

**Богорадникова А.В., Нечаев В.В., Панченко В.М., Шмелева Д.В.**

Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва, Россия

## **МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОНСТРУИРУЕМЫХ ОТВЕТОВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ**

### **АННОТАЦИЯ**

*Рассматривается задача количественной оценки качества конструируемых на естественном языке текстовых ответов на контрольные (тестовые) вопросы в компьютерных обучающих системах при контроле знаний. Для решения указанной задачи используется энтропийный подход. Количественным показателем качества конструируемых ответов служит величина, соотносённая с традиционной четырёхбалльной шкалой оценок. Результаты модельного эксперимента показали возможность и целесообразность использования предлагаемого подхода при автоматизированном контроле знаний.*

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

*Компьютерные обучающие системы, контроль знаний, качество ответов, контрольные вопросы, организованность, энтропия.*

**Bogoradnikova A.V., Nechaev V.V., Panchenko V.M., Shmeleva D.V.**

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia

## **MODEL REPRESENTATIONS OF QUANTITATIVE ESTIMATION OF QUALITY CONSTRUCTED RESPONSE IN THE COMPUTER TRAINING SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

*The problem of quantifying the quality of constructed natural language text answers in computer-based training systems (BTS) in the control of knowledge of students. To solve this problem, we use entropy approach. A quantitative measure of the quality of the responses is constructed value of semantic-syntactic organization, The correlation with traditional chetyrehbalnoy scale of assessments. The results of model experiments have shown the possibility and usefulness of the proposed approach for automated control of knowledge.*

### **KEYWORDS**

*Computer training systems, the control of knowledge, the quality of the responses, the control questions.*

Широкое внедрение в учебный процесс компьютерных обучающих систем (КОС), а также перспективы их дальнейшего развития выдвигают в ряд важнейших задачу объективной количественной оценки качества вводимых в КОС на естественном языке (ЕЯ) текстовых ответов на контрольные вопросы. При решении данной задачи возникают принципиальные трудности, обусловленные неметрируемостью лингвистических объектов – слов, предложений, текстов, и формированием синтаксически и семантически правильно построенных предложений. Одним из возможных подходов к преодолению указанных трудностей является косвенная количественная оценка. В настоящей работе является косвенная количественная оценка лингвистических объектов (ЛО) и, как следствие, качества ответов R на контрольные вопросы Q, на основе энтропийного подхода. Применимость теории К. Э. Шеннона к рассматриваемому классу задач определяется с одной стороны статической природой лингвистических систем, а с другой – вычислимостью уровня организованности ЛО на основе оценки максимальной  $H_{max}$  и текущей  $H_t$  неопределённости. Рассматриваемый подход даёт возможность обеспечить условия количественной сопоставимости семантически однородных ЛО и, как следствие, решать класс задач аутентификации и идентификации, классификации, распознавания и т.п. в системах с компонентами искусственного интеллекта (ИИ).

Практическая реализация предлагаемого подхода осуществлялась на основе использования концептуальной модели [1], учитывающей такие свойства ЛО как семантика ( $\varphi$ ), морфология (для слова) и синтаксис ( $\mu$ ) для предложения и текста, а также организованность ( $\omega$ )

семантических и синтаксических структур ЛО. Концептуальная модель, кроме того, включает систему прямых и обратных бинарных отношений ( $\varepsilon$ ) между  $\varphi, \mu, \omega$  компонентами модели. В общем виде концептуальная модель ответа R может быть представлена следующей четвёркой

$$M(R) = \langle M_\varphi(R), M_\mu(R), M_\omega(R), E \rangle \quad (1)$$

В записи (1):  $M_\varphi(R)$  – семантическая модель ответа R;  $M_\mu(R)$  – синтаксическая модель ответа R;  $M_\omega(R)$  – модель организованности ответа R, представляемая семантической  $M_\varphi(R)$  и синтаксической  $M_\mu(R)$  составляющими:  $E = (\varepsilon_{\mu\varphi}, \varepsilon_{\varphi\mu}, \varepsilon_{\mu\omega}, \varepsilon_{\omega\mu}, \varepsilon_{\varphi\omega}, \varepsilon_{\omega\varphi})$  – совокупность бинарных отношений между  $\varphi, \mu, \omega$  компонентами модели.

Рассмотрим интерпретацию модели (1) в рамках решаемой задачи. Пусть ответ R на контрольный вопрос Q сформулирован в форме предложения S (R), состоящего из последовательности слов  $S_j^{j=1, \dots, n}$ , а также соответствующей совокупности правил  $G_\varphi$ :

$$S(R) = \{S_1, \dots, S_j, \dots, S_n; G_\varphi\} \quad (2)$$

Тогда семантическая модель  $M_\varphi(R)$  ответа R может быть представлена в виде

$$M_\varphi(R) = \{S_{\varphi i}; i = 1, \dots, m(\varphi); G_\varphi\} \quad (3)$$

где:  $S_\varphi$  – семантические элементы (семемы) предложения S(R), определяемые с учётом синонимии и полисемии;  $G_\varphi$  – оператор семантических отношений между элементами  $S_{\varphi i}, i = 1, \dots, m(\varphi)$ , задающими семантическую структуру  $St_\varphi(R)$  предложения (2) в соответствии с семантическими правилами,  $G_\varphi$ .

Синтаксическая модель  $M_\mu(R)$  предложения S(R) задаётся в форме последовательности синтаксических элементов  $S_{\mu j}$  – лексем

$$M_\mu(R) = \{S_{\mu j}; j = 1, \dots, n(\mu); G_\mu\} \quad (4)$$

Лексемы формируются с учётом грамматических и синтаксических правил русского языка и образуют соответствующие словоформы. В выражении (4)  $G_\mu$  – оператор синтаксических отношений между элементами  $S_{\mu j}, j = 1, \dots, n(\mu)$ , определяющий синтаксическую структуру  $St_\mu(R)$  предложения S(R).

Модель организованности  $M_\omega(R)$  ответа R определяется на основе следующих положений. Познание человеком объектов  $\Sigma$  реального и идеального мира осуществляется посредством идентификации совокупностей действительных или мысленно представляемых признаков  $\pi = (\pi_l; l = 1, \dots, L)$  этих объектов. В сознании субъекта выделенные совокупности признаков  $\pi$  отображаются в форме понятий  $\Pi_r (r = 1, \dots, R)$ , которые фиксируются в памяти как образы (модели) исходных совокупностей признаков  $\Pi = \{\Pi_r\}$ . При информационном взаимодействии между преподавателем и обучаемым посредством естественного языка (ЕЯ) в процессе обучения отдельные понятия и их взаимосвязанные совокупности  $\Pi = \{\Pi_r; r = 1, \dots, R\}$  представляются естественно-языковыми моделями. Смысловой аспект понятий  $\Pi_r (r = 1, \dots, R)$  отображается семантической моделью  $M_\varphi(\Pi_r)$ . Лексическая форма языкового представления модели  $M_\varphi(\Pi_r)$  определяется синтаксической моделью  $M_\mu(\Pi_r)$  в форме синтаксической структуры  $St_\mu(\Pi_r)$ . Таким образом, процесс представления объектов  $\Sigma$  на ЕЯ осуществляется посредством ряда моделей, гомоморфно отображаемых одна в другую

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma \xrightarrow{g_1} \pi \xrightarrow{g_2} \Pi_r \xrightarrow{g_3} M_\varphi \xrightarrow{g_4} M_\mu S(R) \\ \Sigma \xleftarrow{g_1^{-1}} \pi \xleftarrow{g_2^{-1}} \Pi_r \xleftarrow{g_3^{-1}} M_\varphi \xleftarrow{g_4^{-1}} M_\mu S(R) \end{array} \right. \quad (5)$$

В последовательности (5) отображения  $g_i$  и  $g_i^{-1}$  – прямой и обратный гомоморфизмы соответственно. Совершенно очевидно, что представление понятий  $\Pi_r (r = 1, \dots, R)$  посредством моделей  $M_\varphi(\Pi_r)$  и  $M_\mu(\Pi_r)$  может осуществляться неоднозначным образом. Следовательно, могут существовать семейства семантических  $M_\varphi^\Sigma(\Pi_r)$  и синтаксических  $M_\mu^\Sigma(\Pi_r)$  моделей, каждая из которых интерпретирует предшествующую компоненту последовательности (5) с той или иной степенью релевантности (адекватности). Релевантность (пертинентность) семантической интерпретации понятия  $\Pi_r (r = 1, \dots, R)$  характеризуется используемыми семемами  $S_{\varphi i}, i = 1, \dots, m(\varphi)$ , их количеством в ответе R, а также смысловой сопрягаемостью – возможностями формировать целостные семантические структуры  $St_\varphi(R)$ . Адекватность синтаксической интерпретации семантической модели  $M_\varphi(\Pi_r)$  определяется как набором лексем и словоформ  $S_{\mu j}, j = 1, \dots, n(\mu)$ , так и формой их организации в единую целостную структуру  $St_\mu(\Pi_r)$ , представляемую предложением S (R). Последний аспект вытекает непосредственно из требований правил русского языка. С учетом

вышеизложенного можно сделать заключение, что степень адекватности (релевантности) интерпретаций понятий  $\Pi_r(r=1, R)$  определяется целевой организованностью  $\Omega(R)$  семантической  $M_\varphi(\Pi_r)$  и синтаксической  $M_\mu(\Pi_r)$  моделей относительно определяемого понятия  $\Pi_r(r=1, R)$ . В тех случаях, когда в последовательности (5) при обратных отображениях (движение справа налево) понятие  $\Pi_r(r=1, R)$  идентифицируется полностью и без искажений, имеет место идеальная организованность  $\Omega^u(R)$  синтаксической  $M_\mu(\Pi_r)$  и семантической  $M_\varphi(\Pi_r)$  моделей. Если по моделям  $M_\mu(\Pi_r)$  и  $M_\varphi(\Pi_r)$  понятие  $\Pi_r$  восстановить невозможно, то имеет место полная дезорганизованность. Во всех промежуточных случаях следует говорить о реальной организованности  $\Omega(R)$ .

Рассмотренный выше подход может быть использован при контроле знаний обучаемых, реализуемом в КОС в форме диалога “вопрос – ответ”. Количественным показателем качества знаний обучаемых, при этом, выступает семантико-синтаксическая организованность  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$  ответа, а критерием оценки знаний – степень его детерминизма [2].

Организованность  $\Omega(R)$  ответа R на контрольный вопрос Q может оцениваться относительной мерой по Г. Фёрстеру [3]

$$\Omega(R) = 1 - \frac{H(R)_T}{H(R)_{max}}, \quad (6)$$

где:

$H(R)_T$  - относительная организованность ответа,  $H(R)_{max}$  - максимальная неопределенность ответа.

Анализ зависимости (6) показывает, что относительная организованность  $\Omega(R)$  может принимать численные значения в пределах:

$$0.0 \leq \Omega(R) \leq 1.0 \quad (7)$$

Максимальная неопределенность  $H(R)_{max}$  ответа определяется по У. Р. Эшби [4] зависимостью

$$H(R)_{max} = \log N[Z(R)]_{max} \quad (8)$$

где:  $N[Z(R)]_{max}$  - максимальное число состояний Z(R), в которых может находиться ответ R. Текущая неопределенность  $H(R)_T$  ответа R вычисляется по известной формуле К. Э. Шеннона

$$H(R)_T = - \sum_{k=1}^K p_k(R) \log p_k(R) \quad (9)$$

Поскольку качество ответа R определяется не только его смысловым содержанием, но и формной выражения смысла – синтаксисом, то организованность  $\Omega(R)$  вычисляется как для семантических  $Z_\varphi(R)$ , так и для синтаксических  $Z_\mu(R)$  состояний ответа R.

Семантическая организованность  $\Omega_\varphi(R)$  ответа R определяется зависимостью, аналогичной (6). Если максимальное число семантических состояний  $Z_\varphi(R)_{max}$  ответа  $Z_\varphi(R)$

характеризуется величиной  $N_\varphi$ , то максимальная семантическая неопределенность выразится

$$N_\varphi$$

зависимостью вида:

$$H_\varphi(R)_{max} = \log N_\varphi \quad (10)$$

Для определения текущей семантической неопределённости  $H_\varphi(R)_T$  вычисляется оценка  $p_\varphi(R)_k$  вероятности нахождения ответа R в состоянии  $Z_{\varphi k}(R)$ , как частота встречаемости этого ответа

$$p_\varphi(R)_k = \frac{A_\varphi(R)_k}{B_\varphi(R)} \quad (11)$$

где:  $A_\varphi(R)_k$  - величина, показывающая, сколько раз ответ R находился в состоянии  $Z_\varphi(R)_k$ ;  $B_\varphi(R)$  - полное возможное число семантических состояний  $Z_\varphi(R)$  ответа R. С учетом (9) и (11) неопределённость  $H_\varphi(R)_T$  выразится формулой

$$H_\varphi(R)_T = - \sum_{k=1}^K \frac{A_\varphi(R)_k}{B_\varphi(R)} \log \frac{A_\varphi(R)_k}{B_\varphi(R)}. \quad (12)$$

Принимая во внимание (6), а также (10) и (12), получаем

$$\Omega_\varphi(R) = 1 - \frac{H_\varphi(R)_T}{H_\varphi(R)_{max}}. \quad (13)$$

Синтаксическая организованность  $\Omega_{\mu}(R)$  ответа R вычисляется по аналогии с (13).

Определяется максимальное возможное число синтаксических состояний  $Z_{\mu}(R)_{max}$  ответа R и

$$H_{\mu}(R)_{max} = \log \frac{N_{\mu}}{Z_{\mu}(R)} \quad (14)$$

Текущая синтаксическая неопределённость определяется по формуле

$$H_{\mu}(R)_{T} = - \sum_{p=1}^P \frac{A_{\mu}(R)_p}{B_{\mu}(R)} \log \frac{A_{\mu}(R)_p}{B_{\mu}(R)} \quad (15)$$

где:  $A_{\mu}(R)_p$  – число, показывающее, сколько раз ответ R находился в  $Z_{\mu}(R)_p$  состоянии, а  $B_{\mu}(R)$  – полное теоретически возможное число синтаксических состояний  $Z_{\mu}(R)$  ответа R. Отношение

$$p_{\mu}(R)_p = \frac{A_{\mu}(R)_p}{B_{\mu}(R)} \quad (16)$$

определяет частоту нахождения ответа R в  $q$ -ом синтаксическом состоянии  $Z_{\mu}(R)_p$  и является оценкой  $p_{\mu}(R)_p$  соответствующей вероятности. С учетом (14) и (15) синтаксическая организованность  $\Omega_{\mu}(R)$  ответа R определится из соотношения

$$\Omega_{\mu}(R) = 1 - \frac{H_{\mu}(R)_{T}}{H_{\mu}(R)_{max}} \quad (17)$$

Комплексная семантико-синтаксическая организованность  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$  определяется по аналогии с (13) и (17). При этом, однако, семантические и синтаксические состояния ответа R рассматриваются совместно. Оценка вероятности  $p_{\varphi\mu}(R)_{kp}$  нахождения ответа в определённом семантико-синтаксическом состоянии  $Z_{\varphi\mu}(R)_{kp}$  вычисляется по формуле условной вероятности. При указанных условиях семантико-синтаксическая организованность будет вычисляться по формуле

$$\Omega_{\varphi\mu}(R) = 1 - \frac{H_{\varphi\mu}(R)_{T}}{H_{\varphi\mu}(R)_{max}} \quad (18)$$

Выражение (18) даёт возможность комплексно оценить организованность ответов R на контрольные вопросы Q и интерпретируется как показатель качества знаний обучаемого.

Для определения критерия качества ответа R и, как следствие, оценки знаний обучаемого на основе показателя (18), в настоящей работе используются факторы устойчивости целенаправленной деятельности и детерминированности сформированных знаний обучаемого [5]. Целенаправленная деятельность абсолютно устойчива, если сформированные знания абсолютно детерминированы. Устойчивость снижается с ростом индетерминизма. Деятельность становится неустойчивой, если степень детерминизма меньше величины 0,7, и невозможной, если детерминизм меньше значения 0,3. Детерминизм знаний, с другой стороны, связан с их организованностью. Между организованностью  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$  и степенью детерминизма имеет место следующее соответствие. Ответ R детерминирован, если значения организованности лежат в пределах  $0.7 < \Omega_{\varphi\mu}(R) \leq 1.0$ . Ответ R квазидетерминирован, если его организованность  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$  принимает значения в диапазоне  $0.1 < \Omega_{\varphi\mu}(R) \leq 0.7$ . Наконец, ответ R является вероятностным, если  $0.0 \leq \Omega_{\varphi\mu}(R) \leq 0.1$ .

С учётом рассмотренных выше условий проведём дидактическую интерпретацию совмещённой шкалы детерминизма и организованности ответа [2]. Если значения показателя организованности  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$  принимают значения в пределах

$$0.0 \leq \Omega_{\varphi\mu}(R) < 0.3, \quad (19)$$

то это свидетельствует о несформированности знаний и, следовательно, о невозможности целенаправленной деятельности. Посредством условия (19) определяются границы области психофизиологического незнания – ОПН. В тех случаях, когда значения показателя организованности лежат в пределах

$$0.3 \leq \Omega_{\varphi\mu}(R) < 0.7, \quad (20)$$

то, несмотря на определённый детерминизм ответов R и возможность целенаправленной деятельности, говорить об удовлетворительных знаниях нельзя, так как деятельность обучаемого всё ещё остаётся неустойчивой. Посредством условия (20) определяются границы области дидактического незнания – (ОДН). Если показатель организованности  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$  принимает численные значения в диапазоне

$$0.7 \leq \Omega_{\varphi\mu}(R) \leq 1.0, \quad (21)$$

то имеют место детерминированные знания и устойчивая целенаправленная деятельность обучаемого. Условие (21) даёт возможность определить область дидактического знания (ОДЗ).

Второй этап интерпретации связан с бальной шкалой оценок. Рассматривается только ОДЗ. В соответствии с принятой в традиционной системе обучения четырёхбальной шкалой оценок ОДЗ разобьём по линейному принципу на подобласти. В результате получим следующую систему соответствий:

- "ОТЛИЧНО", если:  $0.9 \leq \Omega_{\varphi\mu}(R) \leq 1.0$ ;
- "ХОРОШО", если:  $0.8 \leq \Omega_{\varphi\mu}(R) < 0.9$ ;  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$ ;
- "УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО", если:  $0.7 < \Omega_{\varphi\mu}(R) < 0.8$ ;
- "НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО", если:  $\Omega_{\varphi\mu}(R) \leq 0.7$ .

Следует отметить, что теоретическая граница между ОДЗ и ОДН определяется значением показателя организованности  $\Omega_{\varphi\mu}(R) = 0.7$ . На практике, однако, эта граница размыта. Она может плавать, сдвигаясь, как правило, к меньшим значениям показателя организованности  $\Omega_{\varphi\mu}(R)$ . В результате ОДЗ расширяется, а общий уровень оценок повышается за счёт снижения уровня требований. В более редких случаях имеет место обратная картина. За счёт неоправданно высокого уровня требований ОДЗ сужается, а общий уровень успеваемости понижается. В целом же вариабельность границы между ОДН и ОДЗ приводит к разбросу уровня обучения в традиционных системах.

Экспериментальная проверка рассмотренного подхода на модели дала положительные результаты. Так, например, на вопрос "Определите сущность метода имитационного моделирования?" был дан ответ "Сущность метода имитационного моделирования состоит в разработке программного алгоритма". Общая оценка такого ответа была "НЕУД". Значение показателя семантической организованности  $\Omega_{\varphi}(R) = 0.445$ , а синтаксической организованности  $\Omega_{\mu}(R) = 0.795$ . В других примерах формальные и интуитивные оценки ответов также были достаточно близкими.

Итоговые оценки, выставляемые обучаемым при контроле качества знаний на основе показателя организованности ответа, формируются из совокупностей частных оценок ответов на контрольные вопросы. Для формирования таких оценок используются методики, разработанные профессором А.П.Свиридовым [7].

## Литература

1. Нечаев В. В. Комплексная математическая модель абстрактной сложной системы. В кн.: Автоматическое управление и робототехнические системы. - М.: МИРЭА, 1982. - с. 49-54.
2. Нечаев В. В. Метод комплексной оценки процесса обучения. Электронная промышленность, 1982, №1, с.70-72.
3. Фёрстер Г. Самоорганизующиеся системы. В кн.: Самоорганизующиеся системы. - М.: Мир, 1964. - с. 5-23.
4. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. - М.: Иностранная литература, 1959. - 432 с.
5. Беспалько В. П. Основы теории педагогических систем. Проблемы и метод психолого-педагогического обеспечения технических обучающих систем. - Воронеж: ВГУ, 1977. - 304 с.
6. Свиридов А. П. Статистическая теория обучения: монография. - М.: Издательство РГСУ, 2009. - 576 с.
7. Свиридов А. П. Стандартизированные методы на примере контроля и диагностирования знаний: монография. - М.: Издательство РГСУ, 2011. - 294 с.

## References

1. Nechaev V.V. Complex abstract mathematical model of a complex system. Proc.: Automatic control and robotics systems. - M.: MIREA, 1982. - p. 49-54.
2. Nechaev V.V. Method of complex evaluation of the learning process. Electronics Industry, 1982, №1, s.70-72.
3. Ferster G. Self-organizing systems. Proc.: Self-organizing systems. - M.: Mir, 1964. - p. 5-23.
4. Ashby W.R. Introduction to cybernetics. - M.: Foreign Literature, 1959. - 432 p.
5. Bepal'ko V.P. Fundamentals of the theory of educational systems. Problems and methods of psycho-pedagogical maintenance of technical training systems. - Voronezh: VSU, 1977. - 304 p.
6. Sviridov A.P. statistical learning theory: a monograph. - M.: Publishing house of Russian State Social University, 2009. - 576p.
7. Sviridov A.P. standardized methods on the example of monitoring and diagnosing of knowledge: a monograph. - M.: Publishing house of Russian State Social University, 2011. - 294 p.

Поступила 10.10.2016

### Об авторах:

**Богорадникова Алиса Викторовна**, ассистент кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения Московского технологического университета (МИРЭА);

**Нечаев Валентин Викторович**, профессор кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения Московского технологического университета (МИРЭА), кандидат технических наук, профессор;

**Панченко Виктор Михайлович**, профессор кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения Московского технологического университета (МИРЭА), кандидат технических наук, профессор;

**Шмелева Дарья Викторовна**, ассистент кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения Московского технологического университета (МИРЭА).