

УДК 378.14: 004.94:62

А.Г. ЧУХРАЙ, С.И. ПЕДАН

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МЕТОД ВЫБОРА СЛЕДУЮЩЕГО ШАГА ВНЕШНЕГО ЦИКЛА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ

Описана разработка метода выбора следующего шага внешнего цикла интеллектуальных компьютерных обучающих программ. Принятие решений о выборе следующего шага обучения осуществляется исходя из анализа уровня компетенции обучаемого и структуры компонентов компетенции заданий обучающей программы. Описан подход к представлению структуры компонентов компетенции заданий. Рассмотрена реализация разработанного метода выбора следующего шага обучения в рамках универсальной среды создания и трансляции обучающих программ. Тестирование разработанного метода показало его высокую эффективность в обеспечении повышения уровня компетенции обучаемых, достигаемого в результате формирования обучающей программой индивидуальной последовательности заданий для каждого из них.

Ключевые слова: интеллектуальное компьютерное средство обучения, внешний цикл, компонент компетенции, байесовская сеть, обратная связь, универсальная среда.

Введение

Повышение эффективности традиционного процесса обучения можно достичь путем его поддержки с помощью интеллектуальных компьютерных средств обучения (ИКСО), способных обеспечить формирование для каждого из обучаемых индивидуальной программы изучения учебного материала. Тематика и сложность формируемой последовательности обучения должна соответствовать уровню компетенции каждого из обучаемых. Важной задачей является решение вопроса логического представления множества знаний и умений в ИКСО, а также разработки метода, обеспечивающего формирование рациональной последовательности заданий для овладения обучаемым данными знаниями и умениями.

Существующие модели представления знаний разработаны для конкретной предметной области изучаемых с помощью ИКСО задач или для ограниченного количества форм внешнего представления заданий (например, задание должно содержать не более одного элемента текстового ввода или одного поля построения графика с таблицей значений). Так модель представления знаний системы Andes [1] разработана для решения множества задач механики, алгоритм решения которых может быть представлен с помощью ограниченного набора правил (элементов знаний).

1. Постановка задачи исследования

В настоящем исследовании решаются следующие задачи:

1) разработка логического представления структуры компонентов компетенции (КК) ИКСО для различных учебных дисциплин;

2) разработка метода выбора следующего шага выполнения ИКСО исходя из анализа владения обучаемым каждым КК;

3) программная реализация разработанного метода принятия решений по выбору следующего шага выполнения ИКСО.

2. Представление структуры компонентов компетенции ИКСО

Изучение образовательного курса и, в частности, содержания обучающей программы, состоит в овладении обучаемым некоторым множеством элементов знаний и умений, или компонентов компетенции. При создании обучающей программы автор ИКСО формирует множество заданий, включающих в себя некоторый набор различных КК.

Введем понятие внешнего цикла, который ответственен за выбор следующего задания ИКСО, осуществляемый исходя из сравнения текущего состояния компетенции обучаемого и КК каждого из невыполненных заданий обучающей программы. Результатом работы метода выбора во внешнем цикле является формирование рациональной последовательности выполнения заданий ИКСО, при выполнении которых обучаемый имеет возможность овладеть набором КК, соответствующим уровню его подготовки. Форма траектории заданий, формируемой внешним циклом, зависит от уровня компетенции обучаемого, кото-

рую он демонстрирует при выполнении каждого из таких заданий.

В исследовании [1], описывающем модели представления компонентов знаний в системе Andes, авторы выделяют два типа знаний: общие знания предметной области (общие правила и правила, применяемые при решении конкретной задачи), и знания, специфичные для решения конкретной задачи (цели, стратегии, отдельные факты, применение общих правил в задании). Возможность формирования структуры знаний предметной области изучаемых в Andes задач упрощается разработанной системой автоматического формирования модели знаний. Тем не менее, успех работы данной системы определяется ограниченным набором из 540 правил, используемых при решении около 120 задач механики. Для возможности представления знаний предметных областей различных учебных дисциплин и ручного формирования множества их КК, выделим три вида КК:

1) глобальные КК, определяющие возможность применения соответствующих им знаний и умений в контекстах любого из заданий ИКСО;

2) контекстные КК, определяющие возможность применения соответствующих им знаний и умений глобального КК в контексте определенного задания;

3) локальные КК, определяющие возможность применения определенных знаний и умений в контексте только одного задания. Локальные КК не имеют связи с глобальными КК и поэтому начальная уверенность во владении ими составляет 50%.

Например, пусть третье задание некоторой ИКСО заключается в необходимости построения графика квадратичной функции в специальном графическом редакторе. В данном случае ИКСО может содержать глобальный КК «Умение построения графиков квадратичной функции», контекстный КК «Умение построения графика квадратичной функции в третьем задании» и локальный КК «Знание правил работы в редакторе построения графиков функций», который применим только в данном задании.

Связь между глобальными и контекстными КК можем представить байесовской сетью (БС) [2] (рис. 1), включающей узел владения глобальным компонентом компетенции GlobalCC, а также кортеж узлов владения контекстными КК $S = (ContextCC_1, \dots, ContextCC_n)$, $n \in N$. Узлы БС имеют два состояния: Mastered (владение КК) и Notmastered (отсутствие владения КК).

Значения таблиц условных вероятностей (ТУВ) узлов контекстных КК определяются следующими зависимостями:

- при владении глобальным КК:

$$P(ContextCC_i = Mastered | GlobalCC = Mastered) = 1 - ContextSlip, \quad (1)$$

так как из определения глобального КК следует то, что обучаемый сможет правильно использовать данный КК в любом контексте с учетом вероятности ContextSlip - механической ошибки обучаемого при применении глобального КК;

- при отсутствии владения глобальным КК:

$$P(ContextCC_i = Mastered | GlobalCC = Notmastered) = ContextGuess, \quad (2)$$

где ContextGuess – вероятность того, что обучаемый применит глобальный КК, не владея им, в контексте задания.

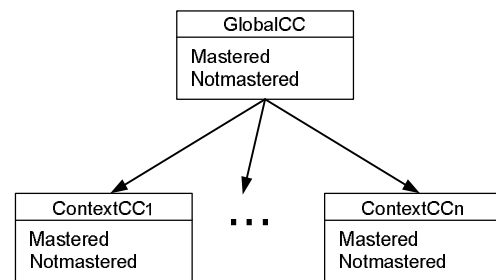


Рис. 1. БС связи глобальных и контекстных КК

Выполнение каждого из заданий ИКСО заключается в совместном применении знаний и умений некоторого набора контекстных и локальных КК. Совместное применение КК в контексте задания можем представить БС (рис. 2), включающей узел применения КК CCAApplication, кортеж узлов контекстных КК S , а также кортеж узлов локальных КК $L = (LocalCC_1, \dots, LocalCC_k)$, $k \in N$. Назовем множество КК, представляемых элементами кортежей S и L , входными КК задания. Каждому из входных КК в БС соответствует определенный узел, определяющий вероятность владения обучаемым данным КК. Узел CCAApplication определяет возможность совместного применения входных КК в задании или одной из его частей и имеет два состояния: True – успешное применение входных КК в задании, False – ошибочное применение входных КК.

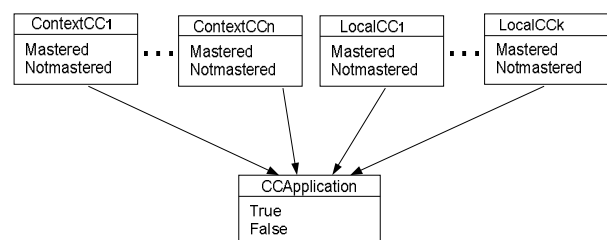


Рис. 2. БС совместного применения контекстных и локальных КК

Связь узлов входных КК и узла CCAApplication определяется следующими соотношениями:

- при владении всеми входными КК:

$$P(\text{CCApplication} = \text{True} \mid \text{все родители} = \text{Mastered}) = 1 - \text{ApplicationSlip}, \quad (3)$$

где ApplicationSlip – вероятность того, что при знании всех входных КК обучаемый неправильно применит в задании свои знания;

- при отсутствии владения хотя бы одним входным КК:

$$P(\text{CCApplication} = \text{True} \mid \text{хотя бы один родитель} = \text{Notmastered}) = \text{ApplicationGuess}, \quad (4)$$

где ApplicationGuess – вероятность того, что при незнании как минимум одного из входных КК обучаемый путем угадывания правильно применит свои знания в задании.

Совместное применение входных КК при выполнении задания ИКСО приводит к обновлению знаний обучаемого по некоторым выходным КК. Пусть имеется узел OutputCC, определяющий владение выходным КК. Связь между узлом применения входных КК и выходным КК может быть представлена БС, изображенной на рис. 3.

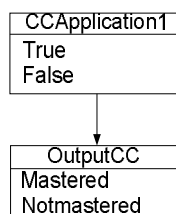


Рис. 3. БС связи применения входных КК и выходного КК

Узел выходного КК имеет два состояния: Mastered (владение КК) и Notmastered (отсутствие владения КК). Выходной КК может иметь связь с некоторым глобальным КК.

При обновлении уверенности во владении выходным КК используются следующие соотношения:

- при правильном применении входных КК:

$$P(\text{OutputCC} = \text{Mastered} \mid \text{Application} = \text{True}) = 1 - \text{OutputGuess}, \quad (5)$$

что определяет уверенность во владении выходным КК при правильном применении в задании знаний входных КК, где guess – вероятность того, что обучаемый успешно применил знания путем угадывания решения задания;

- при неправильном применении входных КК:

$$P(\text{OutputCC} = \text{Mastered} \mid \text{Application} = \text{False}) = \text{OutputSlip}, \quad (6)$$

что означает возможность OutputSlip владения обучаемым выходным КК даже при неправильном применении входных КК в задании.

Степень владения входными КК задания определяет уверенность в осуществлении обучаемым правильных действий по выполнению задания, т.е.

ввода правильных ответов в компоненты ввода. Пусть имеется кортеж узлов $\text{Inp} = (\text{InpElement}_1, \dots, \text{InpElement}_m)$, $m \in \mathbb{N}$, определяющих вероятность ввода правильного ответа в соответствующие компоненты ввода. Связь между кортежами узлов C, L и Inp представлена БС, изображенной на рис. 4.

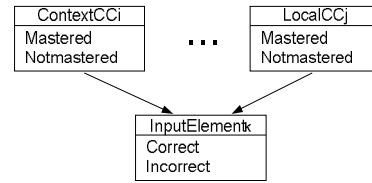


Рис. 4. Связь входных КК и компонентов ввода

Узел ввода ответа обучаемого InputElement имеет два состояния: Correct (ввод правильного ответа) и Incorrect (ввод неправильного ответа). Значения ТУВ узла InputElement определяются следующими соотношениями:

- при владении всех родительских КК:

$$P(\text{InputElement} = \text{Correct} \mid \text{все родители} = \text{Mastered}) = 1 - \text{ElementSlip} \quad (7)$$

означает, что при владении всеми КК, связанными с компонентом ввода, вероятность ввода правильного ответа меньше 1 на вероятность ElementSlip случайного ввода неправильного ответа;

- при отсутствии владения хотя бы одним КК:

$$P(\text{InputElement} = \text{Correct} \mid \text{хотя бы один родитель} = \text{Notmastered}) = \text{ElementGuess} \quad (8)$$

означает, что вероятность угадывания правильного ответа равна guess даже при незнании хотя бы одного связанных с компонентом ввода входных КК.

Обобщенная БС КК задания, а также его компонентов ввода, отражает связи между кортежами узлов глобальных КК $G=(\text{GlobCC}_1, \dots, \text{GlobCC}_p)$, $p \in \mathbb{N}$, входных КК C и L , компонентов ввода Inp , с узлами применения Application и выходного КК OutputCC (рис. 5).

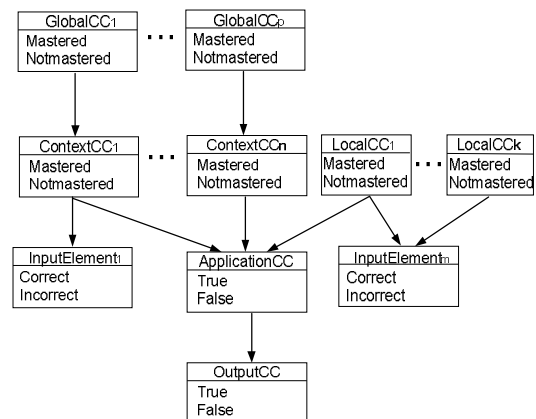


Рис. 5. Обобщенная БС связей КК и компонентов ввода задания ИКСО

После выполнения задания ИКСО осуществляется определение правильности введенных ответов и внесение свидетельств в соответствующие узлы компонентов ввода ($P(\text{InputElement}=\text{Correct})=1$ при правильном ответе и $P(\text{InputElement}=\text{Incorrect})=1$ при неправильном) и пересчет степени владения обучаемым каждым из КК задания.

Информация о структуре и владении КК каждого из заданий является основой для принятия решений по выбору следующего шага внешнего цикла.

2. Метод принятия решений по выбору следующего шага внешнего цикла

Начало работы внешнего цикла начинается с выбора первого задания. Существует множество способов выбора первого задания, например, случайный выбор, выбор наиболее простого или сложного по составу КК задания, выбор статически заданного задания, выбор задания исходя из анализа имеющихся результатов выполнения других ИКСО учебного курса, частью которого является выполняемая обучающая программа. [3]

После выбора первого задания происходит его выполнение, которое заключается во вводе обучаемым ответов в компоненты ввода. При этом выполнение задания может сопровождаться предоставлением обратных связей ИКСО с обучаемым в виде подсказок.

После выполнения текущего задания ИКСО происходит пересчет уровня владения обучаемым входными и выходными КК задания, а также связанными с ними глобальными КК [4].

Результатом выполнения текущего задания может стать движение в двух направлениях:

1) движение вперед, которое происходит в случае, если все входные КК задания освоены. Осуществляется поиск возможных заданий, в которых выходной КК текущего задания будет входным, т.е. обучаемый сможет применить успешно освоенный выходной КК для повышения уровня владения по некоторому очередному КК. Если возможных заданий найдено несколько, среди них выбирается одно задание, которое наиболее похоже на текущее по составу КК и имеет суммарный уровень сложности КК, отличающийся от сложности текущего задания на минимальную величину. Если не было найдено ни одного возможного задания, то следующее задание выбирается из невыполненных заданий, содержащих неосвоенные КК.

2) движение назад, которое происходит в случае, если хотя бы один из входных КК задания не освоен. Происходит поиск возможных заданий, в

которых входной КК текущего задания будет выходным, т.е. обучаемый будет иметь возможность повысить уровень владения данным КК. Если возможных заданий найдено несколько, среди них выбирается одно задание, которое наиболее похоже на текущее по составу КК и имеет суммарный уровень сложности КК, отличающийся от сложности текущего задания на минимальную величину. При этом выбранное задание фиксируется в списке пройденных заданий движения назад. Таким образом, начиная с некоторого проблемного задания, в котором был обнаружен недостаток компетенции обучаемого по входным КК, происходит выполнение последовательности заданий для компенсации обнаруженного недостатка знаний. Если не было найдено ни одного возможного задания для дальнейшего движения назад, то осуществляется проверка, возможно ли выполнить текущее задание еще раз в попытке добиться от обучаемого ввода правильных ответов. Если превышен лимит попыток выполнения текущего задания, и список пройденных заданий не пуст, то в качестве следующего задания выбирается последнее из выполненных (происходит обратное движение по выполненным заданиям). После каждого выполненного задания проверяется, не произошло ли достижение требуемого уровня компетенции по КК проблемного задания, с которого началось движение назад. Если обучаемый овладел всеми КК проблемного задания, то происходит изменение режима выполнения заданий на движение вперед).

После каждого очередного выбора следующего задания происходит проверка выполнения условия выхода из внешнего цикла. Можно определить несколько условий выхода из внешнего цикла, которые зависят от целей процесса обучения:

1) если по всем или некоторым глобальным КК достигнут требуемый уровень владения ими;

2) все задания ИКОП успешно выполнены или превышен лимит попыток выполнения по каждому из заданий;

3) обучаемый выполнил некоторое финальное задание;

4) сумма набранных баллов за выполнение заданий достигла установленного предела.

Результатом выполнения внешнего цикла заданий являются обновленные сведения об уровне владения обучаемым КК ИКСО. Блок-схема метода принятия решений по выбору следующего задания во внешнем цикле представлена на рис. 6.

Метод принятия решений по выбору следующего шага внешнего цикла был реализован программно в рамках универсальной среды создания и трансляции ИКСО [5].

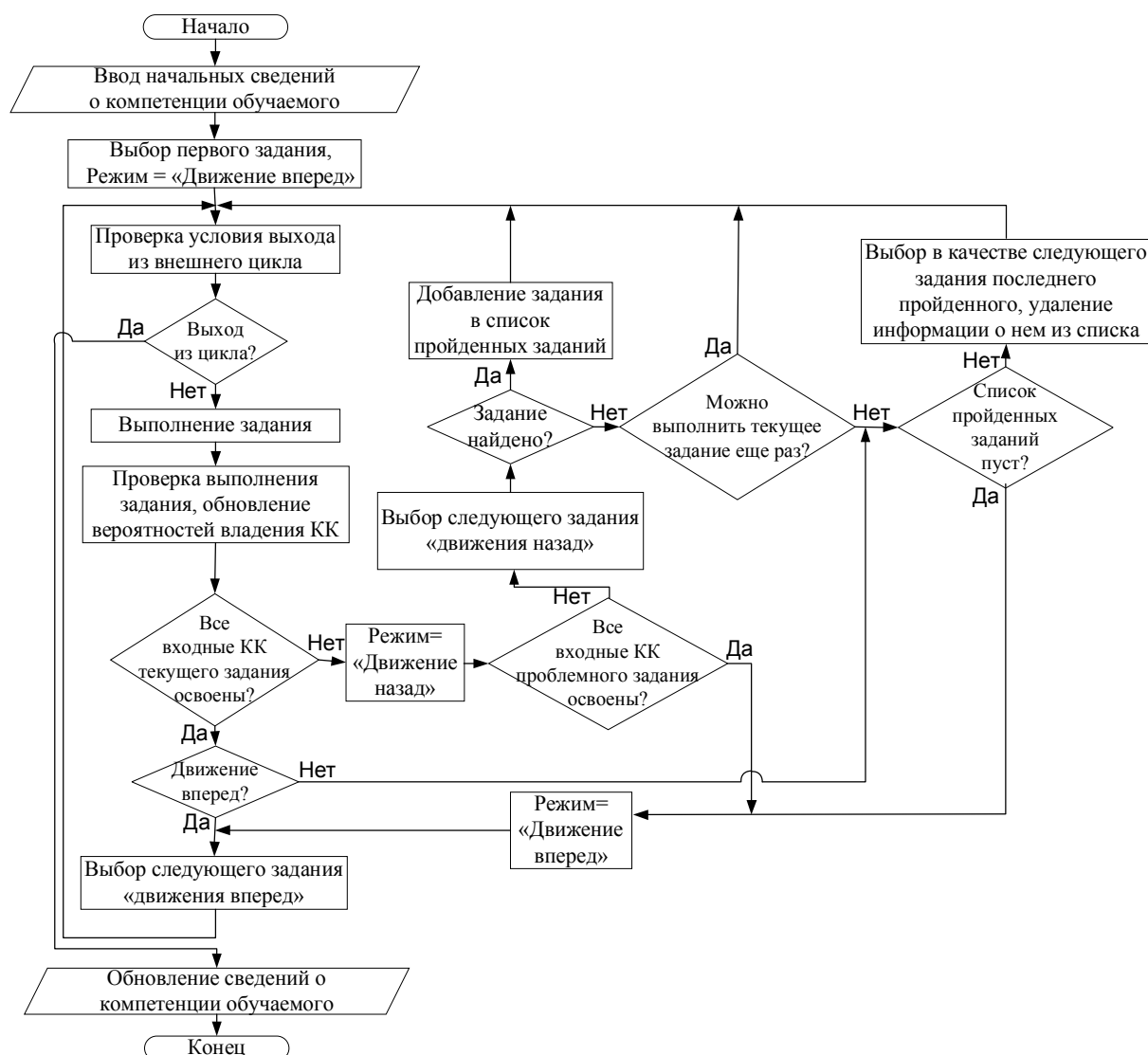


Рис. 6. Блок-схема метода принятия решений по выбору следующего шага внешнего цикла

3. Программная реализация метода принятия решений по выбору следующего шага внешнего цикла

Универсальная среда создания и трансляции ИКСО позволяет производить разработку обучающих программ без обязательного использования средств программирования. Процесс разработки обучающих программ в универсальной среде заключается в конструировании множества заданий из набора визуальных компонентов ввода или отображения данных, определении свойств каждого из компонентов (для компонентов ввода обязательным требованием является задание правильного ответа или алгоритма его расчета), определении свойств каждого из заданий и объединения их в проект. Конечным этапом создания ИКСО является определение свойств проекта. Универсальная среда обеспечивает внедрение в ИКСО данных, необходимых для корректной работы внешнего цикла: определе-

ние множества глобальных КК и схем взаимосвязей КК каждого из заданий.

Одним из свойств проекта является множество его глобальных КК, которое формируется с помощью специального редактора. Для каждого из глобальных КК задается степень его важности в изучении учебного материала обучающей программы, текст подсказки, а также название внешнего проекта, в котором ранее обучаемый мог проявить свою компетенцию по данному КК, если такой проект существует. Общим атрибутом глобальных КК является значение минимальной степени владения КК, при превышении которого КК считается освоенным. Например, на рис. 7 данный показатель равен 70%.

После формирования множества глобальных КК необходимо определить для каждого из заданий структуру их КК, а также связей КК с компонентами ввода. Для этого в специальном графическом редакторе (рис. 8) формируется состав и схема взаимосвязей КК.

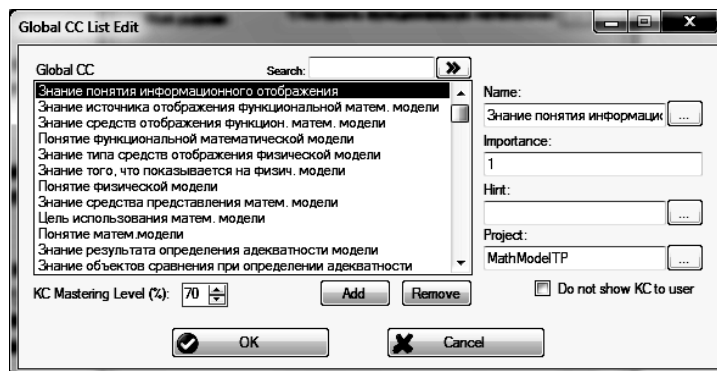


Рис. 7. Внешний вид редактора глобальных КК

Созданный проект обучающей программы транслируется специальным исполняющим приложением, которое и обеспечивает работу метода принятия решений по выбору следующего шага внешнего цикла, описанного в разделе 2.

Заключение

В результате выполненного исследования была разработана форма представления структуры КК ИКСО, которая обеспечивает хранение и обновление информации о степени владения обучаемым КК каждого из заданий обучающей программы с помощью соответствующих БС. Разработан метод, обеспечивающий принятие решений по выбору следующего шага внешнего цикла ИКСО путем анализа состава и уровня владения обучаемым КК каждого из заданий ИКСО. Программная реализация метода была осуществлена в рамках универсальной среды создания и трансляции ИКСО. С помощью универсальной среды была разработана интеллектуальная

компьютерная обучающая программа по построению математической модели движения инерционной машинки по наклонной плоскости. Работа разработанной обучающей программы была протестирована на трех группах студентов второго года обучения. 25 студентов выполняли обучающую программу со статическим набором заданий, 27 студентов выполняли обучающую программу с интеллектуальным выбором следующего задания. Использование метода выбора следующего задания внешнего цикла ИКСО обеспечило средний рост знаний обучаемых на 24% больше по сравнению с обучающей программой со статическим набором заданий, что свидетельствует об эффективности разработанного метода.

Дальнейшие исследования будут нацелены на разработку методов автоматизированной идентификации КК в заданиях ИКСО, а также усовершенствование методов динамического пересчета значений ТУВ узлов БС заданий в зависимости от характера действий обучаемого.

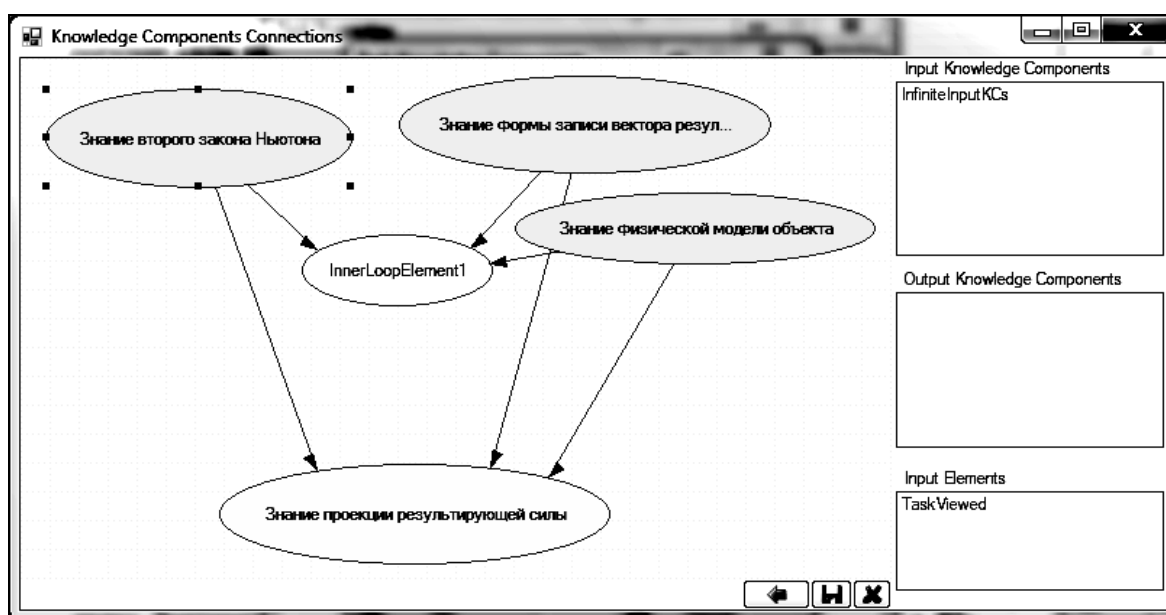


Рис. 8. Внешний вид редактора КК задания обучающей программы

Литература

1. Conati, C. *Using Bayesian Networks to Manage Uncertainty in Student Modeling [Text]* / C. Conati, A. Gertner, K. VanLehn // *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction, Kluwer Academic Publishers Hingham.* – MA(USA). – 2002. – Vol. 12, Issue 4. – P. 371 – 417.
2. Russell, S. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.) [Text]* / S. Russel, P. Norvig. - Upper Saddle Riv., New Jersey: Prentice Hall, 2003. – 1132 p.
3. VanLehn, K. *The Behavior of Tutoring Systems [Text]* / K. VanLehn // *International journal of Artificial intelligence in education.* – Athens(Greece). - 2006. – Volume 16, Issue 3. – P. 227-265.
4. Pedan, S. *The method of computer tutoring program pedagogical actions formation for its inner loop tasks [Text]* / S. Pedan, A. Kulik, A. Chukhray, S. Hall // *Proceedings of ASBBS Annual Conference.* - Las Vegas (USA). – 2011. – Vol. 18, Num. 1. - P. 626 – 637.
5. Pedan, S. *The universal environment for creation and translation of intelligent computer tutoring programs [Text]* / S. Pedan, A. Chukhray // *Proceedings of Signal Processing Symposium.* – Jachranka (Poland). – 2011. - P. 122-129.

Поступила в редакцію 13.12.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

МЕТОД ВИБОРУ НАСТУПНОГО КРОКУ ЗОВНІШНЬОГО ЦИКЛУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ НАВЧАЛЬНИХ ПРОГРАМ

А.Г. Чухрай, С.І. Педан

Описано розробку методу вибору наступного кроку зовнішнього циклу інтелектуальних комп'ютерних навчальних програм. Прийняття рішень про вибір наступного кроку навчання здійснюється виходячи з аналізу рівня компетенції учня, і структури компонентів компетенції завдань навчальної програми. Описано підхід до представлення структури компонентів компетенції завдань. Розглянуто реалізацію розробленого методу вибору наступного кроку навчання у рамках універсального середовища створення й трансляції навчальних програм. Тестування розробленого методу показало його високу ефективність у забезпеченні підвищення рівня компетенції учнів, що досягається в результаті формування навчальною програмою індивідуальної послідовності завдань для кожного з них.

Ключові слова: інтелектуальний комп'ютерний засіб навчання, зовнішній цикл, компонент компетенції, байєсівська мережа, зворотний зв'язок, універсальне середовище.

METHOD OF NEXT STEP DECISION-MAKING IN INTELLIGENT COMPUTER TUTORING PROGRAMS OUTER LOOP

A.G. Chukhray, S.I. Pedan

Working out of method next step decision-making in intelligent computer tutoring programs outer loop is described. Next tutoring step decision-making is executed proceeding from the analysis of trainee competence level and structure of competence components of tutoring program tasks. The approach to representation of tasks competence components structure is described. Realization of the developed next tutoring step decision-making within the universal environment of creation and translation of tutoring programs is considered. Testing of the developed method has shown its high efficiency in support of trainees competence level increase, reached as a result of formation by the tutoring program of individual sequence of tasks for each of them.

Keywords: intelligent computer tutoring tool, outer loop, competence component, Bayesian network, feedback, universal environment.

Чухрай Андрей Григорьевич – канд. техн. наук, доцент, докторант каф. систем управления летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: achukhray@gmail.com.

Педан Станислав Игоревич – аспирант каф. систем управления летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: stas.pedan@gmail.com.