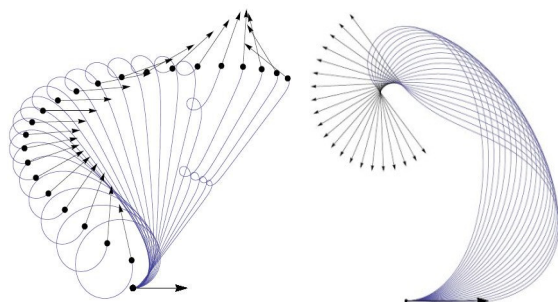


Таблица показывает высокую эффективность распараллеливания для рассматриваемого класса задач.



На рисунке приведены кадры анимаций, вычисленных с помощью созданных программ. (Анимации имеются в открытом доступе по адресу <http://www.botik.ru/PSI/CPRC/sachkov/GROUP/group.html>).

Алгоритмические и программные методы, разработанные для исследования эйлеровых эластик, находят применение в ряде других родственных задач (например, при восстановлении изображений на основе вариационного подхода и решении двухточечных задач управления с помощью нильпотентной аппроксимации).

#### Литература

1. Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума или минимума. Приложение I «Об упругих кривых». М.-Л.: ГТТИ, 1934. С. 447–572.
2. Аграчев А.А., Сачков Ю.Л. Геометрическая теория управления. М.: Физматлит, 2005.
3. Sachkov Yu.L. Maxwell strata in Euler's elastic problem, *Journal of Dynamical and Control Systems*. Vol. 14 (2008), № 2 (April), pp. 169–234.
4. Арденгов А.А., Сачков Ю.Л. Решение задачи Эйлера об эластике // *Автоматика и телемеханика*. 2009. № 4. С. 78–88.
5. Wolfram S. *Mathematica: a system for doing mathematics by computer*, Addison-Wesley, Reading, MA 1991.

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К КОНЦЕПТУАЛЬНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ В САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

*В.В. Дрождин, к.т.н.; Р.Е. Зинченко (Пензенский государственный педагогический университет им. В.Г. Белинского, drozhdin@yandex.ru)*

На основе формальной логики и общей теории систем рассмотрена проблема семантического моделирования предметной области (ПрО). Концептуальная модель ПрО представляется системой понятий, моделирующей объекты, их свойства, состояния и отношения между объектами реального мира. Модель ПрО формируется непосредственно пользователями самоорганизующейся информационной системы (СИС) средствами языка моделирования ПрО. При этом пользователи системы являются частью ПрО и составляют подсистему с сетевой структурой. Таким образом, внешняя среда перестает быть для СИС множеством изолированных объектов, а представляется достаточно организованной системой, с которой СИС посредством интенсивного взаимодействия способна сформировать сверхсистему, то есть систему более высокого иерархического уровня.

**Ключевые слова:** самоорганизующаяся информационная система, моделирование предметной области, концептуальная модель предметной области, язык моделирования предметной области.

Удовлетворение информационных потребностей пользователей с требуемым качеством в течение длительного (потенциально бесконечного) времени осуществляют *автоматизированные информационные системы* (АИС), решающие задачи сбора, хранения, обработки и выдачи информации о некоторой части реального мира, называемой *предметной областью* (ПрО).

Для выполнения своих функций АИС поддерживает динамическую модель ПрО, которая отображается в БД и на основе которой пользователи получают информацию о ПрО. В существующих АИС модель ПрО представлена в форме внешней схемы данных, реализованной обычно в рамках реляционной или объектной модели данных. Вследствие пассивности существующих систем требуется сложный и трудоемкий процесс проектирования и создания АИС, а при отклонении параметров АИС от требуемых в процессе функционирования необходима модификация системы.

*Самоорганизующаяся информационная система* (СИС) реализует те же задачи, что и АИС, но имеет другую организацию. СИС должна быть активной системой, построенной из адаптивных элементов, и поддерживать концептуальную информационно-логическую модель ПрО [1]. Она должна быть способной эффективно приспосабливаться к изменениям внешней среды и внутренней организации системы на основе согласованного взаимодействия элементов системы между собой, а также взаимодействия системы с внешней средой. Пользователями СИС могут быть люди или системы, взаимодействующие с ней. При этом пользователи представляются не множеством изолированных однородных объектов, а системой объектов, организованных преимущественно в сетевую структуру. Наличие иерархических отношений между пользователями позволяет распределять обязанности администрирования системы среди достаточно большого числа иерархически

привилегированных пользователей. Это делает СИС достаточно прозрачной снизу вверх и реализует возможность естественного контроля вышестоящими пользователями действий нижестоящих пользователей. В случае подчинения некоторого пользователя нескольким вышестоящим пользователям его модель ПрО представляется совокупностью взаимосвязанных подмоделей (секций), которые будут доступны, соответственно, вышестоящим пользователям.

Особенностью СИС является то, что, несмотря на высокую внутреннюю сложность, внешне система должна представляться достаточно простой. Пользователи формируют свое представление о ПрО в форме системы понятий и формулируют информационные потребности путем оперирования понятиями, а проектирование и ведение БД, соответствующей модели ПрО, осуществляется самой СИС на основе теории эволюционных систем. Поэтому, несмотря на различные пользовательские представления ПрО и изменяющееся в процессе функционирования системы представление ПрО конкретного пользователя, СИС всегда должна быть способной поддерживать БД, адекватную полному представлению ПрО всех пользователей. Возможность формирования пользователями собственной системы понятий и иерархические отношения между пользователями позволяют естественным образом реализовать механизм областей видимости для каждого пользователя СИС.

Формальной основой концептуального моделирования ПрО является теория понятий, рассмотренная в [2]. Понятие есть результат обобщения предметов некоторого типа (вида, класса) и выделения этого множества предметов по определенной совокупности общих и в совокупности отличительных для них признаков. Основными характеристиками понятия являются:

- имя – символ (слово или словосочетание), идентифицирующий понятие среди множества всех понятий;
- содержание – совокупность признаков, которые все вместе достаточны, а каждый необходим для того, чтобы выделить данный класс предметов, то есть отличить эти предметы от других;
- объем – класс обобщаемых в понятии предметов.

Причем объем понятия может быть воображаемым (мыслимым, виртуальным), заданным свойствами объектов, соответствующих понятию, а не указываться полным перечислением объектов. Содержание понятия может быть представлено пустым предикатом, что требует явного связывания с понятием объектов, имеющих необходимый набор свойств.

Конструктивной основой концептуального моделирования ПрО является теория эволюционных систем [3, 4]. Система объектов данного (*i*-го) рода (**R**-система *i*-го рода или **R<sub>i</sub>**) – это законо-

мерное множество объектов-систем одного и того же рода. Причем выражение «*одного и того же*» или «*данного рода*» означает, что каждый объект-система обладает общими, родовыми признаками (одним и тем же качеством), а именно: каждый из них построен из всех или части фиксированных первичных элементов  $m \in \{M_i^{(0)}\}$  в соответствии с частью или со всеми фиксированными отношениями  $r \in \{R_i\}$ , с частью или со всеми фиксированными законами композиции  $z \in \{Z_i\}$ , реализованными в рассматриваемой системе объектов данного рода. Объект-система – это композиция (или единство), построенная по отношениям (в частном случае – по взаимодействиям)  $r \in \{R_i\}$  и ограничивающим эти отношения условиям  $z \in \{Z_i\}$  из первичных элементов  $m \in \{M_i^{(0)}\}$ , выделенного по основаниям  $a \in \{A_i^{(0)}\}$  из универсума  $\{U\}$ . В соответствии с законом системных преобразований неэволюционный (эволюционный) объект-система в рамках неэволюционной (эволюционной) системы объектов *i*-го рода, благодаря своему существованию и/или дву-, одно-, нольсторонним связям со средой, будет переходить по фиксированным неэволюционным (эволюционным) законам  $z \in \{Z_i\}$ : а) либо в себя посредством тождественного преобразования; б) либо в другие объекты-системы посредством одного из 7 и только 7 различных неэволюционных (эволюционных) преобразований, а именно изменений: 1) количества, 2) качества, 3) отношений, 4) количества и качества, 5) количества и отношений, 6) качества и отношений, 7) количества, качества, отношений всех или части его первичных элементов. Поэтому описание **R**-системы *i*-го рода соответствует некоторому понятию, а объект-система **R**-системы *i*-го рода есть элемент объема этого понятия.

В этом случае концептуальная модель ПрО представляется сетью, узлами которой являются множества объектов *i*-х типов (**R**-системы *i*-го рода), а связи отражают включение объектов более низкого уровня в объекты более высокого уровня или выделение из объектов *i*-го типа некоторого подмножества (подтипа) объектов с определенными свойствами.

Род **R**-системы и объектов-систем, входящих в нее, определяется пользователем. **R**-система *i*-го рода задается именем и набором характеристик (свойств), представляющих объекты ПрО *i*-го типа в СИС.

Свойства объекта могут либо быть простыми значениями (текст), либо являться объектами (**R**-системами) более низкого уровня.

Для построения модели ПрО пользователям СИС предоставляется язык моделирования ПрО, обеспечивающий следующие возможности.

*Формирование системы пользователей:*

- регистрация пользователя;
- включение пользователя в структуру пользователей СИС;

- определение полномочий и области видимости пользователя;
- модификация информации о пользователе и удаление пользователя.

*Формирование концептуальной (информационно-логической) модели ПрО пользователя:*

- добавление понятия в модель ПрО с указанием состава и описанием содержания;
- модификация состава и содержания понятия;
- удаление понятия;
- декомпозиция и слияние понятий;
- формирование частного понятия с более узким содержанием относительно общего понятия, то есть выделение подтипа объектов с определенными свойствами;
- формирование абстрактного понятия путем абстрагирования от несущественных свойств у некоторого множества объектов, то есть формирование некоторого образа для множества объектов.

*Управление собственной понятийно-логической моделью ПрО и моделями ПрО нижестоящих пользователей:*

- определение подмодели (взаимосвязанной части) собственной модели ПрО и включение ее в модель ПрО нижестоящего пользователя;
- определение подмодели ПрО нижестоящего пользователя и включение ее в собственную модель ПрО;
- выделение подмодели ПрО нижестоящего пользователя и делегирование на эту подмодель некоторых собственных прав;
- скрытие/отображение части модели ПрО.

Для реализации указанных возможностей определим следующие формальные конструкции языка.

Пользователей СИС определим в виде:  $U = \{u \mid u = \langle n_u, \rho, t_u, o_u, \delta \rangle\}$ , где  $U$  – множество пользователей СИС;  $n_u$  – имя пользователя;  $\rho$  – пароль пользователя для входа в систему;  $t_u$  – тип пользователя (человек или внешняя система);  $o_u$  – идентификатор объекта, выступающего в роли пользователя СИС;  $\delta \in \Delta$  – полномочия пользователя. Параметры  $n$  и  $\rho$  уникальны для каждого пользователя СИС. Отношение иерархии между пользователями определим в виде:  $R_u = \{r_u \mid r_u = \langle u_1, u_2, n_r, t_{ru} \rangle\}$ , где  $R_u$  – совокупность отношений иерархии между всеми пользователями;  $r_u$  – отношение иерархии между двумя пользователями;  $u_1$  – вышестоящий пользователь;  $u_2$  – нижестоящий пользователь;  $n_r$  – имя отношения;  $t_{ru}$  – тип иерархии: основное подчинение – пользователь  $u_1$  осуществляет наиболее полное руководство и общий контроль пользователя  $u_2$ , дополнительное подчинение – пользователь  $u_1$  осуществляет руководство и контроль пользователя  $u_2$  в какой-то сфере.

Основное подчинение некоторого пользователя возможно только одному вышестоящему пользователю, а дополнительных подчинений может быть несколько.

Понятия, представляющие в модели ПрО различные типы объектов, определим в виде  $V = \{v \mid v = \langle n_v, v_s, v_c \rangle\}$ , где  $V$  – множество всех понятий модели ПрО;  $n_v$  – имя понятия,  $v_s$  – его состав,  $v_c$  – содержание. Состав понятия отражает совокупность понятий более низкого уровня, задающих структуру и свойства объектов, соответствующих данному понятию.

Содержание понятия является предикатом, определяющим соотношения свойств объектов, относящихся к данному понятию, и выделяющим эти объекты среди всех других объектов ПрО.

Между понятиями определим различные отношения в виде  $R_v = \{r_v \mid r_v = \langle v_1, v_2, n_r, t_{rv} \rangle\}$ , где  $R_v$  – совокупность различных отношений между всеми понятиями ПрО;  $r_v$  – отношение типа  $t_{rv}$  между понятиями  $v_1$  и  $v_2$ ;  $n_r$  – имя отношения;  $t_{rv}$  – тип отношения: агрегация (часть–целое) – понятие  $v_2$  является компонентом (частью) понятия-агрегата  $v_1$ , классификация – понятие  $v_2$  является подклассом класса  $v_1$ , обобщение (род–вид) – каждое видовое понятие  $v_2$  является категорией родового понятия  $v_1$ , абстрагирование – понятие  $v_2$  является конкретизацией понятия-образа  $v_1$ .

Приведенные отношения имеют следующий смысл.

Агрегация задает отношение между понятием-агрегатом и другими понятиями, называемыми компонентами [5, 6]. Она позволяет формировать целостные объекты понятия-агрегата как композиции объектов понятий-компонентов.

Классификация задает отношение разбиения (деления) множества объектов класса на подклассы по основанию классификации [2].

Обобщение устанавливает отношение между родовым понятием и видовыми понятиями, называемыми категориями [2, 5]. Оно позволяет формировать обобщенный объект родового понятия путем выделения общих частей из объектов видовых понятий.

Абстрагирование устанавливает отношение между понятием-образом и конкретным понятием [2]. Оно позволяет формировать объекты понятия-образа путем огрубления объектов конкретного понятия. Причем огрубление может выполняться двумя способами: отбрасыванием свойств, несущественных в рассматриваемой ситуации, или формированием усредненного образа для множества подобных объектов.

Семантические отношения между понятиями и их типы пользователи могут задавать самостоятельно, поэтому модель ПрО будет являться определенной формой семантической сети.

Определим модель ПрО в виде  $M = \langle M_u \rangle = \langle V, R_v \rangle$ , где  $M$  – модель ПрО, являющаяся композицией  $M_u$ ;  $M_u = \langle m_u \rangle = \langle V_u, R_{vu} \rangle$  – модель ПрО пользователя;  $m_u = \langle V'_u, R'_{vu} \rangle$  – подмодель (секция) модели;  $V_u$  – множество понятий модели;  $R_{vu}$  – множество отношений между понятиями

модели;  $V_u'$  – множество понятий подмодели (секции) модели;  $R_{vu}'$  – множество отношений между понятиями подмодели (секции) модели.

Произвольную подмодель ПрО будем задавать в виде  $m = \langle V_m, R_{vm} \rangle$ , где  $V_m$  – множество понятий подмодели  $m$ ;  $R_{vm}$  – множество отношений между понятиями подмодели  $m$ .

Определим операции, позволяющие пользователям формировать и поддерживать в актуальном состоянии модель ПрО. Примеры записи операций приведем для ПрО **университет**.

Для формирования системы пользователей СИС определим следующие операции.

1. Регистрация пользователя:

$$\theta_1: \langle n_u, \rho, t_u, o_u, \delta \rangle \rightarrow u.$$

Операция  $\theta_1$  регистрирует в СИС нового пользователя  $u$  с заданными характеристиками.

Для примера будем считать, что в **университете** существует *физико-математический факультет* (ФМФ). Зарегистрируем в системе пользователя *декан ФМФ* со следующими параметрами:  $n_u = \text{'DEKAN\_FIZ\_MAT'}$ ;  $\rho = \text{'123456'}$ ;  $t_u = \text{человек}$ ;  $o_u = \text{userID4672}$  – идентификатор объекта, выступающего в роли пользователя СИС;  $\delta = \text{respREF1756}$  – ссылка, указывающая на массив полномочий пользователя.

Тогда  $\theta_1: \langle \text{'DEKAN\_FIZ\_MAT'}, \text{'123456'}, \text{человек}, \text{userID4672}, \text{respREF1756} \rangle \rightarrow \text{декан ФМФ}$ .

2. Включение пользователя в структуру пользователей СИС или определение иерархии между двумя пользователями:  $\theta_2: u_1 \xrightarrow{n_u, t_u} u_2$ .

Операция  $\theta_2$  осуществляет включение пользователя  $u_1$  или  $u_2$  в структуру пользователей СИС или задает дополнительное отношение иерархии между ними путем установления отношения иерархии с именем  $n_u$  и типом  $t_u$  от пользователя  $u_1$  к пользователю  $u_2$ . При этом СИС автоматически проверяет отсутствие зацикливания.

Определение дополнительного подчинения для пользователя  $u_2$  не влечет за собой никаких дополнительных изменений в структуре пользователей. Определение основного подчинения возможно при отсутствии такого отношения у пользователя  $u_2$  или при наличии полномочий у пользователя  $u_1$  отменить существующее основное отношение иерархии у пользователя  $u_2$  и назначить ему новое отношение такого типа. Например, пусть в СИС уже существует пользователь **ректор**. Тогда включение пользователя **декан ФМФ** в структуру пользователей СИС имеет вид:

$$\theta_2: \text{пользователь ректор} \xrightarrow[\text{тип иерархии=основное подчинение}]{\text{имя отношения=руководить,}} \text{пользователь декан ФМФ}.$$

3. Определение полномочий и области видимости пользователя:  $\theta_3: u_1 \xrightarrow{\delta} u_2(m_u')$ , где  $\delta$  – полномочия, которые делегирует пользователь  $u_1$  пользователю  $u_2$  на подмодель ПрО  $m_u'$ .

Операция  $\theta_3$  выделяет в модели ПрО пользователя  $u_1$  подмодель  $m_u$  и включает ее в модель ПрО пользователя  $u_2$  в качестве подмодели  $m_u'$  с полномочиями  $\delta$  или выделяет в модели ПрО пользователя  $u_2$  подмодель  $m_u$  и делегирует на нее полномочия  $\delta$ .

Например, определение области видимости и делегирования полномочий управления работой ФМФ **декану ФМФ ректором** вуза задается в виде:  $\theta_3$ : пользователь **ректор**  $\xrightarrow{\text{управление работой ФМФ}}$  пользователь **декан ФМФ** (подмодель ПрО **университет**, включающая систему понятий ФМФ).

4. Модификация информации о пользователе:  $\theta_4: u \xrightarrow{\text{Rule}} u'$ , где **Rule** – некое правило, в соответствии с которым изменяется информация о пользователе  $u$ .

Предположим, что в какой-то момент (например, в целях информационной безопасности) необходимо изменить пароль у пользователя **декан ФМФ**. Для этого выполним операцию вида:

$$\theta_4: \text{пользователь декан ФМФ} \xrightarrow{\text{изменить пароль}} \text{пользователь декан ФМФ}'.$$

Для формирования понятийно-логической модели ПрО пользователя определим следующие операции.

1. Добавление понятия в модель ПрО пользователя:  $\theta_5: M_u \xrightarrow{+v, f} M_u'$ .

Операция  $\theta_5$  осуществляет включение нового понятия  $v$  в модель ПрО пользователя  $M_u$ . При этом на основе правила  $f$  автоматически устанавливаются все отношения понятия  $v$  с другими понятиями модели  $M_u$ . Недостающие отношения пользователь может задать с помощью операции определения отношений между понятиями.

Пусть на ФМФ создана новая кафедра математического анализа. Поэтому в модели ПрО пользователя **декан ФМФ** должно появиться новое понятие – **кафедра мат. анализа**, соединяемое отношением агрегации с понятием **ФМФ**:

$$\theta_5: \text{модель ПрО пользователя декан ФМФ} \xrightarrow{\text{+кафедра мат. анализа, от ФМФ} \rightarrow \text{часть-целое}} \text{модель ПрО пользователя декан ФМФ}'.$$

2. Удаление понятия из модели ПрО пользователя:  $\theta_6: M_u \xrightarrow{-v} M_u'$ .

Операция  $\theta_6$  удаляет понятие  $v$  из модели ПрО пользователя. При этом автоматически удаляются все отношения понятия  $v$  с другими понятиями модели.

Предположим, что на ФМФ по каким-то причинам закрылась специальность **учитель физики**. Следовательно, из модели ПрО пользователя **декан ФМФ** должно быть удалено понятие **специальность учитель физики**:  $\theta_6$ : модель ПрО пользователя **декан ФМФ**  $\xrightarrow{\text{-специальность учитель физики}}$  модель ПрО пользователя **декан ФМФ'**.

3. Декомпозиция понятия на два взаимосвязанных понятия:  $\theta_7: v \xrightarrow{v_{1s}, t_{rv}} \langle v_1, v_2, r_v \rangle$ .

Операция  $\theta_7$  осуществляет декомпозицию понятия  $v \in V_u$  на два понятия  $v_1, v_2 \in V_u$  (где составы  $v_{1s}, v_{2s} \in V_s$  и  $v_{1s} \cup v_{2s} = v_s$ , а содержание декомпозируется в соответствии с составами понятий) и формирует между понятиями отношение  $r_v$  типа  $t_{rv}$ .

Например, декомпозиция понятия **студент**, содержащего информацию о человеке, группе, специальности и факультете, на 2 взаимосвязанных понятия может осуществляться разными способами:

а) выделение информации о человеке в самостоятельное понятие, которое будет являться частью понятия **студент**, имеет вид:

$\theta_7$ : студент  $\xrightarrow{\langle \text{фамилия, имя, отчество, дата рождения} \rangle, \text{ часть-целое}} \langle \text{студент, человек, агрегация} \rangle$ ;

б) рассматривая студента как одну из ролей, в которых выступает человек, необходимо задать операцию вида:

$\theta_7$  : студент  $\xrightarrow{\langle \text{фамилия, имя, отчество, дата рождения} \rangle, \text{ обобщение}} \langle \text{человек, студент, обобщение} \rangle$ .

4. Слияние двух взаимосвязанных понятий в одно понятие:  $\theta_8: \langle v_1, v_2 \rangle \rightarrow v$ .

Операция  $\theta_8$  осуществляет слияние понятий  $v_1, v_2 \in V_u$  в одно понятие  $v \in V_u$  и автоматически удаляет все отношения, которые существовали между этими понятиями.

Например, слияние понятий **студент** и **человек** в одно понятие **студент** задается операцией:  $\theta_8: \langle \text{студент, человек} \rangle \rightarrow \text{студент}$ .

5. Задание отношения между двумя понятиями модели ПрО пользователя:  $\theta_9: M_u \xrightarrow{v_1, v_2, n_r, t_{rv}, p} M_u'$ .

Операция  $\theta_9$  задает отношение  $r_v$  между понятиями  $v_1, v_2 \in V_u$  с именем  $n_r$  и типом  $t_{rv}$  в соответствии с предикатом  $p$ .

Например, установление в модели ПрО **декан ФМФ** отношения между понятиями **кафедра** и **преподаватель** с именем **работать преподавателем** и типом **часть-целое** путем установления явного соответствия между объектами понятий задается операцией:

$\theta_9$ : модель ПрО пользователя **декан ФМФ**  $\xrightarrow{\langle \text{кафедра, преподаватель, работать преподавателем, часть-целое, соответствие} \rangle}$  модель ПрО пользователя **декан ФМФ'**.

6. Определение понятия-подкласса для понятия-класса модели ПрО пользователя:

$\theta_{10}: v \xrightarrow{p} \langle v, v_1 \rangle$ .

Операция  $\theta_{10}$  формирует для понятия-класса  $v$  понятие-подкласс  $v_1$  в соответствии с предикатом  $p$ , задающим более узкое понятие  $v_1$  относительно понятия  $v$ , и устанавливает между ними отношение классификации. При этом множество свойств объектов понятий  $v$  и  $v_1$  совпадают, а более узкое

содержание понятия-подкласса  $v_1$  достигается ограничением допустимых значений свойств.

Например, выделим среди студентов ФМФ пятикурсников:

$\theta_{10}$ : студенты ФМФ  $\xrightarrow{\text{курс обучения}=5}$  студенты 5 курса ФМФ.

7. Определение понятия-класса для одного или нескольких понятий-подклассов модели ПрО пользователя:  $\theta_{11}: \{v_1, \dots, v_n\} \rightarrow \langle v, v_1, \dots, v_n \rangle$ .

Операция  $\theta_{11}$  формирует на основе понятий-подклассов  $v_1, \dots, v_n$  понятие-класс  $v$  путем объединения объемов понятий  $v_1, \dots, v_n$  и устанавливает между ними отношение классификации. При этом множество свойств объектов понятий  $v_1, \dots, v_n$  должно совпадать и соответствовать свойствам объектов понятия-класса  $v$ .

Например, на основе понятий-подклассов, определяющих различные виды дисциплин, определим понятие-класс для всех изучаемых дисциплин:  $\theta_{11}: \langle \text{гуманитарная дисциплина, математическая дисциплина} \rangle \rightarrow \text{изучаемая дисциплина}$ .

8. Определение родового понятия для одного или нескольких понятий модели ПрО пользователя:  $\theta_{12}: \{v_1, \dots, v_n\} \xrightarrow{p} \langle v, v_1, \dots, v_n \rangle$ .

Операция  $\theta_{12}$  формирует на основе видовых понятий  $v_1, \dots, v_n$  родовое понятие  $v$  в соответствии с предикатом  $p$ , выделяющим общее содержание понятий  $v_1, \dots, v_n$ , и устанавливает между ними отношение обобщения. При этом общее содержание видовых понятий  $v_1, \dots, v_n$  переносится в родовое понятие  $v$ , и из объемов понятий  $v_1, \dots, v_n$  формируется объем понятия  $v$ .

Например, на основе понятий **сотрудник** и **студент** создадим родовое понятие **человек**. При этом родовое понятие **человек** будет содержать следующие свойства: **фамилия, имя, отчество** и **дата рождения**; понятие **сотрудник** будет включать свойства: **подразделение** и **должность**; понятие **студент** – свойства **группа** и **специальность**:

$\theta_{12}: \{ \text{сотрудник, студент} \} \xrightarrow{\text{имена свойства} = \text{совпадают}} \langle \text{человек, сотрудник, студент} \rangle$ .

9. Определение видового понятия для родового понятия модели ПрО пользователя:

$\theta_{13}: v \rightarrow \langle v, v_1 \rangle$ .

Операция  $\theta_{13}$  создает новое видовое понятие  $v_1$  и устанавливает отношение обобщения родового понятия  $v$  с видовым  $v_1$ .

Например, для родового понятия **человек** создается видовое понятие **студент**:

$\theta_{13}: \text{человек} \rightarrow \langle \text{человек, студент} \rangle$ .

10. Определение понятия-агрегата для понятия-компонента модели ПрО пользователя:

$\theta_{14}: v_1 \rightarrow \langle v, v_1 \rangle$ .

Операция  $\theta_{14}$  создает новое понятие-агрегат  $v$  и устанавливает отношение агрегации понятия-агрегата  $v$  с понятием-компонентом  $v_1$ . Например, создадим понятие **студент** и включим в него

информацию о людях из понятия-компонента **человек**:

$\theta_{14}$ : человек  $\rightarrow$  <студент, человек>.

11. Определение понятия-компонента для понятия-агрегата модели ПрО пользователя:

$\theta_{15}$ :  $v \rightarrow \langle v, v_1 \rangle$ .

Операция  $\theta_{15}$  создает новое понятие-компонент  $v_1$  и устанавливает отношение агрегации понятия-агрегата  $v$  с понятием-компонентом  $v_1$ .

Например, создадим понятие **изучаемая дисциплина** и включим его в понятие-агрегат **студент**:

$\theta_{15}$ : студент  $\rightarrow$  <студент, изучаемая дисциплина>.

12. Определение понятия-образа для конкретного понятия модели ПрО пользователя:

$\theta_{16}$ :  $v \xrightarrow{p} \langle v_0, v \rangle$ .

Операция  $\theta_{16}$  формирует на основе конкретного понятия  $v \in V_u$  понятие-образ  $v_0 \in V_u$  в соответствии с предикатом  $p$ , выделяющим свойства понятия  $v$ , существенные для образа  $v_0$ , и отбрасывающим несущественные свойства или формирующим усредненные значения свойств образа на основе свойств конкретного понятия, и устанавливает между ними отношение абстрагирования.

Например, определим понятие-образ для студентов ФМФ на основе понятия студентов ФМФ первого курса:

$\theta_{16}$ : студенты ФМФ 1 курса  $\xrightarrow{\text{несущественное свойство курс}}$  <студенты ФМФ, студенты ФМФ 1 курса>.

13. Определение конкретного понятия на основе абстрактного понятия модели ПрО пользователя:

$\theta_{17}$ :  $v_0 \xrightarrow{+v} \langle v_0, v \rangle$ .

Операция  $\theta_{17}$  формирует на основе абстрактного понятия  $v_0 \in V_u$  конкретное понятие  $v \in V_u$  путем приписывания дополнительных несущественных свойств  $v_c$  к объектам понятия  $v_0$ .

Если студентов ФМФ необходимо различать и по специальностям, то зададим конкретное понятие **студенты ФМФ специальности X** с помощью операции:

$\theta_{17}$ : Студенты ФМФ  $\xrightarrow{+специальность}$  <Студенты ФМФ, Студенты ФМФ специальности X>.

14. Определение синонима понятия:

$\theta_{18}$ :  $v \xrightarrow{n} v'$ .

Операция  $\theta_{18}$  формирует на основе понятия  $v \in V_u$  понятие  $v' \in V_u$  путем приписывания дополнительного имени  $n_{v'}$  к понятию  $v$ .

Например, определим для понятия **группа** синоним имени **учебная группа**:

$\theta_{18}$ : группа  $\xrightarrow{\text{учебная группа}}$  учебная группа.

Для управления собственной понятийно-логической моделью ПрО и моделями ПрО нижестоящих пользователей определим следующие операции.

1. Определение подмодели собственной модели ПрО и включение ее в модель ПрО нижестоя-

щего пользователя:  $\theta_{19}$ :  $M_u \xrightarrow{\langle v_1, v_2, \dots, v_k \rangle} M_u'$ .

Операция  $\theta_{19}$  в собственной модели ПрО пользователя  $M_u$  выделяет подмодель в виде системы взаимосвязанных понятий  $\langle v_1, v_2, \dots, v_k \rangle$  и включает ее в модель ПрО нижестоящего пользователя  $M_u'$ . Например, выделение в модели ПрО **ректор** подмодели, отражающей деятельность ФМФ, и включение ее в модель ПрО **декан ФМФ** задается операцией:  $\theta_{19}$ : модель ПрО пользователя **ректор**  $\xrightarrow{\langle \text{материально-техническое состояние ФМФ, кадровая политика ФМФ, учебный процесс на ФМФ} \rangle}$  модель ПрО пользователя **декан ФМФ**.

2. Определение подмодели ПрО нижестоящего пользователя и включение ее в собственную модель ПрО:  $\theta_{20}$ :  $M_u' \xrightarrow{\langle v_1, v_2, \dots, v_k \rangle} M_u$ .

Операция  $\theta_{20}$  в модели ПрО нижестоящего пользователя  $M_u'$  выделяет подмодель в виде системы взаимосвязанных понятий  $\langle v_1, v_2, \dots, v_k \rangle$  и включает ее в собственную модель ПрО пользователя  $M_u$ .

Например, выделение в модели ПрО **зам. декана ФМФ по воспитательной работе** подмодели, отражающей воспитательную работу на ФМФ, и включение ее в модель ПрО **проректор по воспитательной работе** задается операцией  $\theta_{20}$ : модель ПрО пользователя **зам. декана ФМФ по воспитательной работе**  $\xrightarrow{\text{воспитательная работа на ФМФ}}$  модель ПрО пользователя **проректор по воспитательной работе**.

3. Определение подмодели ПрО нижестоящего пользователя и делегирование на эту подмодель некоторых собственных прав:

$\theta_{21}$ :  $M_u' \xrightarrow{\langle v_1, v_2, \dots, v_k \rangle, \delta} M_u'$ .

Операция  $\theta_{21}$  в модели ПрО нижестоящего пользователя  $M_u'$  выделяет подмодель в виде системы взаимосвязанных понятий  $\langle v_1, v_2, \dots, v_k \rangle$ , на которую делегирует некоторые собственные права  $\delta$ . Например, делегирование деканом ФМФ секретарю полномочий в системе задается операцией  $\theta_{21}$ : модель ПрО пользователя **секретарь де-**

**кана ФМФ**  $\xrightarrow{\langle \text{результаты сессии (просмотр, редактирование) текущий учебный процесс (просмотр) посещаемость студентов (просмотр)} \rangle}$  модель ПрО пользователя **секретарь декана ФМФ'**.

4. Определение подмодели собственной модели ПрО пользователя для включения в отображение:  $\pi_m(M_u)$ .

Операция  $\pi$  в модели ПрО пользователя  $M_u$  выделяет подмодель  $m$ , в соответствии с которой будет представляться информация о ПрО.

5. Определение части собственной модели ПрО пользователя для исключения из отображения:  $\neg\pi_{\{v_1, v_2, \dots, v_k\}}(M_u)$ .

Операция  $\neg\pi$  в модели ПрО пользователя  $M_u$  выделяет подмножество (возможно, несвязанных)

понятий  $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ , которые исключаются из отображения.

6. Определение полного отображения модели ПрО пользователя:  $\pi(M_u)$ .

В этом случае информация о ПрО представляется пользователю в полном объеме.

Предложенный язык моделирования ПрО позволяет пользователям самостоятельно формировать модель реального мира в СИС, а способность СИС автоматически создавать и обрабатывать БД, адекватную заданной модели ПрО, обеспечивает существенное повышение интенсивности процесса информационного обмена СИС с внешней средой. Кроме этого, представление пользователей, составляющих внешнюю среду СИС, некоторой активной целостной системой и приобретение информационной системой свойств активности и самоорганизации способствуют созданию сверхсистемы, включающей систему пользователей и СИС как равноправные автономные подсистемы с интенсивным взаимодействием. Равноправие подсистем на основе синергетического принципа коэволюции сложных систем [7, 8] позволяет повы-

сить надежность и эффективность функционирования сверхсистемы, а также ускоряет темпы развития и увеличивает продолжительность ее существования.

#### Литература

1. Гуков Л.И., Ломако Е.И., Морозова А.В. [и др.]. Макетирование, проектирование и реализация диалоговых информационных систем. М.: Финансы и статистика, 1993.
2. Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г. Логика : учеб. для вузов. М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2001. 528 с.
3. Система. Симметрия. Гармония; под ред. В.С. Тютютина и Ю.А. Урманцева. М.: Мысль, 1988. 315 с.
4. Урманцев Ю.А. Эволюционика. Пушино, 1988. 79 с.
5. Смит Дж., Смит Д. Принципы концептуального проектирования баз данных // Требования и спецификации в разработке программ; пер. с англ. М.: Мир, 1984. 344 с.
6. Codd E.F. Extending the Database Relational Model to Capture More Meaning // ACM Transactions on Database Systems. Vol. 4. № 4. December 1979.
7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика и принципы коэволюции сложных систем. URL: <http://spkurdyumov.narod.ru/Siniprevolslognsistem.htm> (дата обращения: 10.07.2009).
8. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетические принципы коэволюции сложных систем. URL: <http://spkurdyumov.narod.ru/D1KnyazevaKurdyumov.htm> (дата обращения: 10.07.2009).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНТРОПИЙНЫХ МЕР В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

А.В. Машкин, к.т.н. (2 ЦНИИ Минобороны России, г. Тверь, arep@cps.ru)

В статье обоснована возможность использования энтропийных мер для решения задачи оценки информативности признаков распознавания ограниченной совокупности образов, характеризующих ограниченную систему объектов. Формализованы аналитические выражения для расчета граничных значений количества информации, заключенного в системе образов объектов.

**Ключевые слова:** энтропия, энтропийная мера, информативность, распознавание, объект, образ.

Мерам оценки информативности признаков распознавания посвящено достаточное количество работ, например [1, 2]. Известный подход к оценке информативности признаков основан на вычислении вероятностных или информационных мер [3, 4]. Присущими ему основными недостатками следует считать:

- необходимость попарной оценки схожести образов (меры типа Махаланобиса), что не позволяет представлять совокупность заданных образов в виде системы;

- большую размерность матриц вероятностных мер, проблематичных для проведения сравнительного анализа, и другие.

Для устранения этих недостатков можно использовать системные энтропийные меры оценки информативности признаков распознавания.

Цель данной работы состоит в формализации этих мер.

Для представления совокупности  $M$  образов, заданных соответствующими плотностями рас-

пределения вероятностей  $f_i(x_j)$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,  $j = \overline{1, N}$ , одномерного признака  $x_j$  из  $N$ -мерного признакового пространства, в виде системы используется выражение для системной плотности распределения:

$$f_c(x_j) = \sum_{i=1}^M P_i f_i(x_j), \quad (1)$$

где  $P_i$  – априорная вероятность появления в области наблюдения  $i$ -го образа.

Как правило, на момент формирования словаря признаков распределение априорных вероятностей неизвестно, поэтому можно воспользоваться равномерным представлением. Следовательно,  $P_i = 1/N$ . Физический смысл данного показателя заключается в оценке изрезанности и протяженности совокупности распределений, определяющих различающие свойства образов. Для оценки информативности признака  $x_j$  в системе образов используется энтропийная мера  $I_n$ , представляемая как