

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ ОБУЧАЕМЫХ
В ВИРТУАЛЬНОМ ОКРУЖЕНИИ
НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ⁴³**

Н.Н. Войт⁴⁴, Д.С. Канев⁴⁵,
С.И. Бочков⁴⁶, М.Е. Уханова⁴⁷

Аннотация: В статье рассматривается задача анализа действий обучаемого при работе с тренажерами в виртуальном окружении. Для решения данной проблемы предложено использование экспертной системы. Построены модели тренажера и виртуального мира, фрагменты правил для формирования рекомендаций на примере электромонтажных работ. Также приведены результаты вычислительного эксперимента по оценке эффективности использования разработанного метода.

Ключевые слова: виртуальные миры; виртуальный тренажер; оценка действий обучаемых.

**DEVELOPMENT OF TRAINEE ACTIONS EVALUATION
SOFTWARE IN VIRTUAL ENVIRONMENT BASED ON
EXPERT SYSTEM**

N.N. Voit, D.S. Kanev,
S.I. Bochkov, M.E. Ukhanova

Abstract: In the article problem of trainee actions analysis in virtual environment is considered. Expert system solution is offered. Virtual world and devices models, recommendations inference mechanism are built. Also results of experiment on effectiveness of implemented method evaluation are given.

⁴³ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152. Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6.

⁴⁴ Ульяновск, УлГТУ, e-mail: n.voit@ulstu.ru.

⁴⁵ Ульяновск, УлГТУ, e-mail: dima.kanev@gmail.com.

⁴⁶ Ульяновск, УлГТУ, e-mail: bochkovsam1@rambler.ru.

⁴⁷ Ульяновск, УлГТУ, e-mail: mari-u@inbox.ru.

Keywords: virtual worlds; virtual simulator; assessment of the actions of trainees.

Введение

Использование виртуальных тренажеров и виртуальных миров является одним из подходов в подготовке инженеров для развития их прикладных компетенций. Подготовка специалиста на реальном оборудовании частосопряжена с рисками для здоровья и жизни, а иногда и просто невозможна.

Успехи компьютерных технологий активизировали бурное развитие виртуальных систем, лабораторных комплексов, однако в полном объеме пока не решена задача оценки действий обучаемых в подобных системах. Наиболее эффективным подходом является экспертная оценка, проводимая на основе протокола действий, визуального наблюдения. В случае же большого числа обучаемых и ограниченного числа экспертов использование данного метода затруднительно.

Поэтому ставится задача автоматической оценки действий обучаемых и формирования необходимых рекомендаций, для которой предлагается решение в виде экспертной системы на примере электромонтажных работ в виртуальном окружении.

1. Модель виртуального окружения

Виртуальный тренажер представляется как множество входных и выходных контроллеров. У каждого входного контроллера (датчика) есть несколько обрабатываемых событий, меняющих внутреннее состояние тренажера. Наблюдение за состоянием возможно только через внешние контроллеры (индикаторы), каждый из которых может находиться в определенном состоянии.

Таким образом, тренажер имеет вид:

$$TRAIN = (SENSOR, SENSOR_TYPE, IND, IND_TYPE, S, SO, JUMP, OUTPUT),$$

где *SENSOR* – множество входных контроллеров,

SENSOR_TYPE – множество обрабатываемых событий,

IND – множество выходных контроллеров,

IND_TYPE – множество состояний выходных контроллеров,

S – множество внутренних состояний тренажера,

SO – начальное состояние тренажера,

JUMP – функция перехода между состояниями тренажера под действием события на входной контроллер, $S \times SENSOR \times SENSOR_TYPE \rightarrow S$

OUTPUT – функция выхода, $S \rightarrow \{IND, IND_TYPE\}$

Виртуальный мир представляет собой множество объектов, с

которыми может взаимодействовать обучаемый, его модель имеет вид:

$$VIRTUAL_WORLD = (OBJECTS, OBJECT_STATES, \\ OBJECT_ACTIONS, S0, JUMP),$$

где *OBJECTS* – множество объектов виртуального мира,

OBJECT_STATES – множество состояний объектов виртуального мира,

OBJECT_ACTIONS – множество обрабатываемых событий объектами виртуального мира,

S0 – начальное состояние объектов виртуального мира,

JUMP – функция перехода между состояниями объектов виртуального мира под действием событий, $OBJECTS \times OBJECT_STATES \times OBJECT_ACTIONS \times \rightarrow OBJECTS \times OBJECT_STATES$

Для системы анализа действий вид функции перехода между состояниями объектов виртуального мира является неизвестным.

На виртуальный тренажер обучаемый воздействует через действия $A = (OBJECTS, OBJECT_ACTIONS)$ с датчиками или объектами. В процессе работы формируется последовательность действий *L*. Состояния обозначим как $STATE = (OBJECTS, OBJECT_STATES)$, они зависят только от последовательности *L*.

2. Виды рекомендаций

Рекомендация – это текстовая подсказка, помогающая достичь заданной цели с меньшим количеством шагов. Под заданной целью подразумевается множество определенных состояний выходных контролеров.

Рассмотрим классификацию рекомендаций.

1. Рекомендации при отсутствии достижимости каких-либо целей.

Из текущего состояния системы нельзя достичь какой-либо определенной цели, т. е. обучаемый перевел объект виртуального мира в неисправное состояние. Пример условия срабатывания рекомендации «Вы сломали паяльную станцию, установив температуру 600° С. Максимальная допустимая температура 500° С» показан на рис. 1.

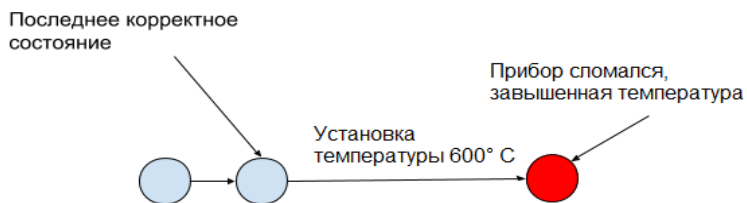


Рис. 1. Пример рекомендации при отсутствии достижимости каких-либо целей

2. Рекомендации при достижении определенной цели. Для достижения текущего состояния системы существует более эффективная последовательность действий. Пример условия срабатывания рекомендации «Вы можете задать напряжение, используя ввод нового значения вместо поразрядного изменения, это сэкономит 2 шага» показан на рисунке 2.

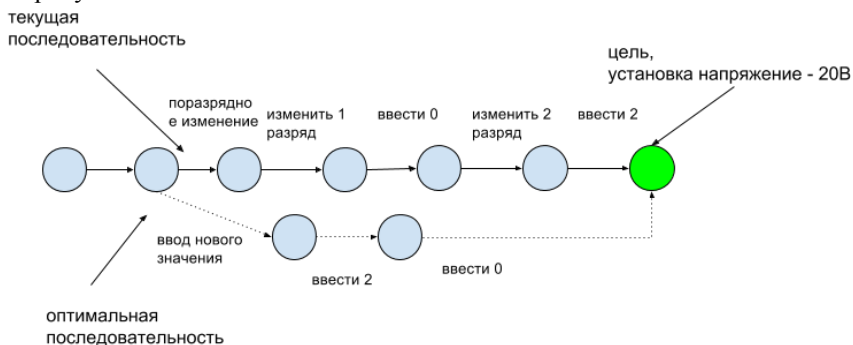


Рис. 2. Пример рекомендации при достижении определенной цели

3. Рекомендации при наличии потенциальных целей. Данный тип рекомендаций подсказывает обучаемому возможные действия для выполнения задачи и таким образом уменьшает неопределенность при планировании последовательности действий для выполнения рабочего задания. Ему также выводится справка, почему его действия не привели к ожидаемому результату. Пример условия срабатывания рекомендации «Вы не можете паять без паяльника. Если вы хотите припаять деталь, возьмите в руку паяльник» показан на рисунке 3.

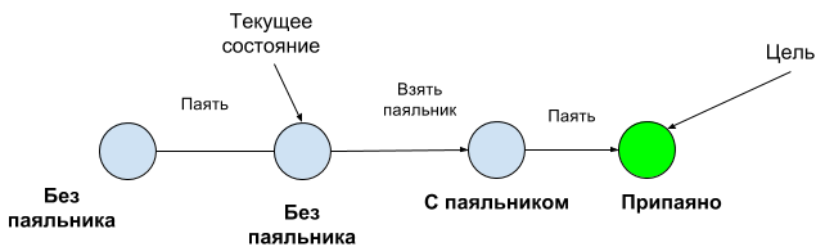


Рис. 3. Пример рекомендации при наличии потенциальных целей

3. Анализ действий

Система анализа действий снимает показания виртуального рабочего места после каждого действия обучаемого. Модель показания имеет вид: $SNAPSHOT = (OBJECT, ACTION, STATE)$, где $OBJECT$ – объект взаимодействия, $ACTION$ – тип взаимодействия, $STATE$ – новое состояние системы. Каждое новое показание поступает в экспертную систему и формирует последовательность показаний. Для доступа к определенному показанию введем терм $snap = \mathbb{N} \rightarrow SNAPSHOT$, аргументом которого является номер смещения относительно последнего показания.

Для оценки действий обучаемых используется прямой логический вывод. Рассмотрим несколько правил для формирования рекомендаций электромонтажным работам на виртуальном рабочем месте.

1. Вы не можете паять без паяльника. Если вы хотите припаять деталь, возьмите в руку паяльник. Правило будет иметь вид:

```
snap(0).object_action='пайка' && snap(0).state.hand <> 'паяльник' =>
puts 'Вы не можете паять без паяльника. Если вы хотите припаять деталь,
      возьмите в руку паяльник.'
```

2. Вы можете задать напряжение, используя ввод нового значения место поразрядного изменения, это сэкономит 2 шага. Правило:

```
snap(-6).object='5' && snap(-6).action='click' && snap(-6).state.shiftUp=true &&
snap(-6).object=='1' && snap(-5).object=='1' && snap(-3).object=='2' &&
snap(-1).object=='3' => puts '...'
```

3. Прежде чем работать с прибором включите его. Правило:

```
snap(0).object <> 'power' && snap(0).state.power=false => puts '...'
```

4. Вы выставили параметры сигнала, но не запустили его.

Правило:

```
snap(?x).state.shiftUp=false && snap(?x).object='0' ... '9' => goal =
'Запуск сигнала', last_goal=?x
?y<last_goal && (snap(?y).ExternalPulsePos=true || snap(?y).ExternalPulseNeg=
true || snap(?y).OuterPulsePos=true || snap(?y).OuterPulseNeg=true) => mode =
true
goal='Установка режима работы' && mode <> true && snap(0).object='power'
=> puts '...'
```

Автомат формирования рекомендаций показан на рис. 4.

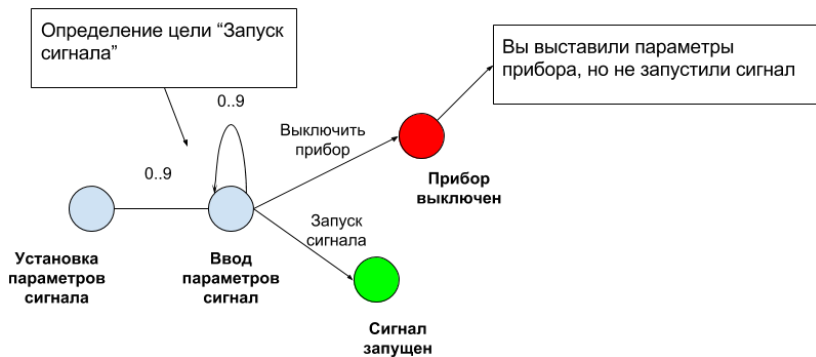


Рис. 4. Формирование рекомендаций

4. Программное обеспечение

Разработка экспертной системы проведена на базе платформ OpenSim и Unity3D. Ее структура показана на рис. 5. Экспертная система имеет веб-интерфейс "Редактор правил" для создания, редактирования, удаления и проверки правил.

Во время работы с виртуальным тренажером формируется протокол действий обучаемых, который состоит из текущего состояния тренажера, объекта взаимодействия и типа взаимодействия. Сформированный в формате REST JSON протокол отправляется на сервер ЭС. Полученные данные анализируются с помощью правил из модуля "База правил", затем формируется ответ, в котором содержится список рекомендаций.

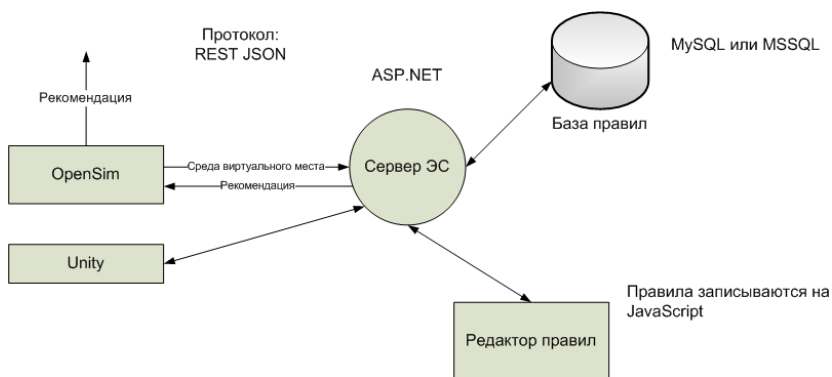


Рис. 5. Структура экспертной системы

Ниже приведен пример демонстрации работы ЭС. Пусть обучающийся, выполняя технологический процесс радиомонтажа, допустил ошибку, начав процесс пайки без паяльника. JSON-объект состояния, передаваемый экспертной системе, имеет следующий вид:
`{"object": "50", "action": "soldering", "context": "mounter",
"state": { "tweezers": false, "bracelet": true, "heatsink": false,
"solderingIron": { "inHand": false }, "nippers": false, "brushFlux": false } }`

После обработки запроса и поиска ошибочно вставленного параметра – выделено жирным и курсивом выше – будет передан следующий ответ: «Вы включили пульт управления в неверный разъем колодки спец. напряжений» (рис. 6).

Тест правил

Отправка

```
{ "object": "50", "action": "soldering", "context": "mounter", "state": { "tweezers": false, "bracelet": true, "heatsink": false, "solderingIron": { "inHand": false }, "nippers": false, "brushFlux": false } }
```

Отправить

Ответ

Вы не можете паять без паяльника. Если вы хотите припаять деталь, возьмите в руку паяльник.

Рис. 6. Веб-интерфейс проверки экспертной системы

5. Вычислительный эксперимент

Цель вычислительного эксперимента состоит в оценке эффекта от применения создаваемых программных средств оценки. Мерой эффекта будет являться процентное соотношение ошибок, допущенных при выполнении техпроцесса в виртуальном окружении с помощью экспертной системы, к стандартному выполнению техпроцесса.

В качестве тренажера было выбрано виртуальное рабочее место радиомонтажника по 2, 3, 4 и 5 разрядам. Для каждого разряда минимальное количество взаимодействий в тренажере 40 действий. Первоначальные результаты отображены в таблице 1.

Таблица 1. Статистика использования виртуального тренажера радиомонтажника

Вид ошибки	Процент допущенных ошибок на одного обучаемого			
	2 разряд	3 разряд	4 разряд	5 разряд
Неисправное состояние	0,00	0,00	0,00	0,00
Неоптимальное достижение цели	0,16	0,20	0,35	0,15
Неверное достижение потенциальной цели	0,24	0,20	0,22	0,21

В таблице 2 показан результат применения метода оценки действий обучаемых для представленных исходных данных после классификации по типам ошибок.

Таблица 2. Результаты применения метода анализа действий

Вид рекомендации	Процент допущенных ошибок на одного обучаемого			
	2 разряд	3 разряд	4 разряд	5 разряд
При отсутствии достижимости целей	0,00	0,00	0,00	0,00
При достижении определенной цели	0,10	0,12	0,25	0,10
При наличии потенциальных целей	0,12	0,10	0,16	0,15

Заключение

Для решения задачи автоматической оценки действий обучаемых при работе в виртуальном окружении предложена экспертная система, использующая продукционный вывод. Внесение знаний выполняется с помощью интервьюирования экспертов предметной области и ручного преобразования знаний в набор порождающих правил. Факты представлены множеством снимков состояний системы после каждого действия обучаемого. Рекомендации формируются на основе прямого логического вывода.

Список литературы

1. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С., Гульшин, В.А. Моделирование виртуального тренажера на основе автоматного подхода // Радиотехника. – 2015. – № 6. – С. 55-58.
2. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С. Модель и метод разработки и анализа компьютерных тренажеров // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 2 (40). – С. 64-71.
3. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Гульшин В.А., Бочков С.И. Проектирование промышленных виртуальных миров на платформе OpenSim // Вестник Ульяновского государственного технического университета (Вестник УлГТУ). – 2016. – №1(77). – С. 42-46.
4. Войт. Н.Н., Молотов Р.С. Обучающий симулятор военного полигона // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2016). Тезисы 16-й международной молодежной конференции. Под ред. А.В. Толока. М.: ООО «Аналитик». – 2016. – С. 30.
5. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка компонентно-сервисной платформы обучения: диаграммы классов программного компонента сценария на UML-языке // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2012. – № 2 (58). – С. 32-36.
6. Войт Н.Н. Разработка методов и средств адаптивного управления процессом обучения в автоматизированном проектировании // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ульяновский государственный технический университет. Ульяновск, 2009.
7. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка компонентно-сервисной платформы обучения: анализ и разработка компонента метода диагностики проектных характеристик обучаемого инженера с помощью диаграмм UML // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (60). – С. 43-46.
8. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание. – Издательский дом Вильямс, 2007.
9. Shortliffe E. (ed.). Computer-based medical consultations: MYCIN. – Elsevier, 2012. – Т. 2.
10. Naser S. A. et al. Knowledge management in ESMDA: expert system for medical diagnostic assistance //AIML Journal. – 2010. – Т. 10. – №. 1. – С. 31-40.