроительных корпораций, медицинского сообщества и индустрии развлечений.

Мировым лидером в данной области является компания Presagis [1] со своим комплексом программных средств, обеспечивающих имитацию различных объектов: подстилающей поверхности Земли, поверхности моря, атмосферы, образцов военной техники, антропоморфных объектов, всевозможных визуальных эффектов. Комплекс программных средств Presagis включает в себя редакторы геометрических объектов, визуализаторы

различных виртуальных миров, редакторы сценариев, серверы моделирования и иные средства разработки и внедрения. Результатом разработок Presagis является так называемая COTS-система – готовая к использованию программно-аппаратная среда коммерческого применения для военных целей.

Базисом комплекса программных средств компании Presagis стала система стандартов мирового и локального уровней, обеспечивающих правила взаимодействия различных компонент системы. К ним можно отнести стандарты HLA (создание единой среды взаимодействия), DIS (протоколы сетевого взаимодействия), OpenFlight (стандарт БД визуальных объектов), Common Database (открытая спецификация БД объектов окружения).

Собственный опыт. Базовые подходы

Процесс подготовки средствами СИВО заключается в погружении обучаемого в заданную виртуальную среду (например, существует запатентованный «Способ автоматизированного обучения персонала морских нефтегазодобывающих платформ действиям в экстремальных и аварийных условиях» (авторы: Бирюков Ю.Б., Бондарь Е.М., Глазко Ю.Г., Радченко В.М., Сединко А.М., Чуланов А.О.)), а также в обеспечении одного из следующих режимов взаимодействия.

- Демонстрационный режим, при котором обучаемый выступает в роли наблюдателя. В этом режиме обучаемому демонстрируются действия над управляемыми объектами, реакция объектов на управляющие воздействия, обеспечиваются звуковое сопровождение выполняемых действий, дублирующее текстовое комментирование, подсветка активных объектов виртуальной среды. Данный режим аналогичен лекционной подготовке и требует от обучаемого только внимания.

- Тренировочный режим, при котором обучаемому предоставляется возможность выполнить требуемую последовательность операций с контролем действий. В этом режиме обучаемый средствами ввода СИВО (в их роли могут выступать компьютерная мышь, клавиатура или джойстик) воздействует на объекты виртуальной среды.

Реакция объектов соответствует штатному поведению и выражается в виде переключения состояния тумблеров, открытия задвижек, включения световых индикаторов и более сложного поведения. Измененное состояние моделируемых объектов переводит объект управления, которым может быть сложный техногенный объект или боевая машина, в новое состояние. В данном режиме осуществляется контроль выполняемых действий обучаемого согласно требуемой последовательности операций и своевременно выводится подсказка о неверных и последующих действиях. Режим позволяет обучаемому попробовать применить полученные начальные знания для работы с объектом управления.

- Экзаменационный режим аналогичен тренировочному с той лишь разницей, что контроль действий обучаемого осуществляется скрыто от пользователя. По результатам работы собирается статистика выполненных действий, как правильных, так и неправильных, на основании которой оцениваются действия обучаемого. Данный режим позволяет обучаемому проверить полученные знания и может служить для комплексной оценки его подготовленности.

Объекты формализации

Представленные режимы взаимодействия определяют следующие задачи, которые стоят перед СИВО:

- автоматическое воспроизведение сценария работы с объектом изучения;
- обеспечение интерактивного взаимодействия обучаемого с виртуальной средой;
- запись, воспроизведение и анализ выполненных действий обучаемого.

Автоматическое воспроизведение сценариев

Процесс подготовки в демонстрационном режиме подразумевает необходимость автоматического воспроизведения согласно сценарию некоторого перечня событий, изменяющих СИВО и обеспечивающих требуемое аудиовизуальное представление процессов управления объектом изучения. События сценария, происходящие в виртуальном мире, можно классифицировать, воспользовавшись терминологией базовых сущностей системы виртуальной реальности (рис. 1).

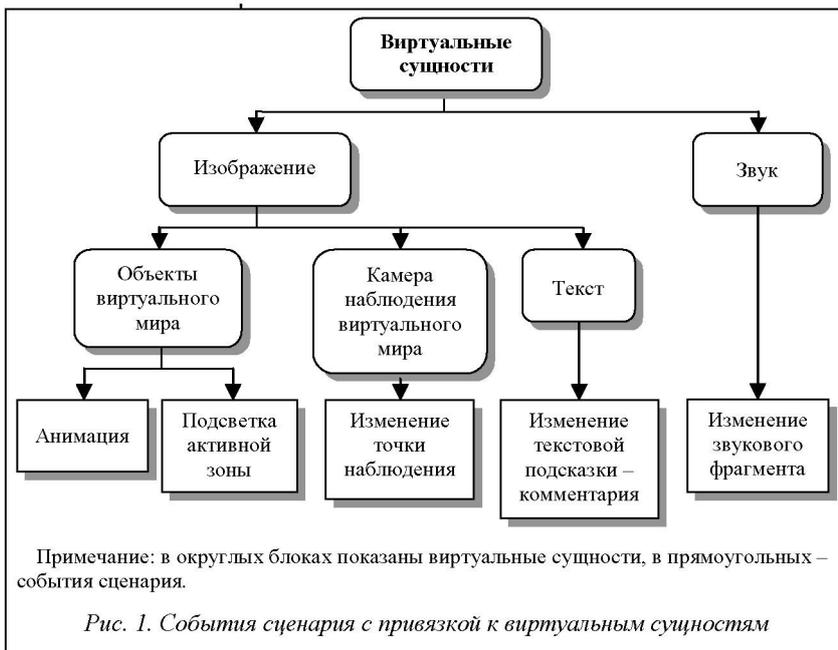


Рис. 1. События сценария с привязкой к виртуальным сущностям

При создании сценариев демонстрации возникает проблема приведения тематического содержания задачи демонстрации к функциональным возможностям системы воспроизведения виртуальных миров. Система воспроизведения способна обеспечить лишь ограниченный набор анимационных возможностей и визуальных эффектов, так что решение задачи создания сценария должно осуществляться в контексте тех ограничений, которые имеет СИВО. На рисунке 2 приведено расширенное представление набора анимационных возможностей объектов виртуального мира.

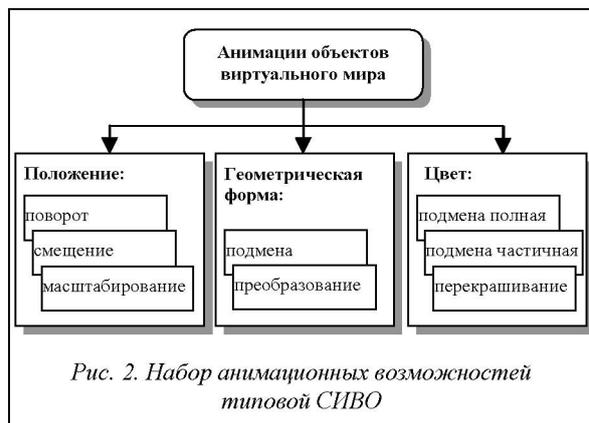


Рис. 2. Набор анимационных возможностей типовой СИВО

Возможности воспроизводящей системы по обеспечению событий сценария можно определить с помощью множества V_{scn} , включающего все анимационные, текстовые и звуковые события, которые могут возникнуть в данной системе.

Любой сценарий демонстрации можно представить в виде последовательности событий сценария или ориентированного графа [2] G_{scn} :

$$G_{scn} = (V_{scn}, A_{scn}), \tag{1}$$

где V_{scn} – множество событий сценария из мно-

жества допустимых для данной воспроизводящей системы ($V_{scn} \subset V_{eng}$), образующих узлы графа; A_{scn} – множество переходов, определяющих последовательность событий в сценарии и представляющих дуги графа. Граф сценария, составленного из n событий, показан на рисунке 3, из которого видно, что это ориентированный граф, обеспечивающий линейную (однозначную) последовательность событий без ветвлений и циклов.

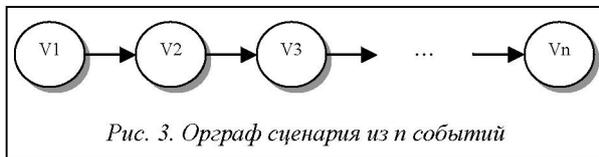


Рис. 3. Ограф сценария из n событий

Интерактивное взаимодействие

Согласно рисунку 2, реакции объектов виртуальной среды на управляющие воздействия обучаемого с помощью средств ввода СИВО составляют достаточно обширный перечень. Размерность его определяется возможностями воспроизводящей системы и включает различные анимационные последовательности, характеризующие все тонкости работы того или иного оборудования. Схему интерактивного взаимодействия можно описать как некую систему *Interact*:

$Interact = \{Obj, Stt, Upr, Act, Admit, Action\}$, (2) в которой *Obj* – множество управляемых объектов; *Stt* – множество состояний, в которых могут находиться управляемые объекты; *Upr* – множество возможных управляющих воздействий, осуществляемых над объектами при помощи средств ввода СИВО; *Act* – множество возможных реакций виртуальных моделей управляемых объектов на управляющее воздействие; *Admit* – предикат, определяющий возможность осуществления над объектом в заданном состоянии указанного действия: $Admit(O_i, S_j, U_k) = \{0, 1\}$, где $O_i \in Obj$, $S_j \in Stt$, $U_k \in Upr$; *Action* – функция, определяющая тип реакции объекта на заданное управляющее воздействие и новое состояние, в которое он после этого переходит: $Action(O_i, S_j, U_k) = \{S_j, A_n\}$, где $O_i \in Obj$, $S_j \in Stt$, $U_k \in Upr$, $A_n \in Act$.

Связь системы интерактивного взаимодействия *Interact* с ографом сценария *Gscn* выражается соотношением $\exists U, U \in Upr, \exists O, O \in Obj, \exists S, S \in Stt$, что $U(O, S) \in V_{scn}$.

Иными словами, событиями сценария могут являться некоторые действия над объектами, находящимися в соответствующем состоянии.

Запись и воспроизведение

Ключевым моментом в обеспечении тренировочного и экзаменационного режимов работы СИВО являются запись и воспроизведение (ЗВ)

выполненных обучаемым действий. В перечисленных режимах обучаемый осуществляет управление виртуальными объектами СИВО путем воздействия на них с помощью имеющихся средств ввода. Система фиксирует эти действия и сохраняет их в виде последовательности событий, которую, как и сценарий демонстрации (1), можно представить в виде ориентированного графа G_{zv} : $G_{zv} = (V_{zv}, A_{zv})$, где V_{zv} – множество событий, произошедших в процессе работы обучаемого ($V_{zv} \subset V_{eng}$); A_{zv} – множество переходов, определяющих последовательность возникновения событий.

Полученный по результатам работы граф может быть использован при решении задачи контроля выполняемых действий и их оценивания.

Контроль действий посредством системы ЗВ

Очевидно, что контроль за действиями обучаемого в рамках некоторого сценария обучения можно осуществить с помощью использования контрольного графа $G_{ctl} = (V_{ctl}, A_{ctl})$, для которого $V_{ctl} \subset Upr$, где *Upr* – множество возможных управляющих воздействий для данной СИВО. Движением по дугам графа *Gctl* осуществляется контроль поступающих от обучаемого действий, и в случае выполнения неверных манипуляций производятся информирование и ожидание правильных действий.

Контрольный граф *Gctl* может быть получен из графа сценария *Gscn* путем удаления из него узлов V_{scn}' , не принадлежащих множеству управляющих воздействий ($V_{scn}' \notin Upr$), и заменой дуг, инцидентных удаляемым узлам, на дуги, соединяющие инцидентные дугам неудаляемые узлы (рис. 4).

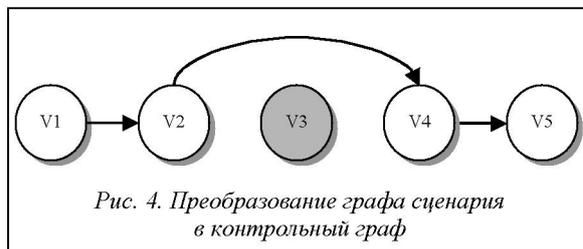


Рис. 4. Преобразование графа сценария в контрольный граф

Оценка деятельности обучаемого посредством системы ЗВ

Анализ деятельности обучаемого на базе графа записи и воспроизведения *Gzv* заключается в сопоставлении цепочки действий обучаемого с последовательностью контрольного графа *Gctl* и в отыскании ошибок.

Ошибки, связанные с невыполнением тех или иных действий, можно назвать фактическими. Ошибки подобного рода неизменно ведут к достижению неверного с точки зрения управления

объектом результата и должны быть учтены при формировании оценки. Граф с наглядным представлением такой ошибки показан на рисунке 5.

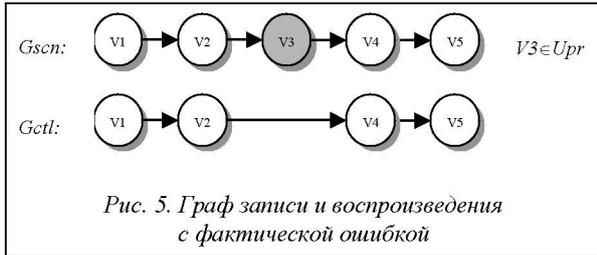


Рис. 5. Граф записи и воспроизведения с фактической ошибкой

Работа со средствами ввода СИВО, как и реальная работа с оборудованием, не исключает варианта возникновения случайных ошибочных действий, которые могут быть исправлены путем возврата к ситуации, приведшей к неправильной последовательности. Ошибки данного типа можно назвать **случайными**. Случайная ошибка в составе графа записи и воспроизведения показана на рисунке 6.

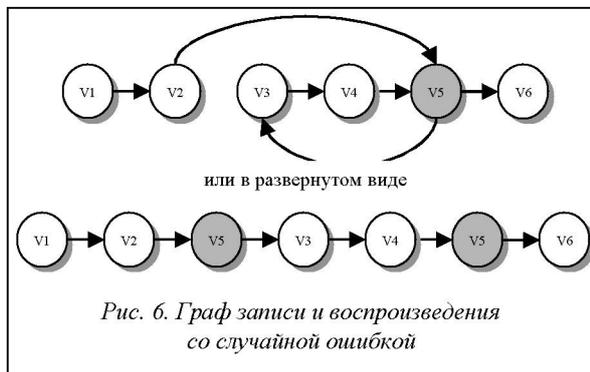


Рис. 6. Граф записи и воспроизведения со случайной ошибкой

В некоторых ситуациях случайные ошибки могут привести к достижению неверного состояния у объекта управления. Предположим, что событие *V2* на рисунке 6 знаменует включение некоторого оборудования, а событие *V5* вызывает его отключение. При этом действия *V3* и *V4*, связанные с выполнением технологических операций на включенном оборудовании, не имеют смысла после выполнения действия *V5*. Для выявления случайных ошибок, приводящих к неверному результату, необходимо определить на контрольном графе *Gctl* группы узлов, допускающие возможность возврата и повторения действий в пределах своей группы (рис. 7).

Для определения принадлежности узла контрольного графа соответствующему подграфу введем функцию $Segment(V_i)$, где $V_i \in Upr$, возвращающую в качестве результата индекс подграфа.

Таким образом, при выявлении в цепочке графа записи и воспроизведения *Gzv* узла с индексом, не соответствующим заданной последовательности, факт обнаружения случайной ошибки $Error(V_n, V_{n+1})$ при переходе между узлами V_n и V_{n+1} , приводящей к достижению неверного состояния

объекта управления, определяется как

$$Error(V_n, V_{n+1}) = \begin{cases} 0, & \text{если } Segment(V_n) = Segment(V_{n+1}), \\ 1, & \text{если } Segment(V_n) \neq Segment(V_{n+1}). \end{cases}$$

Привязка к системе моделирования

Предложенная модель оценки деятельности обучаемого носит исключительно качественный характер, так как оценивает последовательность действий обучаемого. Однако в реальности выполнение технологических операций связано с событиями, возникающими в различные моменты времени, имеющие случайный или определяемый некоторой закономерностью характер. Например, для выполнения очередного шага сценария необходимо дождаться, чтобы некоторые параметры управляемой системы достигли требуемого значения. Оценка действий обучаемого по соблюдению временных и иных измеряемых величин вносит количественные характеристики контроля и повышает степень значимости получаемых результатов.

Для решения задачи количественной оценки требуется привязка сценариев проведения тренировки к некоторым модельным данным. Математическая модель в общем случае представляет собой тактированную по времени систему, однозначно определяющую для некоторой совокупности управляемых объектов их состояние в заданные моменты времени. Математическая модель функционирует на базе текущих данных состояния оборудования и поступающих управляющих воздействий, накапливая все изменения в работе оборудования. Восстановление состояния системы для некоторого момента времени в данном случае возможно только при наличии всей предыстории эволюции системы, то есть сохранении времени работы и моментов возникновения тех или иных событий. Используя предложенное описание интерактивного взаимодействия (2), математическую модель можно представить как систему $Model: Model = \{ObjM, SttM, Input, State\}$, где $ObjM$ – множество объектов системы моделирования, $Obj \subset ObjM$, то есть множество управляемых от системы интерактивного взаимодействия объектов являются частью всех контролируемых объектов системы моделирования; $SttM$ – множество состояний объектов системы, $Stt \subset SttM$, то есть множество состояний объектов системы моделирования перекрывает множество состояний управляемых объектов; $Input$ – функция, вводящая в систему моделирования изменение состояния объекта в определенный момент времени: $Input(t, O_i) = S_j$, где $O_i \in ObjM$, $S_j \in SttM$; $State$ – функция, позволяющая получить для определенного момента времени состояние моделируемого объекта: $State(t, O_n) = S_m$, где $O_n \in ObjM$, $S_m \in SttM$.

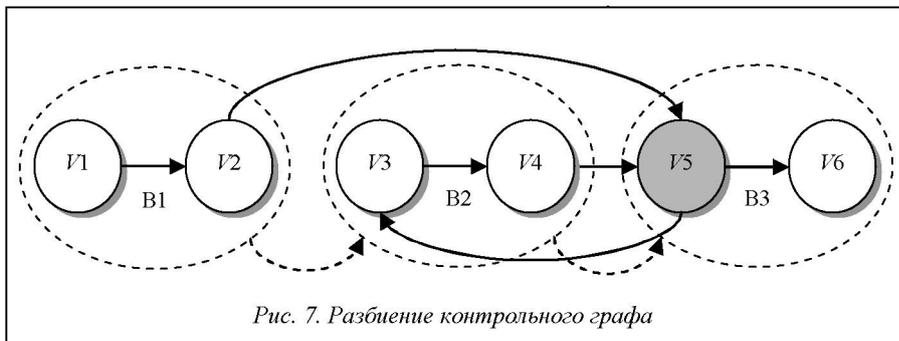


Рис. 7. Разбиение контрольного графа

помощью контрольного графа: ветвления событий, выполнения блоков действий в различной последовательности и выполнения циклической последовательности действий.

Устранение выявленных недостатков возможно путем более углубленной взаимосвязи сценариев выполнения действий с математическими моделями объектов управления. Опыт разработок подсказывает, что развитие в данном направлении приведет к созданию полноценной тренажерной системы, однако при этом существенно возрастает сложность такой системы.

В заключение следует отметить, что в статье представлена формализация задачи обучения персонала средствами систем имитации визуальной обстановки. Описанные подходы реализованы при создании в Центре тренажеростроения (г. Москва) средств подготовки космонавтов для работы на борту МКС с научной аппаратурой и при проведении космических экспериментов. Разработанные по описанной схеме программные продукты используются в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина (г. Москва) в качестве наглядных пособий при подготовке космонавтов.

Для внесения в контрольный граф $Gctl$ информации о количественной оценке деятельности обучаемого на каждую дугу $A_i \in Actl$, задающую переход между событиями сценария, навешивается информация о временных задержках и состояниях объектов, которые должны быть соблюдены при переходе от одного действия к другому: $Control(A_i) = \{T, StatePair\}$, где T – промежуток времени, который должен быть выдержан перед выполнением очередного действия; $StatePair$ – множество пар объект-состояние, задающих состояния объектов, в которых они должны быть при переходе к новому событию: $StatePair = \{(O_i, S_j)\}$, где $O_i \in ObjM, S_j \in SttM$.

Таким образом, при фиксации очередного события в цепочке графа записи и воспроизведения Gzv осуществляется проверка контролирующей информации $Control$ с определением факта возникновения ошибочного действия:

$$Error(A_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i \geq T \cap \forall P, \\ P(O_n, S_m) \in StatePair, & State(t_i, O_n) = S_m; \\ 1, & \text{если } t_i < T \cup \exists P, \\ P(O_n, S_m) \in StatePair, & State(t_i, O_n) \neq S_m. \end{cases}$$

Проблемы оценки деятельности обучаемого с помощью системы ЗВ

К недостаткам предложенной модели следует отнести отсутствие возможности реализации с

Литература

1. Software for modeling, simulation and embedded graphics application development. URL: <http://www.presagis.com/> (дата обращения: 05.03.2013).
2. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов: учеб. для вузов. 3-е изд. СПб: Питер, 2009. 384 с.

References

1. Software for modeling, simulation and embedded graphics application development, available at: <http://www.presagis.com/> (accessed 18 July 2013).
2. Novikov F.A., *Diskretnaya matematika dlya programmistov* [Discrete maths for programmers], 3rd edition, SPb, Piter, 2009.

УДК 004.72

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ГРАФИЧЕСКИХ СЕРВЕРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРЕНАЖЕРОВ, ТРЕНАЖЕРНО-МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ

В.В. Янюшкин, к.т.н., начальник отдела (Донской филиал Центра тренажеростроения, Платовский просп., 101, г. Новочеркасск, 346400, Россия, vadim21185@rambler.ru)

В статье рассматриваются существующие подходы к разработке систем, проблемы, недостатки и пути решения с использованием новых серверных технологий и виртуализации. К недостаткам используемых решений следует от-