

Разработка экспертной системы оценки действий обучающихся в виртуальных промышленных тренажёрах

А.Н. Афанасьев,
перв. прор., проректор по ДиДО, проф. каф. «Выч. техн.»,
д.т.н., доц. a.afanasev@ulstu.ru,
С.И. Бочков,
асп. каф. «Выч. техн.», м.н.с., bochkovsam1@rambler.ru
УлГТУ, г. Ульяновск

В статье представлен процесс создания экспертной системы оценки действий от теоретико-множественного обоснования до описания технической стороны реализации. Работа экспертной системы объясняется на примере одного из рабочих мест, являющегося частью виртуальной промышленной среды крупного предприятия.

In this article expert system development from theoretical set problem to software implementation is presented. Expert system work is shown on the example of virtual workplace which is represented as a module of large factory virtual industrial environment.

Разработка и внедрение компьютерных виртуальных тренажёрных систем обусловлена необходимостью обучения на крупных предприятиях, в том числе подготовки и переподготовки персонала и специалистов. Главным требованием данных процессов являются сокращение сроков и повышение качества обучения [7-8].

В отличие от традиционных курсов виртуальные системы позволяют полностью «погрузиться» в обучающее пространство, приближенное к реальности [5]. Под виртуальной системой, или виртуальным миром подразумевается моделируемая окружающая среда, «населённая» пользователями, общающиеся друг с другом через «аватары» – графические персонажи [1]. В промышленном виртуальном мире моделируются производственные процессы организации в плане проектных потоков работ по управлению производством и промышленностью, а также технологические процессы при монтаже, сборке, регулировке и наладке промышленных компонентов [2].

Технология виртуальных миров должна не только обладать средствами автоматизированного контроля и оценки, но и учитывать специфику обучения [4], в соответствии с ней оценивать действия обучаемого. С целью анализа действий обучающегося разработана экспертная система (ЭС). В программной реализации она представляет собой сервис, который получает список действий обучаемых, анализирует его и формирует необходимые рекомендации по повышению эффективности деятельности.

Для адекватной работы ЭС было проведено теоретико-множественное обоснование рабочих мест, тренажёры которых используются в виртуальной промышленной среде и действия, над которыми будут представлять собой объект анализа в ЭС. Они разработаны с учётом масштабируемости виртуальной системы и требований к технологическим процессам.

В виртуальной промышленной среде имеются рабочие места монтажника, слесаря-сборщика и регулировщика радиоэлектронной аппаратуры и приборов (РЭАиП). Они разработаны с учётом масштабируемости виртуальной промышленной среды и требований к технологическим процессам и связаны с ЭС, используемой в качестве модуля оценки действий.

Рассмотрим процесс создания ЭС на примере модели рабочего места регулировщика [3]:

$$R_p = \{SIT, SCREW, V, BVTOP, LB, OB, DIV, REG | \\ sit, screw, offsetblock, offsetblockswitch, \\ forkswitch, voltswitch, regulatorswitch, dividor, rotpot1, rotpot2, bvtop\},$$

где

SIT – параметр, показывающий, сидит ли обучающийся за данным рабочим местом;

SCREW – параметр состояния отвёртки, $SCREW \in (NO, HAND, POT_1, POT_2)$, где *NO* – «неактивна»,

HAND – «в руке», *POT₁* – «на потенциометре 1», *POT₂* – «на потенциометре 2»;

$V = \{VO, VS, VV\}$ – модель вольтметра, *VO* – параметр, показывающий, включён ли вольтметр, *VS* – параметр, показывающий, подключена ли вилка к вольтметру, *VV* – значение напряжения;

DIV – параметр состояния делителя напряжения;

BVTOP – триггер открытия/закрытия крышки пульта поверки;

$LB = \{LBO, LBD\}$ – модель пульта нагрузки, *LBO* – индикатор включения пульта нагрузки; *LBD* – параметр наличия делителя напряжения на пульте нагрузки;

$REG = \{RO, RW_1, RW_2, RW_R\}$ – модель регулятора (пульта управления), *RO* – индикатор включения; *RW₁* – параметр наличия подключённого к регулятору провода от верхнего разъёма блока смещения; *RW₂* – параметр наличия подключённого к регулятору провода от нижнего разъёма блока смещения; *RW_R* – параметр наличия подключённого к регулятору оптического провода от блока смещения;

$OB = \{STATE, POT_1, POT_2, U_1, U_2\}$ – модель блока смещения, $STATE$ – состояние блока, $STATE \in (NO, HAND, INBV)$, где NO – «неактивен», $HAND$ – «в руке», $INBV$ – «в пульте поверки»; POT_1 – угол вращения потенциометра 1, POT_2 – угол вращения потенциометра 2, U_1 – параметр, показывающий, подключен ли провод к верхнему разъёму блока смещения, U_2 – параметр, показывающий, подключен ли провод к нижнему разъёму блока смещения;

$sit : R_p \times SIT \rightarrow R_p$ – функция посадки за рабочее место;

$screw : R_p \times SCREW \rightarrow R_p$ – функция взятия/возврата на место отвёртки;

$offsetblock : R_p \times OB \rightarrow R_p$ – функция взятия блока смещения;

$offsetblockswitch : R_p \times U_1 \times U_2 \rightarrow R_p$ – функция подключения/отключения провода к блоку смещения;

$forkswitch : R_p \times VS \rightarrow R_p$ – функция подключения вилки к вольтметру;

$voltswitch : R_p \times VO \rightarrow R_p$ – функция включения/выключения вольтметра;

$regulatorswitch : R_p \times RO \rightarrow R_p$ – функция включения/выключения блока регулировки;

$dividor : R_p \times DIV \times LBD \rightarrow R_p$ – функция установки делителя в пульт нагрузки;

$rotpot1 : R_p \times POT_1 \rightarrow R_p$ – функция вращения потенциометра 1;

$rotpot2 : R_p \times POT_2 \rightarrow R_p$ – функция вращения потенциометра 2;

$bvtop : R_p \times BVTOP \rightarrow R_p$ – функция открытия/закрытия крышки.

Экспертная система представляет собой отдельный сервис, который получает протокол действий обучаемых, анализирует его и формирует необходимые рекомендации.

Анализ данных основан на продукционной модели знаний с прямым выводом. Данная модель позволяет представить знание в виде предложений типа: «ЕСЛИ условие, ТО действие1, ИНАЧЕ действие2». В состав экспертных систем продукционного типа входят база правил (знаний), рабочая память и интерпретатор правил (решатель), реализующий определённый механизм логического вывода. Прямой вывод реализует стратегию «от фактов к заключениям».

Правила к виртуальному рабочему месту регулировщика РЭАиП организованы следующим образом:

1. ЕСЛИ "!REG.RW", ТО "Вы включили пульт управления в неверный разъём колодки спец. напряжений".
2. ЕСЛИ "(SCREW.POT₁ || SCREW.POT₂) && (!REG.RW_R)", ТО "Вы не подключили оптический провод перед регулировкой".
3. ЕСЛИ "(SCREW.POT₁ || SCREW.POT₂) && (!LB.LBO)", ТО "Вы не подключили блок нагрузки перед регулировкой".
4. ЕСЛИ "(SCREW.POT₁ || SCREW.POT₂) && (!DIV)", ТО "Вы не установили делитель перед регулировкой".
5. ЕСЛИ "(SCREW.POT₁ || SCREW.POT₂) && (!V.VO)", ТО "Вы не включили вольтметр перед регулировкой".
6. ЕСЛИ "(SCREW.POT₁ || SCREW.POT₂) && (!V.VS)", ТО "Вы не подключили вольтметр перед регулировкой".
7. ЕСЛИ "(SCREW.POT₁ || SCREW.POT₂) && (!LB.LBO)", ТО "Вы не включили пульт управления перед регулировкой".

Структура экспертной системы приведена на рис. 1. ЭС имеет веб-интерфейс "Редактор правил" для создания, редактирования, удаления и проверки правил.

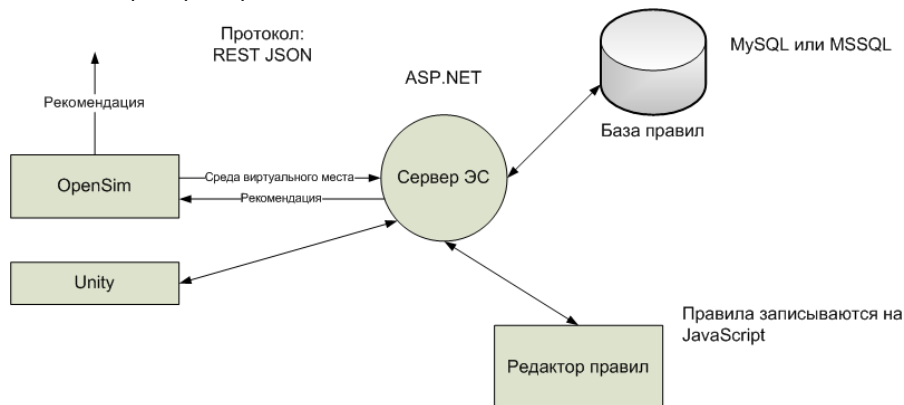


рис. 1. Структура экспертной системы

Во время работы с тренажёром формируется протокол действий обучаемых, который состоит из текущего состояния тренажёра, объекта, с которым взаимодействовал обучающийся, 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.

Ниже приведён пример демонстрации работы ЭС. Пусть обучающийся, выполняя технологический процесс регулировки РЭАиП, допустил ошибку, включив пульт управления в неправильный разъём. JSON-объект состояния, передаваемый экспертной системе, имеет следующий вид:

```
{
  "object": "50",
  "action": "click",
  "context": "adjuster",
  "state":
  {
    "ВилкаПультыУправления":
    {"rightParent": false},
    "ВилкаПитанияВольтметра":
    {"rightParent": true},
    "КабельКБлокуНагрузки":
    {"greenWire": false},
    "КабельВБлокПоверки":
    {"redWire": false},
    "кВС":
    {"blueWire": false},
    "кВЖ":
    {"yellowWire": false},
    "МестоДляДелителя":
    {"Divider": false}
    ...
  }
}
```

После обработки запроса и поиска ошибочно вставленного параметра – выделено жирным и курсивом выше – будет передан следующий ответ: «Вы включили пульт управления в неверный разъём колодки спец. напряжений» (рис. 2).

Отправка

```
{
  "object": "50",
  "action": "click",
  "context": "adjuster",
  "state": {
    "ВилкаПультыУправления": {"rightParent": false},
    "ВилкаПитанияВольтметра": {"rightParent": true},
    "КабельКБлокуНагрузки": {"greenWire": false},
    "КабельВБлокПоверки": {"redWire": false},
    "кВС": {"blueWire": false},
    "кВЖ": {"yellowWire": false},
    "МестоДляДелителя": {"Divider": false},
    "socket": {"voltmetrWire": false},
    "voltmetrSwitch": {"voltmetrPower": false},
    "pultSwitch": {"pultPower": false},
    "Делитель": {"electricity": false},
    "КоннекторКрасный": {"electricity": false},
    "КоннекторЖелтый": {"electricity": false},
    "КоннекторСиний": {"electricity": false},
    "КоннекторЗелёный": {"electricity": false},
    "БольшойПотенциометр": {"screwdriver": false, "wasRegulated": false},
    "МалыйПотенциометр": {"screwdriver": false, "wasRegulated": false},
    "ВилкаКВольтметру": {"electricity": false},
    "pultLamp": {"lampsGreen": false},
    "prevState": {
      "ВилкаПультыУправления": {"rightParent": true},
      "ВилкаПитанияВольтметра": {"rightParent": true},
      "КабельКБлокуНагрузки": {"greenWire": false},
      "КабельВБлокПоверки": {"redWire": false},
      "кВС": {"blueWire": false},
      "кВЖ": {"yellowWire": false},
      "МестоДляДелителя": {"Divider": false},
      "socket": {"voltmetrWire": false},
      "voltmetrSwitch": {"voltmetrPower": false},
      "pultSwitch": {"pultPower": false},
      "Делитель": {"electricity": false},
      "КоннекторКрасный": {"electricity": false},
      "КоннекторЖелтый": {"electricity": false},
      "КоннекторСиний": {"electricity": false},
      "КоннекторЗелёный": {"electricity": false},
      "БольшойПотенциометр": {"screwdriver": false, "wasRegulated": false},
      "МалыйПотенциометр": {"screwdriver": false, "wasRegulated": false},
      "ВилкаКВольтметру": {"electricity": false}
    }
  }
}
```

Отправить

Ответ

Вы включили пульт управления в неверный разъём колодки спец. напряжений

рис. 2. Веб-интерфейс проверки экспертной системы

Использование виртуальных промышленных миров способствует повышению эффективности обучения, сокращению затрат на расходные материалы.

Внедрение ЭС позволяет сократить сроки повышения квалификации радиомонтажников, слесарей-сборщиков РЭАиП и регулировщиков РЭАиП в среднем на 40% [2].

Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152.

Литература

1. Learning in virtual worlds: research and applications / edited by Sue Gregory, Mark J. W. Lee, Barney Dalgarno, and Belinda Tynan. (2016).
2. А.Н. Афанасьев, Н.Н. Войт, В.А. Гульшин, С.И. Бочков. Проектирование промышленных виртуальных миров на платформе OpenSim. // Вестник УлГТУ. – 2017. – №1.

3. Афанасьев А.Н., Бочков С.И. Математическое и алгоритмическое обеспечение рекомендательной системы для виртуальных тренажеров. // Ученые записки института социальных и гуманитарных знаний. Выпуск №1(15), 2017. Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Электронная Казань-2017». (Казань, 25–26 апреля, 2017). Казань: ЮНИВЕРСУМ, 2017. С. 112–117.
4. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С. Модель и метод разработки и анализа компьютерных тренажеров. // Автоматизация процессов управления. – 2015. – №2. – С. 64-71.
5. Технологии виртуальных миров в электронном обучении. Афанасьев А.Н., Егорова Т.М. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23109124>, свободный.
6. Трухин А.В. Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем // Открытое и дистанционное образование. Томск, 2008. №1 (29). С. 32-40.
7. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка компонентно-сервисной платформы обучения: диаграммы использования и деятельности программного компонента сценария на UML-языке // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2012. – № 1 (57). – С. 66-68.
8. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Реализация конструктора сценария обучающих курсов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (53). – С. 54-59.