ГЕНЕРАЦИЯ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВАНИИ АБДУКТИВНО-ДЕДУКТИВНЫХ МЕТОДОВ

Морозов Н. Ю.[1]
(*ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва*)

Методы искусственного интеллекта в компьютерном обучении позволяют разрабатывать более персонализированные образовательные системы. Такие системы известны как интеллектные обучающие системы (ИОС). Рассматривается возможность применение логических методов для расширения функционала ИОС. Предлагается метод автоматического получения решения упражнений средствами дедукции языка L. Предлагается метод автоматической генерации упражнений по заданной спецификации средствами абдукции языка L на примере генерации физических задач.

Ключевые слова: интеллектные обучающие системы, абдуктивные рассуждения, дедуктивный вывод, автоматическая генерация заданий, математическая логика.

1. Введение

В результате быстрого технологического прогресса обучение с использованием компьютерных технологий стало обычным явлением, особенно учитывая возникший рост спроса на дистанционное образование.

Компьютерные системы обучения призваны помочь преподавателям и учащимся достигать целей обучения наиболее эффективным способом, в частности, обеспечивая индивидуальный подход, несмотря на потерю столь нужного живого общения, автоматизируя процессы составления задач и т.д.

Системы компьютерного обучения, в которых интегрированы технологии искусственного интеллекта, называют интеллектными обучающими системами – Intelligent Tutoring Systems (ИОС).

ИОС широко применяются в образовательных учреждениях для обучения решению вычислительных и физических задач

[1] *Николай Юрьевич Морозов, м.н.с.* (*morozov.nikolay@physics.msu.ru*).

[15, 18], построения моделей динамических систем [20], решению задач химии [13], десятичной арифметике [12], гидростатике [10], алгоритмам поиска [7] и т.д.

Помимо вышеупомянутого применения ИОС используются для корпоративного обучения сотрудников предприятий, развития и поддержания навыков текущих сотрудников, обучения новых сотрудников и т.д. [6, 18].

Классическая ИОС состоит из четырех компонентов.

Модель предметной области (Domain knowledge model) содержит факты, правила и стратегии поиска решения, которые необходимо освоить обучаемому.

Модель управления процессом обучения (Tutoring model) принимает информацию от моделей предметной области и обучаемого и обновляет дальнейшую стратегии обучения.

Модель обучаемого (Student model) содержит информацию о текущих знаниях, когнитивном и эмоциональном состоянии обучаемого, а также их изменении в процессе обучения.

Модель пользовательского интерфейса (Interface model) обеспечивает диалог между пользователем и системой.

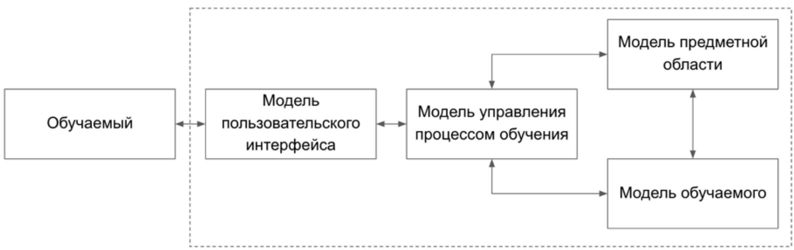

Рис. 1. Четырехкомпонентная модель ИОС

Недавний систематический обзор ИОС [14] показывает, что при разработке ИОС чаще всего применяются логические методы ИИ, в частности продукционные правила (production rules).

С их помощью описывают характерные для предметной области закономерности, применение которых позволяет решить учебную задачу. Эти правила становятся частью модели предметной области и позволяют одновременно проверять правильность рассуждений обучаемого и формировать подсказку в случае затруднения.

Экспертная система, основанная на продукционных правилах, состоит из трех компонентов: база знаний (working memory), элементы базовой теории (rule base) и совокупность правил вывода и прувера (interpreter).

База знаний состоит из сведений о конкретной задаче и знаний, полученных в процессе вывода. Элементы базовой теории – это те закономерности, известные о конкретной задаче или предметной области в целом, которые можно применить для получения новых знаний. Правила вывода – это методы получения новых знаний с помощью элементов базовой теории. Прувер – это алгоритм или программный комплекс, который определяет, каким образом применяются правила вывода.

Обычно элементы базовой теории связывают с одной или несколькими компетенциями. Таким образом, правильное применение обучаемым того или иного правила может свидетельствовать о развитости соответствующих компетенций.

Учебные задания (исходные данные, алгоритм решение и целевое состояние) для ИОС обычно создаются под конкретный образовательный курс, под конкретные стратегии поиска решения, что делает такие системы недостаточно адаптивными.

Формирование заданий вручную – это трудоемкая работа, требующая обширных знаний предметной области, опыта и временных ресурсов. Описанные требования дополняются вызовами времени, связанными с ростом популярности онлайн-образования, индивидуального подхода к обучающемуся.

Возможность генерации большого числа качественных учебных заданий позволяет освободить время преподавателя для внедрения в учебный процесс дополнительных учебных технологий, например, адаптивного контроля знаний [9].

Существующие подходы к генерации учебных заданий в основном требуют как полной формализации предметной области, так и полной формализации и спецификации самого задания. Чаще всего как метод генерации используется комбинаторный перебор вариантов внутри некого шаблона с последующей проверкой корректности и полноты получившегося учебного задания [8, 9, 17].

В данной работе предлагается метод генерации учебных заданий по частично заданной спецификации, основанный на абдуктивно-дедуктивных методах.

Понятие абдукции чаще всего определяется следующим образом (например, в [5, 10, 15]): имеется некоторая предметная область с базовой теорией T. Наблюдается некоторое явление G. Требуется найти гипотезу-объяснение Δ, не противоречащую теории T, такую, что G выводимо из $T \wedge \Delta$.

В качестве языка представления знаний используется подмножество пропозиционального языка L, обладающее свойством подстановочности формул [1]. Этот язык имеет ряд преимуществ, в частности допускает использование отрицательных литералов, в отличие от хорновских [10] и позитивно-образованных формул [2].

2. Описание модели

2.1. L_S-ЯЗЫК

Определим формулы L_S-языка согласно [1].

Определение 1 (*формулы языка L_S и их типы*).

1) конъюнкция литералов A или константа *false* – простейшие формулы L_S-языка типа «∧»;

2) если F_i – формулы типа «∧» (i = 1, …, m), а G – конъюнкция литералов или *true*, то

(1) $$G \rightarrow \left(\bigvee_{i=1}^{m} F_i \right)$$

– формулы L_S-языка типа «→»;

3) если F_i – формулы типа «→» (i = 1, …, m), а G – конъюнкция литералов или *true*, то

(2) $$G \wedge \left(\bigwedge_{i=1}^{m} F_i \right)$$

– формулы L_S-языка типа «∧»;

4) других формул в языке L_S нет.

Формулы языка L_S имеют древовидную структуру, в которой происходит чередование формул типа «∧» и типа «→». При этом ветвление в формуле типа «∧» означает конъюнкцию, а в формуле типа «→» – дизъюнкцию. Корнем дерева будем считать формулы типа «→» вида (*true*→__). Такой вид называется каноническим.

Если некоторая формула F изначально записана не в каноническом виде, то приведем её к этому виду следующим образом:

1) если формула F начинается с формулы типа «∧», т.е. имеет вид

$$F = G \wedge (\blacksquare),$$

то преобразование будет иметь вид

$$F' = true \to (G \wedge (\blacksquare));$$

2) если формула начинается с формулы типа «→», т.е. имеет вид

$$F = G \to (\blacksquare),$$

то преобразование будет иметь вид

$$F' = true \to \Big(true \wedge \big(G \to (\blacksquare)\big)\Big).$$

Далее для удобства будем представлять формулы в виде деревьев, а конъюнкцию литералов заменим на их перечисление через запятую. К примеру формула

$$\mathrm{A} \wedge B \wedge (A \to C) \wedge (B \to D) \wedge (C \wedge D \to false)$$

будет иметь вид:

$$true - \mathrm{A}, B - \begin{cases} \quad A - C, \\ \quad B - D, \\ C, D - false. \end{cases}$$

В L_S-исчислении определяются два преобразования: α-преобразование и β-преобразование.

Рассмотрим пример применение α-преобразования к некоторой формуле F, записанной в каноническом виде и не имеющей дизъюнктивных ветвлений. Строгое определение преобразований может быть найдено в [1].

Пусть формула F имеет вид:

(3) $$F = true - B^{\&} - \begin{cases} Q^{\&} - A^{\&} - \Omega, \\ \qquad \dots; \end{cases}$$

где $B^{\&}$, $Q^{\&}$, $A^{\&}$ – конъюнкции литералов соответствующих множеств B, Q, A, а Ω – некоторая подформула.

Будем также считать, что $Q \subset B$. В этом случае говорят, что вопрос $Q^{\&}$ к базе $B^{\&}$ является уместным.

Применение α-преобразования к подформуле ($Q^{\&} - A^{\&} - \Omega$) дает

$$(4)\quad \alpha F = true - (B \cup A)^{\&} - \begin{cases} \Omega \\ \dots \end{cases},$$

где $(B \cup A)^{\&}$ – конъюнкции литералов объединения множеств B и A.

Теперь рассмотрим пример применение β-преобразования к той же формуле F, но будем считать вопрос $Q^{\&}$ к базе $B^{\&}$ неуместным, т.е. $Q \not\subset B$.

Применение β-преобразования порождает гипотезу $\Delta = (B^{\&} \to Q^{\&})$, делающую вопрос $Q^{\&}$ к базе $B^{\&}$ уместным и позволяющий продолжить доказательство:

$$(5)\qquad F = true - B^{\&} - \begin{cases} Q^{\&} - A^{\&} - \Omega, \\ \quad B^{\&} - Q^{\&}, \\ \qquad \dots . \end{cases}$$

Определение 2 (*S-исчисления* C_α, C_β) [1]. L_S-исчисления $C_\alpha = (true \to false, \{\alpha\})$ и $C_\beta = (true \to false, \{\alpha, \beta\})$ – это исчисления в языке L_S с аксиомой $true \to false$ и указанными преобразованиями в качестве правил вывода.

Теорема 1 [1]. *Формула F языка L_S противоречива тогда и только тогда, когда F выводима в исчислении C_α.*

Теорема 2 [1]. *Пусть $F = (T \wedge \neg G)$ – образ отрицания формулы $(T \to G)$ в языке L_S. Пусть также $H \in L_S$ и H построено в процессе вывода формулы F в исчислении C_β. Тогда $H \leftrightarrow (T \to G)$ и для любой гипотезы Δ, объясняющей G, справедливо $\Delta \to H$.*

2.2. УПРАЖНЕНИЯ

Под упражнениями в данной работе понимается планомерно организованное, сознательно осмысленное многократное повторение определенных действий и приемов, которые усложняются с целью формирования, закрепления и совершенствования практических навыков и умений учащихся.

Рассмотрим класс упражнений, структура которых состоит из следующих элементов:

- условие (список явлений, объектов и их характеристик, а также связывающие их отношения; ограничения на доступные методы и средства решения)
- требование (искомые характеристики явлений и объектов: значения параметров и/или отношения между ними и пр.) [4].

В качестве примера таких упражнений можно привести задачи по физике или теоремы по геометрии.

Задачами данного вида упражнений являются:

- формирование умений и навыков по применению предметных знаний на практике,
- проверки и оценки усвоения знаний и освоения умений и навыков.

2.2. МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И УПРАЖНЕНИЙ

Определим модель предметной обрасти и упражнений следующим образом.

Модель предметной области $D = \langle C, T \rangle$, где C – счетное множество компетенций предметной области, которыми должен овладеть обучающийся; T – базовая теория предметной области, выраженная формулами языка L_S.

Шаблон упражнения $P = \langle (I, Q), \{c_j\} \rangle$, где (I, Q) – условие упражнения, состоящее из:

I – множества начальных данных $I \subseteq L_S$,

Q – множества вопросов упражнения $Q \subseteq L_S$,

$\{c_j\} \subseteq C$ – множество компетенций, необходимых для его решения.

3. Получение решения упражнения

Сформулируем задачу о нахождении решения упражнения следующим образом.

Пусть имеется модель предметной области $D = \langle C, T \rangle$ и упражнение с шаблоном $P = \langle (I, Q), \{c_j\} \rangle$, решение которого следует найти. Тогда ставится вопрос о выводимости формулы

(6) $F_1 = \bigwedge\limits_{f_i \in I} f_i \bigwedge\limits_{f_j \in T} f_j \to \bigwedge\limits_{f_k \in Q} f_k$.

Если F_1 выводима в исчислении C_α, то решение может быть получено из её конструктивного вывода путем трансляции на естественный язык. В противном случае решения не существует.

Пример 1. Рассмотрим задачу №1544 из [3]: *Тело, вес которого 0,49 Н, под действием силы начинает двигаться равноускоренно и, пройдя 50 см, приобретает скорость 0,72 км/ч. Определите силу, действующую на тело.*

В качестве модели предметной области возьмем $D = \langle C, T \rangle$, где C – компетенции школьного курса физики и математики 9 класса, T – закономерности курса физики и математики 9 класса.

Также введем обозначения следующих высказываний:

P – известен вес тела,
s – известен путь тела за время t,
v – известна скорость тела в момент времени t,
v_0 – известна начальная скорость тела,
F_p – известна сила действующая на тело,
a – известно ускорение тела,
m – известна масса тела,
Нач – тело начинает движение.

Компетенции:

c_1 – уметь находить неизвестное произведение,
c_2 – уметь находить неизвестный делитель,
c_3 – уметь находить неизвестный множитель,
c_4 – знать определение веса,
c_5 – знать II-й закон Ньютона,
c_6 – знать безвременную формулу пути,
c_7 – понимать основы движения тел.

Шаблон этого упражнения имеет вид $P = \langle (I, Q), \{c_1, \ldots, c_7\} \rangle$, где $I = \{P, s, v, \text{Нач}\}$, $Q = \{F\}$.

В базовой теории T, помимо прочих, присутствуют следующие знания:

1) следствие из определения веса ($m = P/g$): $t_1 = P \to m$ $[c_4, c_3]$;
2) II-й закон Ньютона ($F_p = ma$): $t_2 = m \wedge a \to F$ $[c_5, c_1]$;
3) следствие из безвременной формулы пути ($a = (v^2 - v_0^2)/2s$):

$t_3 = v \wedge v_0 \wedge s \rightarrow a$ [c_6, c_2];

4) если тело начинает движение, то его начальная скорость равна нулю: $t_4 = Нач \rightarrow v_0$ [c_7].

Рассмотрим вывод отрицания (6):

$$(7)\quad \neg F_1 = true \rightarrow \bigwedge_{f_j \in T} f_j \wedge P \wedge s \wedge v \wedge Нач \wedge (F \rightarrow false),$$

которая в виде формулы L_S-языка будет иметь вид:

$$(8)\quad \neg F_1 = true - P, s, v, \text{Нач} - \begin{cases} P - m\ (t_1), \\ m, a - F\ (t_2), \\ v, v_0, s - a\ (t_3), \\ \text{Нач} - v_0\ (t_4), \\ F_p - false, \\ \ldots \end{cases}$$

В результате применения правила вывода α к подформуле t_1:

$$(9)\quad \alpha(\neg F_1) = true - P, s, v, \text{Нач}, \boldsymbol{m} - \begin{cases} m, a - F\ (t_2), \\ v, v_0, s - a\ (t_3), \\ \text{Нач} - v_0\ (t_4), \\ F_p - false, \\ \ldots \end{cases}$$

Затем к подформуле t_4:

$$(10)\quad \alpha^2(\neg F_1) = true - P, s, v, \text{Нач}, m, \boldsymbol{v_0} - \begin{cases} m, a - F\ (t_2), \\ v, v_0, s - a\ (t_3), \\ F_p - false, \\ \ldots \end{cases}$$

К подформуле t_3:

$$(11)\quad \alpha^3(\neg F_1) = true - P, s, v, \text{Нач}, m, v_0, \boldsymbol{a} - \begin{cases} m, a - F\ (t_2), \\ F_p - false, \\ \ldots \end{cases}$$

К подформуле t_2:

$$(12)\quad \alpha^4(\neg F_1) = true - P, s, v, \text{Нач}, m, v_0, a, \boldsymbol{F} - \begin{cases} F_p - false, \\ \ldots \end{cases}$$

И наконец, к подформуле ($F_p \rightarrow false$):

(13) $\alpha^5(\neg F_1) = true - P, s, v,$ Нач$, m, v_0, a, F_p, \boldsymbol{false} - \cdots,$

что означает окончание вывода, из которого мы получаем решение в виде последовательности:

1) находим массу через определение веса;
2) определяем начальную скорость тела;
3) по безвременной формуле пути находим ускорение;
4) из II-й закона Ньютона находим силу, действующую на тело.

4. Генерация упражнения по заданной спецификации

Пусть имеется модель предметной области $D = \langle C, T \rangle$. Необходимо составить упражнение, требующее для решения: использование компетенций из множества $C' \subseteq C$ с множеством начальных данных I' и множеством вопросов Q'. Вместе они составляют спецификацию $S = \langle C', (I', Q') \rangle$. При этом будем считать, что спецификации S недостаточно для однозначного формирования упражнения, т.е.

(14) $$F_2 = \bigwedge_{f_i \in I'} f_i \bigwedge_{f_j \in T} f_j \to \bigwedge_{f_k \in Q'} f_k$$

невыводима в исчислении C_α.

Данная спецификация может быть получена как от человека-эксперта (преподавателя), так и автоматически в результате работы модели управления процессом обучения.

Задача генерации упражнения P по спецификации S формулируется следующим образом.

Пусть имеется модель предметной области $D = \langle C, T \rangle$ и спецификация $S = \langle C', (I', Q') \rangle$. В процессе вывода формулы (11) в исчислении C_β построить гипотезу H такую, что при выводе формулы

(15) $$F_3 = \bigwedge_{f_i \in I'} f_i \bigwedge_{f_j \in H} f_j \to \bigwedge_{f_k \in Q'} f_k,$$

для F^α – множества подформул формулы F_3, к которым было применено правило вывода, выполнялось условие: $F^\alpha \supset T'$. При этом для C^P – множества компетенций, требующихся для решения, выполнялось условие: $C^P \supset C'$, $C \subseteq C$.

Шаблон упражнения в этом случае будет иметь вид $P = \langle(I^P, Q^P), C^P\rangle$, где $I^P = I' \cup H^I$, $Q^P = Q' \cup H^Q$, H^Q – множество подформул формулы H вида ($\_\_ \to false$), H^I – множество остальных подформул формулы H.

Пример 2. К введенным в примере 1 обозначениям добавим:

V – известен объем тела;

ρ – известна плотность тела;

Компетенции:

c_8 – знать определение плотности.

Предположим, что поступил запрос на составление упражнения, в котором требуется знать II-й закон Ньютона и уметь находить неизвестный делитель. Запрос выражается в виде спецификации $S = \langle\{c_2, c_5\}, (\{\}, \{\})\rangle$.

Рассмотрим вывод отрицания (14):

$$(16)\ \neg F_2 = true \to \bigwedge_{f_j \in T} f_j\ .$$

При выводе в исчислении C_β обратим внимание в первую очередь на подформулы, связанные с компетенциями c_2, c_5:

1) II-й закон Ньютона ($F = ma$): $t_2 = m \wedge a \to F_p\ [c_5, c_1]$;

2) следствие из II-го закона Ньютона ($m = F_p/a$): $t_5 = F_p \wedge a \to m\ [c_5, c_3]$;

3) следствие из II-го закона Ньютона ($a = F_p/m$): $t_6 = m \wedge F_p \to a\ [c_5, c_3]$;

4) следствие из определения плотности ($V = m/\rho$): $t_7 = m \wedge \rho \to V\ [c_8, c_2]$;

5) следствие из безвременной формулы пути ($a = (v^2 - v_0^2)/2s$): $t_3 = v \wedge v_0 \wedge s \to a\ [c_6, c_2]$.

В виде формулы L_S-языка (16) будет иметь следующий вид:

$$(17)\ \neg F_2 = true - true - \begin{cases} v, v_0, s - a\ (t_3), \\ F_p, a - m\ (t_5), \\ m, F - a\ (t_6), \\ m, \rho - V\ (t_7), \\ \qquad \ldots \end{cases}$$

Нетрудно видеть, что продвинуться в доказательстве с помощью α-преобразования не представляется возможным, поэтому воспользуемся абдуктивным β-преобразованием.

Применив его к подформулам t_5, мы получим предположение ($true - F$, a):

$$(18)\ \beta(\neg F_2) = true - F_p, a - \begin{cases} v, v_0, s - a\ (t_3), \\ F_p, a - m\ (t_5), \\ m, F - a\ (t_6), \\ m, \rho - V\ (t_7), \\ \dots \end{cases}$$

Применение правила вывода α к t_5 даст следующую формулу:

$$(19)\ \alpha\beta(\neg F_2) = true - F_p, a, \boldsymbol{m} - \begin{cases} v, v_0, s - a\ (t_3), \\ m, F_p - a\ (t_6), \\ m, \rho - V\ (t_7), \\ \dots \end{cases}$$

дальнейший вывод которой также невозможен без абдукции. Применив β к t_7, получим предположение ($true$, F, a, $m - \rho$):

$$(20)\ \beta\alpha\beta(\neg F_2) = true - F_p, a, m, \rho - \begin{cases} v, v_0, s - a\ (t_3), \\ m, F_p - a\ (t_6), \\ m, \rho - V\ (t_7), \\ \dots \end{cases}$$

Дополнив формулу предположением, что V является вопросом упражнения, которое с учетом отрицания формулы F_2 примет вид ($V - false$), получим:

$$(21)\ \alpha\beta\alpha\beta\alpha\beta(\neg F_2) = true - F_p, a, m, \rho, V, false - \cdots,$$

что будет означать окончание вывода.

Таким образом были получены следующие гипотезы и их аналоги в логике нулевого порядка:

(22) $h_1 = true - F_p, a$; $\quad h_1^{ЛНП} = true \to F_p \wedge a$;
(23) $h_2 = true, F_p, a, m - \rho$; $\quad h_2^{ЛНП} = true \wedge F_p \wedge a \wedge m \to \rho$;
(24) $h_3 = V - false$; $\quad h_3^{ЛНП} = V \to false$.

Заменим условие (23) на более слабое:

(25) $h_4 = true – \rho$; $\qquad\qquad$ $h_4^{ЛНП} = true \rightarrow \rho$;

и объединим условия (22) и (25) в одно:

(26) $h_4 = true – \rho, F_p, a$; $\qquad\qquad$ $h_4^{ЛНП} = true \rightarrow \rho \wedge F_p \wedge a$;

которое будем интерпретировать как начальные данные искомого упражнения: $H^I = \{F_p, a, \rho\}$.

Формулу (24) будем интерпретировать как вопрос упражнения: $H^Q = \{V\}$.

Шаблон упражнения в этом случае будет иметь вид

(27) $P = \langle(\{F_p, a, \rho\}, \{V\}), \{c_2, c_5\}\rangle$,

что при трансляции на естественный язык дает текст упражнения:

Тело, сделанное из материала с плотностью ρ, под действием силы F движется с ускорением a. Найдите объем этого тела.

Применение абдукции к другим подформулам (17) даст новые гипотезы и позволит получить другие интерпретации соответствующих шаблонов упражнений на естественный язык:

1. $H^I = \{v, v_0, s, F_p\}$, $H^Q = \{m\}$ – *Тело под действием силы F_p прошло путь s, при этом его скорость изменилась с v до v_0. Найдите массу этого тела.*
2. $H^I = \{v, v_0, s, m\}$, $H^Q = \{F_p\}$ – *Тело массой m разогналось с v до v_0, проехав при этом расстояние s. Найдите силу, с которой действовали на тело.*

5. Заключение

В работе рассмотрены методы автоматического получения решений для определенного класса заданий интеллектной обучающей системы, а также метод их генерации по заданной спецификации.

Указанные методы применимы к упражнениям, требующим логических рассуждений, например, задачам по физике или геометрии. Полученные упражнения являются заведомо корректными, что гарантируется используемыми дедуктивными и абдуктивными методами.

Вопросом дальнейшего исследования является обобщение вышеуказанных методов для языка первого порядка и создание программного продукта для проведения машинных экспериментов. Также планируется расширение методов с целью учета применяемых компетенций и изучение вопроса оценки сложности полученного упражнения.

Литература

1. ВАСИЛЬЕВ С.Н. *Абдуктивные рассуждения в задачах объяснения наблюдаемого* // Доклады Академии Наук. Математика, информатика, процессы управления. – 2020. – Т. 493. – С. 90–94.
2. ВАСИЛЬЕВ С.Н. *Формализация знаний и управление на основе позитивно-образованных языков* // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – №1. – С. 3–19.
3. ПЕРЫШКИН А.В. *Сборник задач по физике: 7–9 класс* // М.: Изд-во «Экзамен», 2013. – 269 с.
4. СМИРНОВА Н.В. *К автоматизированной проверке решений одного класса задач в следящих интеллектуальных обучающих системах* // Управление большими системами. – 2014. – №48. – С.172–197.
5. ФИНН В.К. *Об эвристиках ДСМ-исследований* // Научно-технич. информация. Сер. 2. – 2019. – №10. – С. 1–34.
6. ELIOT C., WOOLF B.P. *Iterative development and validation of a simulation-based medical tutor* // Lecture notes in computer science. – 1996. – No. 1086. – P. 540–549.
7. GRIVOKOSTOPOULOU F., PERIKOS I., HATZILYGEROUDIS I. *An educational system for learning search algorithms and automatically assessing student performance* // Int. Journal of Artificial Intelligence in Education. – 2017 – No. 27(1). – P. 207– 240.
8. HOZZOVÁ P., KOVÁCS L., RATH J. *Automated generation of exam sheets for automated deduction.* // CICM 2021. Intelligent Computer Mathematics. – 2021. – Vol. 12833. – P. 185–196.

9. VIE J.-J., POPINEAU F., BRUILLARD E., BOURDA Y. *A review of recent advances in adaptive assessment* // Learning Analytics: Fundaments, Applications, and Trends. – 2014. – Vol. 94. – P. 113–142.
10. KOWALSKI R. *Logic Programming* // Computational Logic, Edition: In the History of Logic Series / Eds: D. Gabbay, J. Woods. – Elsevier, 2014. – P. 523–569.
11. KUSAIRI S., ALFAD H., ZULAIKAH S. *Development of web-based intelligent tutoring (iTutor) to help students learn fluid statics* // Journal of Turkish Science Education. – 2017. – No. 25. – P. 1–11.
12. MCLAREN B.M., ADAMS D.M., MAYER R.E. *Delayed learning effects with erroneous examples: a study of learning decimals with a web-based tutor* // Int. journal on artificial intelligence in education. – 2015. – No. 25. – P. 520–542
13. MCLAREN B.M., LIM S., GAGNON F., YARON D., KOEDINGER K.R. *Studying the effects of personalized language and worked examples in the context of a web- based intelligent tutor* // Intelligent tutoring systems. – 2006. – Vol. 4053. – P. 318–328.
14. MOUSAVINASAB E., ZARIFSANAIEY N., NIAKAN KALHORI S.R., RAKHSHAN M., LEILA KEIKHA L., GHAZI SAEEDI M. *Intelligent Tutoring Systems: A systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods* // Interactive Learning Environments. – 2018. – Vol. 29, No. 1. – P. 142–163.
15. POOLE D. *Representing diagnosis knowledge* // J. Annals of mathematics and artificial intelligence. – 1994. – No. 11. – P. 33–50.
16. SCHULZE K.G., SHELBY R.N., TREACY D.J., WINTERSGILL M.C. *Andes: A coached learning environment for classical Newtonian physics* // Proc. of the 11th Int. Conf. on College Teaching and Learning. – 2000.
17. SINGHAL R., HENZ M., MCGEE K. *Automated generation of geometry questions for high school mathematics* // Proc. of the 6th Int. Conf. on Computer Supported Education. – 2014. – Vol. 2. – P. 14–25.
18. STOTTLER HENKE COMPANY. *ITS using AI to improve training performance and ROI*. – URL: https://www.stottlerhenke.com/papers/its-using-ai-to-improve-training-performance-and-roi.pdf (дата обращения: 23.07.2021).

19. VANLEHN K., LYNCH C. et al. *The Andes physics tutoring system: five years of evaluations* // Int. journal of Artificial Intelligence in Education. – 2005. – No. 15. – P. 678–685.
20. VANLEHN K., WETZEL J., GROVER S., VAN DE SANDE B. *Learning how to construct models of dynamic systems: an initial evaluation of the dragoon intelligent tutoring system* // IEEE Trans. on Learning Technologies. – 2017. – Vol. 10, No. 2. – P. 154–167.

GENERATION OF TASKS FOR INTELLIGENT TUTORING SYSTEM BASED ON ABDUCTIVE AND DEDUCTION METHODS

Nikolai Morozov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, junior researcher (morozov.nikolay@physics.msu.ru).

Abstract: With the rapid development of technology, computer learning is increasingly being integrated with artificial intelligence methods in order to develop more personalized educational systems. These systems are known as Intelligent Learning Systems (ITS). The possibility of using logical methods to expand the ITS functionality is considered. A method of automatic generation of exercises by means of deduction of the L language is proposed. A method of automatic generation of exercises according to a given specification by means of abduction of the L language is proposed.

Keywords: intelligent tutoring systems, abductive reasoning, deductive inference, artificial intelligence, intelligent control, mathematical logic.

УДК 519.7 + 37.04
ББК 32.813
DOI: 10.25728/ubs.2022.98.3

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Э.Ю. Калимулиной.

Поступила в редакцию 12.11.2021.
Опубликована 31.07.2022.