

СЦЕНАРНАЯ ОНТОЛОГИЯ УЧЕБНОГО СИМУЛЯТОРА

© 2016 А.В. Иващенко, Н.А. Горбаченко

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 11.11.2016

В статье предлагается формальное определение и описание сценарной онтологии учебного симулятора. Области возможного применения включают симуляторы вождения, авиационные тренажеры, тренажеры промышленной, железнодорожной и сельскохозяйственной техники, медицинские тренажеры. Современный тренажер рассматривается как сложное техническое изделие, которое необходимо адаптировать для применения в учебном процессе и реализовать специализированные методики обучения, направленные на эффективное использование возможностей имитационного моделирования. Кроме этого, образовательные технологии могут различаться в разных учебных заведениях, что часто связано с разнообразием опыта и традиций. Для решения этой проблемы необходимо предоставить возможность конфигурирования и настройки учебных тренажеров с учетом специфики и индивидуальных требований конкретных вузов. В статье предлагается решение, основанное на формировании базы знаний учебного симулятора, отделенного от его собственной реализации, и предоставлении возможностей специалистам университетов по расширению и дополнению этой базы знаний, что может потребоваться для адаптации и внедрения тренажеров в учебный процесс. Для моделирования текущего состояния реального мира предлагается представить некоторую сцену, которая содержит объекты и субъекты взаимодействия. Каждый объект сцены обладает физическим и логическим представлением. Физическое представление моделирует собственное поведение объекта (изменение его пространственной конфигурации в результате непрерывного воздействия на него внешних сил). Логическое представление моделирует специфичную реакцию объекта на различные события, происходящие в процессе моделирования (столкновение с субъектами, деформация и т.п.). Переход между состояниями сцены осуществляется при возникновении событий – внешних (сигнализирующих о действиях пользователя) и внутренних (возникающие в процессе моделирования). В статье рассмотрена проблема построения онтологий для симуляционного обучения, предложено формальное описание онтологии и технология синтеза сценариев, рассмотрены некоторые свойства. Предложенная модель сценарной онтологии учебного симулятора позволяет сократить временные затраты и трудоемкость создания новых тренажеров, а также адаптации существующих симуляционных решений при их внедрении и практическом использовании в системе высшего образования.

Ключевые слова: базы знаний, симуляционное обучение, онтология.

ВВЕДЕНИЕ

Применение современных симуляционных технологий, трехмерного моделирования и виртуальной реальности в учебном процессе позволяет существенно повысить эффективность и сократить продолжительность освоения практических навыков в разнообразных областях человеческой деятельности. С этим фактом связано широкое распространение разнообразных тренажеров в высшем образовании, например, активно применяются симуляторы вождения, авиационные тренажеры, тренажеры промышленной, железнодорожной и сельскохозяйственной техники и т.п. Крайне высокую эффективность демонстрируют медицинские тренажеры [1, 2].

Однако внедрение тренажеров и симуляторов на практике часто связано с определен-

ными трудностями. Современный тренажер представляет собой сложное техническое изделие, которое необходимо адаптировать для применения в учебном процессе и реализовать специализированные методики обучения, направленные на эффективное использование возможностей имитационного моделирования. Кроме этого, образовательные технологии могут различаться в разных учебных заведениях, что часто связано с разнообразием опыта и традиций. Для решения этой проблемы необходимо предоставить возможность конфигурирования и настройки учебных тренажеров с учетом специфики и индивидуальных требований конкретных вузов.

В данной статье предлагается решение, основанное на формировании базы знаний учебного симулятора, отделенного от его собственной реализации, и предоставлении возможностей специалистам университетов по расширению и дополнению этой базы знаний, что может потребоваться для адаптации и внедрения тренажеров в учебный процесс.

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий. E-mail: anton.ivashenko@gmail.com
Горбаченко Николай Александрович, аспирант кафедры информационных систем и технологий.

1. ПРОБЛЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ СИМУЛЯЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Одним из эффективных способов представления баз знаний в сложных технических системах является построение онтологии [3, 4] – концептуальной схемы, используемой для формализации некоторой области знаний и содержащей релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения). Реализация онтологии позволяет построить открытую базу знаний, обеспечивающую разработку на своей основе различных вариантов развития действий в ответ на происходящие события. В этой связи следует упомянуть сценарный подход [5], который позволяет гибко изменять сценарии поведения в зависимости от достигнутых состояний системы и текущего состояния внешней среды в реальном времени, а также прикладные исследования [6], в которых описывается применение онтологий в симуляционном обучении.

Обобщим данные подходы, а также опыт авторов по разработке симуляционных технологий [7, 8], в следующем виде.

Для моделирования текущего состояния реального мира обычно представляют некоторую сцену, которая содержит объекты и субъекты взаимодействия. Каждый объект сцены обладает физическим и логическим представлением. Физическое представление моделирует собственное поведение объекта (изменение его пространственной конфигурации в результате непрерывного воздействия на него внешних сил). Логическое представление моделирует специфичную реакцию объекта на различные события, происходящие в процессе моделирования (столкновение с субъектами, деформация и т.п.).

Физическое представление объекта характеризуется одним или несколькими геометрическими представлениями (физической моделью, графической моделью) а также набором физических свойств, которые определяют изменение состояния геометрических представлений во времени (например, деформацию). В рамках нашей модели мы не рассматриваем подробно природу этих преобразований (т.е. конкретные физические алгоритмы, реализующие это поведение). Состояние физического представления модели в каждый конкретный момент времени полностью определяется набором физических атрибутов (например, положением и ориентацией объекта в пространстве). Очевидно, что разные объекты обладают различным набором физических атрибутов. Стоит заметить, что физическое представление объекта сцены не зависит от конкретного случая, что означает, что один и тот же объект может быть использован при моделировании различных сценариев.

Логическое представление объекта, напротив, зависит от моделируемого случая и не определено

вне контекста моделирования. Оно определяется логическими атрибутами и состояниями объекта и переходами между этими состояниями в результате различных событий, происходящих на сцене. Набор логических состояний одного и того же объекта может быть различен в зависимости от контекста моделирования (например, от выбранного уровня сложности). Суперпозиция состояний всех объектов сцены определяет логическое состояние сцены. При этом переходы между состояниями могут приводить к изменению значений атрибутов объекта.

Переход между состояниями сцены осуществляется при возникновении событий. В нашей модели события делятся на внешние (сигнализирующие о действиях пользователя) и внутренние (возникающие в процессе моделирования). Основной целью моделирования учебного случая в виртуальных тренажерах является успешное выполнение обучаемым ожидаемой последовательности действий. Успешность выполнения определяется своевременностью и точностью выполнения действий (отсутствие лишних действий, наличие всех предусмотренных действий, корректная последовательность действий). Стоит заметить, что с участием одних и тех же объектов и субъектов сцены можно моделировать различные варианты развития событий. Это означает наличие различных наборов логических состояний и переходов между ними, определенных на базе одних и тех же физических представлений объектов.

Совокупность физических представлений объектов сцены, введенных над ними логических состояний, суперпозиция которых образует логическое состояние сцены, переходов между логическими состояниями сцены и событий, приводящих к этим переходам, назовем сценарием операции.

Сценарий (как и процедура моделирования) завершается при достижении сценой одного из терминальных состояний. Когда сцена достигает одного из своих терминальных состояний, результатом выполнения операции является журнал событий, которые возникали в процессе моделирования, конкретное терминальное состояние, в котором находится сцена и текущий набор атрибутов объектов. Эти составляющие позволяют оценить действия оператора.

Оценка действий оператора должна выполняться в баллах по каждому из аспектов:

- соответствие реального терминального состояния ожидаемым;
- выход значений атрибутов объектов сцены за допустимые пределы;
- соответствие внешних событий, возникавших в процессе моделирования набору ожидаемых событий (т.е. выполнение всех предусмотренных действий).

В дальнейшем под трехмерной сценой мы будем понимать совокупность только физических представлений объектов, логические же

представления будут определены только для конкретных сценариев операций.

2. ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ОНТОЛОГИИ

Обозначим трехмерную сцену z_k . Сцена состоит из объектов сцены (органов и инструментов), их атрибутов и правил изменения значений атрибутов во времени (собственного поведения).

Обозначим объекты сцены $b_{k,m}, m = 1..N_b(z_k)$, их атрибуты $a_{k,m,n}, n = 1..N_a(b_{k,m})$, а правила изменения значений атрибутов во времени $\Psi_{k,m}(\Delta t) = \Psi(\{a_{k,m,n}\} \Delta t \rightarrow \{a'_{k,m,n}\})$.

Тогда, согласно введенным терминам, можем определить сцену следующим образом:

$$z_k = \{ \{b_{k,m}\}, \{a_{k,m,n}\}, \{\Psi_{k,m}\} \}. \quad (1)$$

Каждый объект сцены, в зависимости от критических значений своих атрибутов, может находиться в одном из логических состояний.

Введем разделение логических состояний объектов на простые и составные. Простые логические состояния описывают один аспект поведения объекта. Составные логические состояния представляют собой комбинацию простых и описывают все аспекты поведения объекта. Простые состояния будем обозначать $h^0_{k,m,w}, w = 1..N_{h^0}(b_{k,m})$. Составные состояния будем обозначать $h_{k,m,w}, w = 1..N_h(b_{k,m})$. Далее, для простоты, говоря «состояние», будем иметь ввиду составное состояние объекта.

Комбинацию состояний всех объектов сцены назовем состоянием сцены: $s_{k,j} = \{h_{k,m,w}\}$. Мы рассматриваем описание всего операционного случая, поэтому в дальнейшем будем оперировать только состояниями сцены.

В процессе моделирования сцена может изменять свое текущее состояние. Переход между состояниями сцены обозначим:

$$v_{k,j_1,j_2} = v \left(\begin{matrix} s_{k,j_1} \rightarrow s_{k,j_2}, \\ \{a_{k,m,n}\} \rightarrow \{a'_{k,m,n}\} \end{matrix} \right), \quad (2)$$

где $\{a'_{k,m,n}\}$ – новые значения атрибутов объектов сцены.

Сценарий проведения операции обозначим p_x .

Переходы между состояниями в рамках сценария p_x определяются событиями, которые мы обозначим:

$$e_{x,i} = e(z_k, v_{k,j_1,j_2}, g_{x,i}, \tau_{x,i}, t_{x,i}) = \{0, 1\}, \quad (3)$$

где $g_{x,i}$ – тип события: внешнее ($g_{x,i} = 1$) или системное ($g_{x,i} = 0$);

$\tau_{x,i} = [t_{x,i}^i, t_{x,i}^c]$ – интервал ожидания возникновения события $e_{x,i}$;

$t_{x,i}$ – точное время возникновения события $e_{x,i}$, определяется в процессе выполнения сценария.

Напомним, что сценарий операции включает в себя состояния сцены, переходы между этими

состояниями и события, приводящие к этим переходам. Операция завершается, когда сцена приходит в терминальное состояние. Для того, чтобы выделить терминальные состояния из всего множества состояний сцены, введем специальный признак:

$$\gamma_{k,j} = \begin{cases} 1, & s_{k,j} \text{ терминальное;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (4)$$

Введение признака терминального состояния необходимо для того, чтобы отличить состояние, завершающее моделирование, от состояния, из которого ошибочно не определено ни одного перехода.

Определим сценарий операции:

$$p_x = \{ z_k, \{s_{k,j}\}, \{\gamma_{k,j}\}, \{v_{k,j_1,j_2}\}, \{e_{x,i}\} \}. \quad (5)$$

Исходя из назначения симуляционного тренажера, а именно из необходимости контролировать достижение целевых показателей качества проведения последовательной определенных действий, мы можем также определить критерии оценки, которые переводят оцениваемые параметры в баллы за эти параметры. Для этого рассмотрим оцениваемые целевые показатели при выполнении операции пользователем $u_y, y = 1..N_u$.

Первым очевидным целевым показателем в терминах описываемой модели является конкретное терминальное состояние, в котором оказалась сцена в результате выполнения пользователем действий над ней. Это состояние мы обозначим $s^*_{x,y}$ и определим для него отображение

$$R_s(s^*_{x,y}) = R_s(s^*_{x,y} \rightarrow r_s \in [0, \infty)).$$

Вторым показателем являются значения атрибутов объектов сцены при достижении ее терминального состояния. Обозначим эти значения как $a^*_{k,m,n,x,y}, n = 1..N_a(b_{k,m})$. По аналогии с предыдущим показателем определим отображение:

$$R_a(\{a^*_{k,m,n,x,y}\}) = R_a(\{a^*_{k,m,n,x,y}\} \rightarrow (r_{a_1}, r_{a_2}, \dots, r_{a_{d_x}}) \in R^{d_x}),$$

где d_x – размерность вектора оценок атрибутов (несколько атрибутов могут быть агрегированы в одну оценку, и один атрибут может участвовать в нескольких оценках).

Третьим показателем являются внешние события, возникшие в результате действий пользователя. Обозначим их $e^*_{x,y,q} = e^*(p_x, t^*_{x,y,q}) = \{0, 1\}$. Для каждого сценария существует последовательность необходимых для выполнения действий, т.е. список ожидаемых внешних событий и отношений следования между ними. Определим отношение следования между событиями:

$c_{x,j_1,j_2} = c(e_{x,j_1}, e_{x,j_2}, g_{x,j_1} \neq g_{x,j_2})$. Тогда ожидаемую последовательность действий можно определить как множество ожидаемых событий (включенное в множество всех предусмотренных

событий) и множество ожидаемых отношений следования между ними:

$$\tilde{E}_x = \{ e_{x,q} \} \subseteq \{ e_{x,i} \} \{ c_{x,q_1,q_2} \}. \quad (6)$$

Имея ожидаемую последовательность действий и реальную последовательность действий пользователя, можем определить отображение:

$$R_e(\{ e^*_{x,y,q} \}, \tilde{E}_x) = R_e(\{ e^*_{x,y,q} \}, \tilde{E}_x \rightarrow \rightarrow (r_{e_1}, r_{e_2}, \dots, r_{e_{v_x}}) \in R^{v_x}$$

где v_x – размерность вектора оценок событий, которая равна количеству ожидаемых событий.

Определив таким образом оценки основных показателей мы можем также определить финальное количество баллов, которые будут присуждены пользователю с помощью отображения:

$$R(r_s, r_{a_1}, r_{a_2}, \dots, r_{a_{d_x}}, r_{e_1}, r_{e_2}, \dots, r_{e_{v_x}}) = R(r_s, r_{a_1}, r_{a_2}, \dots, r_{a_{d_x}}, r_{e_1}, r_{e_2}, \dots, r_{e_{v_x}} \rightarrow r \in [0,100]) . \quad (7)$$

Рассмотрим простой пример реализации подобных критериев:

$$R_s(s^*_{x,y}) = \begin{cases} 1, s^*_{x,y} - \text{ожидаемое состояние} \\ 0, \text{иначе} \end{cases}$$

$$R_a(\{ a^*_{k,m,n,x,y} \}) = (f(a^*_{k,m,1,x,y}), f(a^*_{k,m,2,x,y}), \dots, f(a^*_{k,m,N_a,x,y}))$$

$$f(x) = \begin{cases} 1, x < 1 \\ 0, x > 5 \\ \frac{1}{x}, 5 > x > 1 \end{cases}$$

$$R_e(\{ e^*_{x,y,q} \}, \tilde{E}_x) = 0$$

$$R(r_s, r_{a_1}, r_{a_2}, \dots, r_{a_{d_x}}, r_{e_1}, r_{e_2}, \dots, r_{e_{v_x}}) = \frac{r_s + \sum_{i=1}^{d_x} r_{a_i} + \sum_{j=1}^{v_x} r_{e_j}}{1 + d_x} \cdot 100.$$

Максимальная оценка в 100 баллов будет получена, если пользователь достигнет ожидаемого терминального состояния сцены, при этом значения всех атрибутов объектов сцены будут меньше единицы. Последовательность действий, благодаря которой пользователь достиг терминального состояния, не оценивается.

Понятно, что для одного и того же сценария могут быть определены различные правила оценивания. Таким образом, сценарий определяет варианты прохождения операции, но не определяет оценку, которую пользователь получит за прохождение.

3. СИНТЕЗ СЦЕНАРИЕВ

Одной из задач, которые стоят перед моделью является обеспечение расширяемости набора моделируемых случаев. Наша модель позволяет определить операции, которые позволяют на основе уже созданных сценариев получать новые сценарии.

Определим операцию объединения сцен:

$$z_{k_1} + z_{k_2} = z_{k_3} \left(\begin{array}{l} \{ b_{k_1,m_1} \} \cup \{ b_{k_2,m_2} \} \\ \{ a_{k_1,m_1,n_1} \} \cup \{ a_{k_2,m_2,n_2} \} \\ \{ \Psi_{k_1,m_1} \} \cup \{ \Psi_{k_2,m_2} \} \end{array} \right) \quad (8)$$

Набор логических состояний инструментов в новом сценарии остается таким же, как и в исходных сценариях. Состояния объекта в новом сценарии объединяются как декартово произведение исходных состояний.

Обозначим операцию объединения сценариев:

$$p_{x_1} + p_{x_2} = p_{x_3} . \quad (9)$$

В результате операции объединения множество состояний объекта сцены изменяется согласно следующим правилам:

$$(h_{k,m,j_1}, h_{k,m,j_2}) \rightarrow h'_{k,m,j_3},$$

$$h'_{k,m,j_3} = \{ h^0_{k,m,j_1} \} \cup \{ h^0_{k,m,j_2} \}, \quad (10)$$

где h_{k,m,j_1} и h_{k,m,j_2} – состояния объекта сцены в объединяемых сценариях, $\{ h^0_{k,m,j_1} \}$ и $\{ h^0_{k,m,j_2} \}$ – простые состояния, которые их задают, а h'_{k,m,j_3} – состояние объекта сцены в результирующем сценарии.

Новые состояния сцены являются комбинациями новых состояний объектов: $s'_{k,i} = \{ h'_{k,m,j} \}$

Множество переходов между состояниями изменяется согласно следующим правилам:

$$v_{k,j_1,j_2} \rightarrow \{ v'_{k,l,m} \},$$

$$v'_{k,l,m} = v \left(\begin{array}{l} s'_{k,l} \rightarrow s'_{k,m} \\ \{ a_{k,m,n} \} \rightarrow \{ a'_{k,m,n} \} \end{array} \right), \quad (11)$$

где s'_l – состояние сцены, являющееся производным от s_{j_1} , s'_m – состояние сцены, являющееся производным от s_{j_2} , v_{k,j_1,j_2} – переход в исходном сценарии, $v'_{k,l,m}$ – переход в результирующем сценарии.

Терминальность состояния сцены в новом сценарии определяется следующим образом:

$$\gamma'_{k,j_3} = \gamma_{k,j_1} \vee \gamma_{k,j_2}, \quad (12)$$

где γ_{k,j_1} и γ_{k,j_2} – значения признака терминальности у состояний s_{k,j_1} и s_{k,j_2} в исходных сценариях соответственно. Другими словами, если хотя бы одно из исходных состояний являлось терминальным, то результирующее состояние также будет терминальным.

Множество событий изменяется таким образом, чтобы соответствовать новому множеству переходов между состояниями:

$$\{ e_{x_1,i} \} \{ e_{x_2,j} \} \rightarrow \{ e_{x_3,j} \},$$

$$e_{x_3,i} = e(z_k, v'_{k,j_1,j_2}, g_{x_3,i}, \tau_{x_3,i}, t_{x_3,i}),$$

$$\tau_{x_3,i} = \tau_{x_1,i}, \text{ если } e_{x_3,i} \text{ получено из } e_{x_1,i},$$

$$\tau_{x_3,i} = \tau_{x_2,i}, \text{ иначе.}$$

$$g_{x_3,i} = g_{x_1,i}, \text{ если } e_{x_3,i} \text{ получено из } e_{x_1,i},$$

$$g_{x_3,i} = g_{x_2,i}, \text{ иначе.}$$

Применяя описанные операции к двум произвольно выбранным существующим сценариям, можем получить новый сценарий. Из определения операций очевидно, что объединение результирующего сценария с одним из исходных сценариев даст в результате тот же самый результирующий сценарий. Заметим, что любой сценарий может быть получен путем объединения этого сценария с пустым (т.е. не содержащим объектов, состояний, переходов, признаков терминальности и событий). Пустой сценарий обозначим $p^0 = \{z^0\}$, где z^0 – сцена, не содержащая объектов.

Из определения операции объединения следует, что она может иметь один из следующих исходов.

1. Будет получен новый сценарий
2. Будет получен один из исходных сценариев
3. Будет получен один из уже существующих сценариев, не являющихся исходными

В любом из исходов результатом операции над сценариями также будет сценарий, следовательно, множество сценариев замкнуто относительно операции объединения.

Очевидно также, что некоторые сценарии невозможно получить, комбинируя уже существующие (в примере, приведенном ранее, такими сценариями являются два исходных сценария). Будем называть такие сценарии элементарными или базисными. Сценарии, выражаемые через операцию объединения базисных сценариев, будем называть сложными сценариями.

Введем между сценариями отношение равенства. Будем называть сценарии p_1 и p_2 эквивалентными или говорить, что сценарии p_1 и p_2 равны, если они определены для одной и той же сцены z_k , и выполняются следующие соотношения:

$$\begin{cases} \{s_{1,j}\} = \{s_{2,j}\} \\ \{\gamma_{1,j}\} = \{\gamma_{2,j}\} \\ \{v_{1,j_1,j_2}\} = \{v_{2,j_1,j_2}\} \\ \{e_{1,i}\} = \{e_{2,i}\} \end{cases} \quad (13)$$

Будем обозначать равенство $p_1 = p_2$.

Заметим, что при фиксированном конечном множестве базисных сценариев множество всех сценариев конечно. Это следует из определения операции объединения. Рассмотрим операцию объединения всех базисных сценариев, которая даст в результате некоторый сценарий \tilde{p}_x . Любой известный сценарий в нашей модели является или базисным, или производным от базисного. Объединение сценария \tilde{p}_x с любым из базисных сценариев даст в результате этот же сценарий \tilde{p}_x (это следует

из определения операции объединения). Любой сценарий, не являющийся базисным, по определению выражается через объединение базисных, следовательно, операция объединения сценария \tilde{p}_x с любым сложным сценарием выражается как операция объединения сценария \tilde{p}_x с набором базисных сценариев, составляющих объединяемый сложный сценарий, а, следовательно, даст в результате сценарий \tilde{p}_x . Сценарий \tilde{p}_x содержит в себе все базисные элементы, поэтому все другие сложные сценарии содержат меньшее число базисных элементов. Из конечности множества базисных сценариев следует, что количество возможных комбинаций этих сценариев без повторений (повторное использование базисного сценария не имеет смысла) также конечно. Максимальное количество возможных сценариев вычисляется по формуле:

$$N_x = C_Q^1 + C_Q^2 + \dots + C_Q^Q = Q + \frac{Q!}{2 \cdot (Q-2)!} + \dots + 1, \quad (14)$$

где Q – мощность множества базисных сценариев.

Ранее мы говорили, что сценарий определяется состояниями сцены, переходами между этими состояниями и событиями, которые к этим переходам приводят. Мы также ввели операцию объединения сценариев, которая позволяет синтезировать новые сценарии на базе уже существующих. Существует вероятность того, что в результате объединения двух сценариев ошибочно получится сценарий, выполнение которого невозможно за конечное время.

Введем критерий верификации сценария: для любого состояния сцены должно выполняться одно из двух условий:

1. Это состояние является терминальным
2. Из этого состояния существует путь по графу состояний до терминального состояния

Это условие определяет выполнимость сценария. Любой сценарий, удовлетворяющий этому условию имеет возможность быть завершённым за конечное число шагов.

4. АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Операция объединения сценариев является ассоциативной

$$(p_1 + p_2) + p_3 = p_1 + (p_2 + p_3).$$

Для базисных сценариев это следует из определения операции объединения. Сложные сценарии выражаются через объединение базисных, поэтому для них это соотношение также выполняется. Таким образом, множество сценариев с операцией объединения является полугруппой.

Существует не единственный нейтральный элемент на множестве сценариев с операцией объединения

Для операции объединения сценариев существует нейтральный элемент $e = p^0$, как уже

было описано ранее, однако, этот элемент не является единственным, для которого выполняется:

$$\forall p_x : e + p_x = p_x = p_x + e.$$

Выполнимость этого условия для \mathbf{p}^0 очевидна. Однако, это свойство также выполняется для $e = \tilde{p}_x$, включающего в себя все базисные сценарии (как уже было рассмотрено ранее). Следовательно, множество сценариев с операцией объединения не является моноидом и группой.

Для любого элемента множества сценариев не существует обратного элемента по операции объединения

Это очевидным образом следует из определения сценария. Каждый сценарий определяет наличие элементов. Если бы обратный элемент существовал, это был бы сценарий, определяющий отсутствие состояния, перехода, события, объекта сцены. Т.к. описание такого сценария не имеет практического смысла, обратного элемента по операции объединения сценариев не существует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель сценарной онтологии учебного симулятора позволяет сократить временные затраты и трудоемкость создания новых тренажеров, а также адаптации существующих симуляционных решений при их внедрении и практическом использовании в системе высшего образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Iwata N., Fujiwara M., Koderu Y., Tanaka C., Ohashi N., Nakayama G., Koike M., Nakao A.* Construct validity of the LapVR virtual-reality surgical simulator // *Surg Endosc*, 2011. 25(2). P. 423 – 428
2. *Колсанов А.В., Иващенко А.В., Кузьмин А.В., Черепанов А.С.* Комплекс «Виртуальный хирург» для симуляционного обучения хирургии // *Медицинская техника*, 2013. № 6. С. 7 – 10
3. *Лапшин В.А.* Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. 224 с.
4. *Паклин Н.Б., Орешков В.И.* Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. СПб.: Питер, 2010. 700 с.
5. *Троцкий Д.В., Городецкий В.И.* Сценарная модель знаний и язык описания процессов для оценки и прогнозирования ситуаций // *Труды СПИИРАН*, 2009. Вып. 8. С. 94 – 127
6. *Грибова В.В., Петряева М.В., Федорищев Л.А.* Компьютерный обучающий тренажер с виртуальной реальностью для офтальмологии // *Открытое образование*. № 6. 2013. С. 45 – 51
7. *Иващенко А.В., Горбаченко Н.А., Колсанов А.В.* Построение расширяемой программной архитектуры хирургических тренажеров // *Программные продукты и системы*, 2016. № 2. С. 158 – 165
8. *Иващенко А.В., Горбаченко Н.А., Колсанов А.В.* Сценарное представление операции в хирургическом тренажере // *Системы управления и информационные технологии*, 2016. № 2(64). С. 91 – 97

SCENE-BASED SIMULATION TRAINING ONTOLOGY

© 2016 A.V. Ivaschenko, N.A. Gorbachenko

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper proposes a formal definition and description of the scene-based simulation training ontology. Areas of possible application include driving simulators, flight simulators, simulators of industrial, railway and agricultural equipment, medical simulators. Modern simulator is a complex technical product that must be especially adapted to be used in educational process and implement specialized training techniques. In addition, educational technologies may vary in different high schools, which is often associated with a variety of experiences and backgrounds. To solve this problem, there should be provided the ability to configure and customize training simulator-specific and individual requirements of particular universities. The paper proposes a solution based on the formation of a knowledge base training simulator separated from its program code, and providing opportunities for university professionals to expand and complement this knowledge base that may be required for adaptation and implementation of simulators in the training process. To model the current state of the real world it is proposed to implement scenes, which contain objects and subjects of interaction. Each scene object has a physical and logical representation. Physical performance models simulate behavior of an object (change its spatial configuration as a result of continuous exposure to external forces). Logical representation simulates a specific reaction of the object on the various events occurring during simulation (collision with the subjects, deformation, etc.). The transition between the states of the scene is carried out in case of events, both external (signaling the user's activities) and internal (occurring during the simulation). The paper deals with the problem of constructing ontologies for a simulation training, presents a formal description of ontology and technology scenarios synthesis. The proposed model for scene-based simulation training ontology allows reducing the time required and the complexity of the creation of new simulators, as well as the adaptation of existing simulation solutions for their implementation and practical application of the system of higher education.

Keywords: knowledge base, simulation training, ontology.

*Anton Ivaschenko, Doctor of Technics, Professor at the Information Systems and Technologies Department
Nikolay Gorbachenko, Graduate Student at the Information Systems and Technologies Department.*