

СИНТЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕСТОВ СРЕДСТВАМИ ФОРМАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Сергушичева А.П., Швецов А.Н.

(Вологда)

Процессы построения тестов (особенно, тестов индивидуально ориентированных и с учетом когнитивных особенностей обучаемых) – весьма трудоемкая и до сих пор слабо автоматизированная задача. Исследования авторов показывают, что современные программные средства могут помочь в решении данной проблемы. Предложенный метод формального описания процессов генерации тестов средствами канонических исчислений Э. Поста, позволяет формировать структуру и содержание прикладной тестовой системы, определяя лингвистическое содержание конкретных тестов с помощью локальных контекстно-свободных грамматик.

SYNTHESIS OF THE INTELLECTUAL TESTS BY MEANS OF FORMAL OUTPUT SYSTEM

Sergushicheva A.P., Schvetcov A.N.

(Vologda)

Processes of construction of the tests (especially tests individually focused and with the account of cognitive features) - rather labour-consuming and till now poorly automated task. The researches of the authors show, that the modern software can help with the decision of the specified problem. The offered method of the formal description of processes of generation of the tests by means of initial calculations E. Post, allows to form structure and contents of applied test system, defining the linguistic contents of the concrete tests with the help local context-free grammars. The essence of the offered approach is shown on an example of construction of mathematical model describing process of generation of the tests.

Интеллектуальные системы и технологии достаточно интенсивно внедряются в процессы управления производственными и организационными структурами. Развиваются процессы компьютеризации обучения в высших и средних учебных заведениях. Важной составляющей всякого машинного обучения является тестирование. Процессы построения тестов – весьма трудоемкая задача, требующая высокой квалификации разработчика и до сих пор слабо автоматизированная.

Исследования авторов [1, 2, 3, 4] показывают, что современные программные средства могут помочь в решении указанных проблем путем создания индивидуально ориентированных тестов с учетом когнитивных особенностей обучаемых [5].

Для этих целей авторы предлагают использовать теоретический метод построения тестовых систем, изложенный ими в ряде работ. Предложенный метод формального описания процессов генерации тестов средствами канонических исчислений Э. Поста, позволяет формировать структуру и содержание прикладной тестовой системы, определяя лингвистическое содержание конкретных тестов с помощью локальных контекстно-свободных грамматик. Данный метод предоставляет разработчику возможности автоматизированного создания практически неограниченного спектра прикладных программно-информационных тестирующих систем.

Математическим аппаратом, лежащим в основе вывода тестовых заданий и программ их выполнения являются теория формальных языков и грамматик, теория дедуктивных систем и исчислений [6, 7, 8].

Оказывается, что построение математической модели, описывающей процесс порождения тестов является нетривиальной задачей, поскольку структура теста изменяется, а при генерации мы хотим получить тест точно соответствующий этой структуре. Если N – общее количество вопросов в данном тесте, N_t – количество типов вопросов, порождаемых генерирующей системой, a_i – количество вопросов данного типа в тесте, то структура теста определяется равенством:

$$N = \sum_{i=1}^{N_t} a_i .$$

Вопросы данного типа необходимо распределить по подтипам так, чтобы один и тот же подтип, по возможности, не повторялся в данном тесте. Поэтому предлагается построить исчисление вида:

$$K = (\mathbf{A}, P, A_0, \pi),$$

где \mathbf{A} – алфавит исчисления, такой, что $\mathbf{A} = \{N \cup Z\}$, где N – алфавит нетерминальных символов, Z – алфавит вспомогательных символов. В множество N мы включаем нетерминалы V_i – обозначающие структуру вопрос-ответ i -го типа, Π_i – обозначающие множество правил вывода для i -го типа и нетерминалы подтипов $PV_{i,j,\dots,\psi}$, возможно с индексной последовательностью произвольной длины. Алфавит $Z = \{\{, (,), [,], \#, i, j, \dots, \psi\}$. Алфавит переменных $P = \{p, q, \phi, a_i, \rho_{ij}, \rho_b, \rho_e\}$.

Аксиома исчисления A_0 будет иметь вид:

$$A_0 = V_1^{(a1)}[\Pi_1]\#V_2^{(a2)}[\Pi_2]\#\dots\#V_k^{(ak)}[\Pi_k]$$

где $\Pi_i = \{\rho_{i1}, \rho_{i2}, \dots, \rho_{if_i}\}$, где f_i – количество правил вывода для типа i .

Множество правил вывода π будем строить с исключениями примененных правил из множеств Π_i . Начало раскрытия типа i моделируем правилами вида:

$$\frac{\dots\#V_i^{(ai)}[\rho_b\rho_{ij}\rho_e]\#\dots}{\dots\#(PV_{i,j})V_i^{(ai-1)}[\rho_b\rho_e]\#\dots}, \quad (1)$$

которых будет f_i экземпляров для каждого типа i . Далее используем правила вида:

$$\frac{\dots\#pV_i^{(\phi)}[\rho_b\rho_{ij}\rho_e]\#\dots}{\dots\#p(PV_{i,j})V_i^{(\phi-1)}[\rho_b\rho_e]\#\dots}, \quad (2)$$

которых также будет f_i экземпляров для каждого типа i , причем переменная p хранит последовательность подтипов $(\dots)(PV_{ij})(\dots)$.

Процесс применения правил вида (2) должен продолжаться

до тех пор пока: либо будет исчерпано $V_i^{(\varphi)}$, либо будет исчерпано множество $[\Pi_i]$, что означает, что $f_i < a_i$ и количества правил в $[\Pi_i]$ не хватает для введения подтипов без повторов.

В первом случае прекращаем процесс раскрытия типа V_i применением правила:

$$\frac{\dots \# pV_i[\rho_b \rho_e] \# \dots}{\dots \# p \# \dots} \quad (3)$$

Во втором случае необходимо подставить заново множество правил вывода Π_i для продолжения раскрытия типа V_i , что обеспечивается введением правила:

$$\frac{\dots \# pV_i^{(\varphi)}[\] \# \dots}{\dots \# pV_i^{(\varphi)}[\Pi_i] \# \dots} \quad (4)$$

Возможна и третья ситуация, когда $V_i^{(\varphi)}$ и множество $[\Pi_i]$ исчерпываются одновременно. Поэтому вводим еще одно правило для исключения неоднозначности:

$$\frac{\dots \# pV_i[\] \# \dots}{\dots \# p \# \dots}, \quad (5)$$

результат применения которого аналогичен первому случаю.

В результате применения подобных правил для всех типов в A_0 (от 1 до k) получим слово вида:

$$p_1 \# p_2 \# \dots \# p_k .$$

Далее можно сформировать при необходимости подтипы следующего уровня, применяя правила вывода вида:

$$\frac{\dots \# p(PV_{i,j})q \# \dots}{\dots \# p(PV_{i,j,\varphi})q \# \dots}, \quad (6)$$

где $PV_{i,j,\psi}$ есть ψ -й подтип подтипа $PV_{i,j}$. Такое построение можно осуществить для любого уровня вложенности.

Вывод же конкретного предложения из подтипа $PV_{i,j,\psi}$ можно описать локальной контекстно-свободной грамматикой (КСГ) следующего вида, записанной в традиционной нотации Бэкуса-Наура:

$\langle PV_{i,j,\psi} \rangle ::= \langle \text{постоянная_часть_подтипа} \rangle \langle \text{переменная_часть_подтипа} \rangle$

{<варианты_ответов>}<переменная_часть_ответа>
 <объяснение_ответа>
 <постоянная_часть_подтипа>::=(предложение естественного языка)
 <переменная_часть_подтипа>::=(последовательность символов вопроса, порождаемых определенным алгоритмом)
 <варианты_ответов>::=(последовательность символов вариантов, порождаемая определенным алгоритмом)
 <переменная_часть_ответа>::=(последовательность символов ответов, порождаемая определенным алгоритмом)
 <объяснение_ответа>::=(предложение естественного языка)

Например, для вопросов математического теста может использоваться одна из следующих локальных КСГ:

<постоянная_часть_подтипа>::=(Продолжите числовой ряд)
 <переменная_часть_подтипа>::=< $f_1(n)$ >, < $f_2(n)$ >, < $f_3(n)$ >, < $f_4(n)$ > ?
 <варианты_ответов>::= \emptyset
 <переменная_часть_ответа>::=< $f_5(n)$ >
 <объяснение_ответа>::=(каждое последующее число равно предыдущему минус < $f_6(1)$ >, < $f_6(2)$ >, < $f_6(3)$ >, < $f_6(4)$ >),
 где $j=(1, \dots, 5)$, функции $f_1 - f_5$ принимают вид:
 $f_j(n) = f_j(n-1) - 2^{j-1}$, а функция $f_6(j) = 2^{j-1}$.

Здесь n может быть задано случайным выбором из некоторого диапазона. Применение такой КСГ дает структуры вопрос-ответ следующего типа:

Вопрос:

Продолжите числовой ряд 26, 24, 20, 12 ?

Ответ:

–4. Каждое последующее число равно предыдущему минус 2, 4, 8, 16.

Вариации функций $f_j(n)$ дают практически неограниченное разнообразие вопросов такого подтипа.

Для лингвистического теста можно применить одну из КСГ следующего типа:

<постоянная_часть_подтипа>::=(Расставьте буквы по своим местам и подчеркните лишнее слово)
 <переменная_часть_подтипа>::=< $C(g(n))$ >
 <варианты_ответов>::= \emptyset
 <переменная_часть_ответа>::=< $R(g(n))$ >
 <объяснение_ответа>::= \emptyset .

Здесь $g(n)$ – функция выбора записи из базы лингвистических данных соответствующего подтипа, $C(g(n))$ – функция шифрования выбранной записи, $R(g(n))$ – функция выбора лиш-

него слова из записи.

Результатом применения такой КСГ являются структуры вопрос-ответ следующего типа:

Вопрос:

Расставьте буквы по своим местам и подчеркните лишнее слово

СГАОП

ХИУГРР

КШОЛАА

НКИОТОБ

Ответ:

ХИРУРГ.

В течение ряда лет на кафедре Автоматизации технологических процессов и производств Вологодского государственного технического университета (ВоГТУ) проводятся работы по программной реализации систем тестирования интеллекта и их апробации на студенческой среде [9, 10]. В рамках указанного направления исследований был решен ряд задач. Одним из результатов этих работ явилось создание тренирующей интеллектуальной системы (ТИС), позволяющей автоматически генерировать тесты глубины интеллекта (математические, лингвистические, тесты общего вида) и программы их выполнения.

Система включает в себя несколько модулей, текстовые файлы, содержащие словари для лингвистических тестов, типизированные файлы с информацией о результатах тестов, пройденных пользователями в процессе обучения и файлы с графической информацией. Подсистемы лингвистических тестов, математических тестов и тестов общего вида отвечают за непосредственное осуществление соответствующего типа теста.

Программная система зарегистрирована в институте промышленной собственности. Одна из версий рассматриваемой системы функционирует в режиме on-line на сайте кафедры АТПП ВоГТУ по адресу: <http://www.vstu.edu.ru/atpp/webtest>. Демонстрационная версия ТИС доступна для загрузки с личного сайта Швецова А.Н. по адресу: <http://www.smit-vstu.narod.ru>.

В последующем усилия авторов были направлены на исследование и создание информационных технологий изучения и развития интеллекта человека на основе построения инструментальной интеллектуальной программной системы (ИИПС), по-

звляющей автоматизированным образом генерировать прикладные программно-информационные системы (ППИС), реализующие конкретные психологические методики. На данный момент реализован также второй усовершенствованный вариант инструментальной интеллектуальной системы для генерации прикладных тестовых задач. Система состоит из четырех взаимосвязанных основных блоков: блок редактора, блок структуры, блок генерации заданий и блок просмотра и печати теста.

Блок редактора выполняет функции создания файлов с контекстно-свободными грамматиками (КСГ), удаления записей из файла с КСГ, записи КСГ в файл, редактирования файла с КСГ.

Блок структуры отвечает за формирование структуры теста и состоит из блока задания файлов с КСГ, блока ввода параметров, блока генерации структуры теста.

Блок генерации заданий решает проблему преобразования КСГ в тестовое задание, а также записи этого задания в выходной файл.

Блок просмотра и печати предназначен для просмотра полученных документов с тестами и ответами, а так же для их распечатки.

Все блоки снабжены средствами контроля входной информации.

В настоящее время исследуются возможности данной системы для автоматической генерации вариантов тестовых заданий по математике и физике.

С целью определения показателей качества (надежности и валидности) создаваемых системой тестов один из сгенерированных тестов TG-21 был предложен студентам нескольких групп дневного и заочного отделения ВоГТУ (около 200 человек). Надежность теста по формуле Спирмена-Брауна составила $r_{нт} = 0,825$. ($r_{нт} = 2r/(1+r)$, где r – коэффициент корреляции Пирсона). Валидность теста определяется по правилу мажоритарной логики (голосование по большинству), Поскольку более половины заданий теста TG-21 валидны ($r_j > 0,3$), то и весь тест можно считать валидным. Полученные результаты подтверждают возможность автоматической генерации валидных тестов интеллекта с достаточно высокой надежностью.

Апробация ТИС в студенческой среде доказывает возмож-

ность использования ее как тренирующей системы. При выполнении тестов общего вида обычной сложности прирост IQ [11, 12, 13] между первым и вторым тестированием составил в среднем 9,7%, а между вторым и третьим тестированием – 6%, что говорит о росте тренированности испытуемых к выполнению тестов определенного типа (рис.1).

Распределение коэффициента интеллекта при многократном тестировании



Рис. 1.

Разработанные программные средства позволяют также уверенно оценить интеллектуальное состояние студенческих групп. Результаты проведенных экспериментов по одному из тестов приведены в таблице. Цифра в конце обозначения группы указывает курс, при этом второй курс ускоренного заочного обучения (ЗЭЧ-2) соответствует четвертому курсу при обычной форме заочного обучения (ЗЭМ-4).

Таблица.

Группа	Средний балл	Процент правильных ответов, среди студентов набравших баллов				
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
ЭМИ-1	12,06	3,8	35,8	39,6	17,0	3,8
ЭМ - 4	16,80	0	13,3	20,0	46,7	20,0
ЗЭМ-4	10,95	10,0	35,0	50,0	5,0	0
ЗЭЧ-2	11,04	7,7	46,2	26,9	15,4	3,8

Из анализа результатов видно, что показатель интеллекта в группах дневного отделения (ЭМИ-1, ЭМ-4) выше, чем в группах заочного отделения; что для обеих форм заочного обучения

он приблизительно одинаков; что для дневного отделения показатель четвертого курса выше, чем первого.

На рис.2 показаны итоги двух сессий студентов первого курса (средний балл) в зависимости от результата тестирования по тесту общего вида.

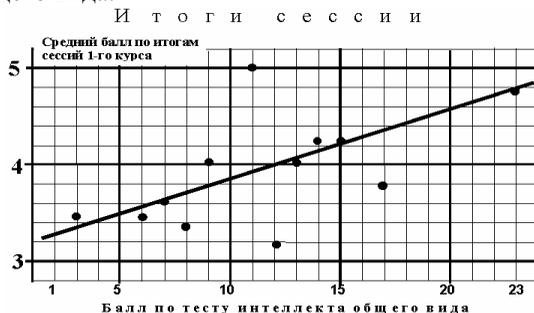


Рис. 2.

Таким образом индивидуальные показатели студентов хорошо коррелируют с успехами в учебном процессе, поэтому разработанные тестовые системы могут быть использованы и для прогноза успешности обучения и последующей профессиональной деятельности.

Предлагаемые авторами программные средства позволяют также создавать автоматизированные тестирующие системы по различным дисциплинам, что особенно актуально в условиях развития дистанционного образования. Результаты исследований, теоретические методы, заложенные в ИИПС и методике ее реализации могут быть использованы научными подразделениями и кафедрами высших учебных заведений, занимающиеся исследованием проблем мышления, когнитивного развития, естественного или искусственного интеллекта, для построения различных прикладных программно-информационных систем (ППИС), а также разработки экспертных и обучающих систем.

Литература.

1. Швецов А.Н. Автоматизация процессов развития интеллектуальных способностей в компьютерных средах / Науч. труды 2-й Междунар. науч.-практ. конф. "Фундаментальные и

- прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права". Кн. "Информатика" – М.: МГАПИ, 1999. – С. 181-187.
2. Швецов А.Н. Модель инструментальной информационной системы для анализа и развития интеллектуальных способностей/Информация-Коммуникация-Общество(ИКО): Тез. докл. Междунар. науч. конф. – СПб.: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000. – С. 188 – 189.
 3. Швецов А.Н., Сергушичева А.П. Методы и средства проектирования информационных технологий интеллектуального развития / Interactive Systems: The Problems of Human – Computer Interaction – Proceedings of the International Conference, 23-27 september 2001. - Ulyanovsk: UISTU, 2001. – С. 182 – 183
 4. Швецов А.Н., Сергушичева А.П. Информационное обеспечение технологий интеллектуального развития/ Тренажерные технологии и симуляторы- 2002: Мат-лы научно-техн. конф./Под ред. Е.И.Юревича. – СПб.:Изд-во СПбГПУ, 2002. – С.166-169.
 5. Солсо Р.Л. Когнитивная психология. – Пер. с англ. – М.: Тривола, 1996. – 600 с.
 6. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции./ Пер. с англ. В 2-х т. Т.1. Синтаксический анализ. – М.: Мир, 1978. – 612 с.
 7. Маслов С.Ю. Теория дедуктивных систем и ее применения. - М.:Радио и связь, 1986. – 136 с.
 8. Швецов А.Н., Суконщиков А.А. Канонические исчисления Поста как средство моделирования сложных дискретных систем/Автоматизация процессов управления и обработки информации: Сб. статей. – Вологда:ВоПИ, 1998. – С. 128-135.
 9. Швецов А.Н., Сергушичева А.П. Мониторинг интеллектуального состояния студенческой среды/ Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и искусственного интеллекта: Материалы межд. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2001. – С. 135 – 139.
 - 10.Швецов А.Н., Сергушичева А.П. Применение инструмен-

- тальной интеллектуальной программной системы для мониторинга интеллектуального состояния студенческой среды/ Информация- коммуникация-общество(ИКО-2001): Тез.докл. и выступлений Международной научной конференции. – СПб.: СПбГЭТУ, 2001. – С. 248 – 249.
11. Дружинин В.Н. Психодиагностика общих способностей. – М.: Изд-кий центр "Академия", 1996. – 224 с.
 12. Холодная М.А. Психология интеллекта: парадоксы исследования. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, М.: Барс, 1997. – 391 с.
 13. Encyclopedia of human intelligence / Ed. R.J. Sternberg. – New York: Macmillan, 1994. – 1235 p.