

— в случае горизонтального дна,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \tilde{\rho}(y) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + m(\tilde{\rho}(y))u = \Phi(x, y),$$

$$\beta(y)u + \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \quad y = 0, \quad \beta(y)u + \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \quad y = -H_0,$$

— в случае неровного дна, математически схожие с рассмотренными задачами о движении бароклинной жидкости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешков Ю. З. Распространение внутренних волн в океане // Вестник СПбГУ. 1992. Сер. 1. Вып. 3. № 15. С. 3-9.
2. Гледзер Е. Б., Должанский Ф. Б., Обухов А. М. Системы гидродинамического типа и их применение. М.: Наука, 1981. 366 с.
3. Канторович Л. В., Крылов В. И. Приближенные методы высшего анализа. М.-Л.: ГИТТЛ, 1962. 708 с.

*Игорь Николаевич ГЛУХИХ —  
проректор по информационным технологиям,  
доктор технических наук, профессор*

*Татьяна Николаевна Пуртова —  
соискатель кафедры информационных систем,  
менеджер ТРРЦИ*

УДК 007 : 681.3.06

#### **СИТУАЦИОННЫЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ: ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ВЫБОР ПРЕЦЕДЕНТОВ**

*АННОТАЦИЯ. Рассмотрен подход к построению ситуационных баз знаний на основе примеров. Предложен способ формализации примеров ситуаций и их сравнения путем строковых представлений.*

*The approach to construction of situational knowledge bases on the basis of examples is considered. The way of formalization of examples of situations and their comparisons by line representations is offered.*

При разработке ситуационных баз знаний (СБЗ) содержание базы знаний может определяться с помощью экспертов, которые включают в СБЗ взаимосвязанные описания реальных, предполагаемых или гипотетических ситуаций, а также решений для этих ситуаций. Другой подход основывается на представлении в СБЗ прецедентов, т.е. тех ситуаций и решений, которые имели место в ходе функционирования рассматриваемой системы. При этом ключевой фигурой в процессе заполнения СБЗ становится инженер базы знаний — специалист, задачами которого является организация сбора информации, формирование описаний ситуаций и решений по заданным формам и правилам, проверка актуальности знаний, выявление противоречий, поиск неявных закономерностей и т.п. Эксперт в данном случае может привлекаться как для оценки некоторых фактов, отношений и событий, так и для дополнения базы знаний собственными, «экспертными» компонентами. В результате получается сложная структура знаний, привязанных к некоторым ситуациям [1].

Далее рассмотрен способ формализации описания ситуаций в СБЗ, позволяющий осуществлять поиск решений на основе выявления ситуаций-прецедентов, близких к данной.

Положим, что СБЗ есть пара компонентов — <база примеров ситуаций (БПС) и база примеров решений (БПР), между которыми установлено взаимно-однозначное соответствие.

Пусть ситуация-пример описывается с помощью набора атрибутов  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ . Положим, что этим набором с достаточной степенью точности описывается любая ситуация в системе или некоторое рассматриваемое подмножество ситуаций. Каждый атрибут  $A_i$  имеет область своих значений  $D_i$ . Пусть, например атрибут  $A_i =$  «температура воздуха» может иметь область значений  $D_i = [72; 60]$ .

Для компактного представления и обработки формальных описаний ситуаций предлагается использовать строки символов [2]. При этом можно ввести множество строк  $\{Str\} \Leftrightarrow \{Sit\}$ , где каждая  $Str$  является строкой с фиксированным расположением информации о каждом  $A_i$ . Для формирования  $Str$  применим следующий способ.

Введем набор решающих функций

$$(\varphi_i \mid i = 1, 2, \dots, N),$$

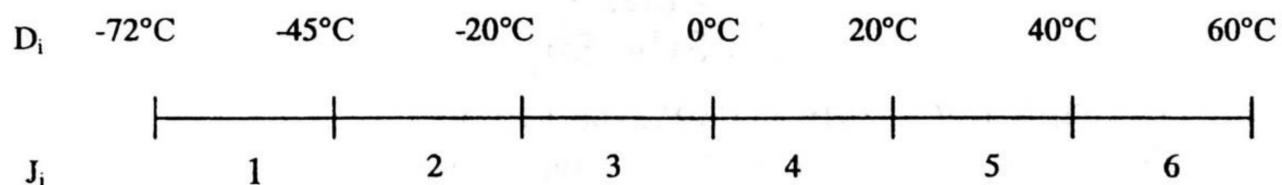
где  $\varphi_i$  — решающая функция,  $\varphi_i : a_i \rightarrow D\varphi_i$ ;

$D\varphi_i$  — множество значений решающей функции  $\varphi_i$ ;

$N$  — общее количество  $A_i$ .

В частности,  $D\varphi_i$  включает в себя множество  $J_i$  индексов подмножеств области значений  $D_i$   $i$ -го атрибута. Таким образом, решающая функция вычисляет по известному значению атрибута номер одного из подмножеств  $D_i$ , в которое входит  $a_i$ .

Так, для упомянутого выше атрибута  $A_i =$  «температура воздуха» можно записать:



то есть  $D\varphi_i \supset \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ .

Формальное представление ситуации формируется путем последовательного вычисления  $\varphi_i$  и заполнения строки  $Str_{тек} = (Ch_i)$ , где  $Ch_i$  есть символьное значение  $\varphi_i$ ,  $Str_{тек}$ -строка — представление текущей ситуации.

База примеров ситуаций представляет собой множество

$$Str = \{ \langle Str_k, St \rangle \mid k = \overline{0, M} \},$$

где  $Str_k$  — строка  $k$ -го примера ситуации;

$M$  — мощность БПС;

$$St_k = \{ St_{kp} \mid p = \overline{0, P_k} \};$$

$St_{kp}$  —  $p$ -я запрещенная подстрока для  $k$ -го примера ситуации в данной системе.

Ввод запрещенных подстрок имеет своей целью исключение из числа отобранных тех строк, сходных с  $Str_{тек}$ , для которых определено решение, не допустимое в текущей ситуации. В общем случае запрещенные подстроки определяются экспертом как недопустимое сочетание параметров в ситуации того же типа, что и фиксируемая  $Str_k$ . Последняя в свою очередь может формироваться в два этапа:

— идентификация значений атрибутов (за счет опроса пользователя или опроса измерителей, датчиков и т. п.);

— формализация описания ситуации в виде строки путем применения решающих правил.

Каждой  $Str_k$  ставится в соответствие одно решение-пример  $R_k$ . Ранее принято условие взаимнооднозначного соответствия между БПС и БПР, однако оно не накладывает принципиальных ограничений — если в одной ситуации допустимо применение нескольких решений, то в БПС записываются копии  $Str_k$  по числу этих решений.

В случаях, когда по каким-либо причинам нет возможности получить значения некоторого  $A_i$ , или, если их точность неудовлетворительна, значение решающей функции  $\varphi_i$  принимается равным «х». Это значение заносится в  $Str$  на место неопределенного  $A_i$ . В некоторых  $Str$  в БПС на местах символов отдельных  $A_i$  могут ставиться специальные символы «\*», означающие отсутствие или малое влияние этого  $A_i$  на выбор решения. Таким образом, множество значений решающей функции  $\varphi_i$  в общем случае есть  $D\varphi_i = \{*, x, 1, 2, 3, \dots\}$ .

Итак, этапами вывода решения в прецедентной ситуационной модели являются следующие:

— определение  $a_i$  каждого из принятого для данной системы набора  $A_i$ ;  
 — вычисление по полученным данным для всех  $i$  значений  $\varphi_i$  и формирование  $Str_{тек}$ ;

— отбор в БПС подмножества ситуаций-примеров, сходных по заданному критерию с текущей. В результате этого этапа определяется подмножество возможных решений  $R^* \subseteq R$ , каждое из которых является допустимым для данной ситуации;

— выбор наиболее рационального решения  $R^* \in R^*$  и применение его в процессе управления.

При введенном способе представления примеров ситуаций в БПС задача состоит в том, чтобы путем анализа сходства  $Str_{тек}$  и  $Str_k$  определить  $Str^* \in Str$ , для которой

$$f_{\Sigma} \rightarrow \max f_i \quad (1)$$

при  $St^* \notin Str_{тек}$ ,

где  $f_{\Sigma}$  — интегральный показатель сходства строк;

$St^*$  — любая из запретных подстрок, связанных с  $Str^*$  в БПС.

Учитывая необходимость свободы выбора окончательного решения, ослабим требования (1) и запишем следующее условие отбора, позволяющее сформировать такое  $Str^* \subseteq Str$ , что  $Str^* \Leftrightarrow R^*$ :

$$Str^* \in Str^*, \quad (2)$$

$$Str^*: \left| \max_{k=1, M} f_{\Sigma k} - f_{\Sigma}^* \right| \leq \epsilon,$$

при  $St^* \notin Str_{тек}$ ,

где  $\epsilon$  — достаточно малая величина.

Вид и способ формирования показателя сходства  $f_{\Sigma}$  определяют следующие основные способы решения поставленной задачи.

Введем набор частных показателей сходства строк (ситуаций)

$$(f_i \mid i = \overline{0, N}),$$

свертка которых будет определять  $f_{\Sigma}$ . Положим, для всех  $k$  значения этих показателей вычисляются следующим образом:

$$f_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{— при } \varphi_{тек i} = \varphi_{ki} \text{ или } \varphi_{ki} = \langle * \rangle \\ 0 & \text{— при } \varphi_{тек i} \neq \varphi_{ki} \text{ и } \varphi_{ki} \neq \langle * \rangle. \end{cases}$$

Для решения задач (1, 2) можно использовать следующие способы, известные из теории принятия решений при многих критериях.

Отбор по главному критерию:

$$f_{\Sigma} = f_{гл}, \quad (3)$$

где  $f_{гл} \in \{f_i\}$  — главный показатель, соответствующий тому атрибуту, который имеет абсолютно преобладающее значение при определении сходства ситуаций.

Данный способ целесообразно применять в условиях дефицита времени и при наличии преобладающего атрибута.

Отбор по аддитивному критерию:

$$f_{\Sigma} = \sum_i \alpha_i f_i, \quad (4)$$

$$\sum_i \alpha_i = 1, \alpha_i \in [0; 1],$$

где  $\alpha_i$  — весовой коэффициент частного показателя, значение которого зависит от значимости соответствующего атрибута при определении сходства ситуаций;

Данный способ требует процедуры экспертного опроса для определения количественных оценок важности показателей.

Следующий способ — отбор с учетом ограничений — целесообразно применять в случаях, когда известно подмножество приоритетных атрибутов, сходство ситуаций по которым должно быть обязательным. В этом случае для отбора используются формулы (1), (3) или (2), (3), к которым добавляются условия ограничения:

$$f_{ki} \geq f_{i \text{ пор}}, \forall f_{ki} \in f_k^s, \quad (5)$$

где  $f_k^s$  — заданное подмножество приоритетных показателей  $k$ -й ситуации-примера;  $f_{i \text{ пор}}$  — заданное пороговое значение. В частности, в рассматриваемых задачах, когда сходство атрибутов определяется их принадлежностью одной области значений,  $f_{i \text{ пор}} = 1$  для всех  $i$ .

Для отбора в условиях неопределенности, т.е. наличия в строке описания текущей ситуации или ситуации-примера символов «х», целесообразно учитывать степень неопределенности при оценке сходства строк (ситуаций). Модернизируем  $f_i$  для этих условий:

$$f_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{— при } \varphi_{\text{тек } i} = \varphi_{ki} \text{ или } \varphi_{ki} = \langle * \rangle \\ 0.5 & \text{— при } \varphi_{\text{тек } i} = \langle x \rangle \text{ и } \varphi_{ki} \neq \langle * \rangle \text{ или } \varphi_{ki} = \langle x \rangle \\ 0 & \text{— при } \varphi_{\text{тек } i} \neq \varphi_{ki} \text{ и } \varphi_{ki} \neq \langle * \rangle. \end{cases}$$

Логичным будет предположить, что для множества строк (ситуаций) в БПС, имеющих в своем составе некоторое количество символов «х», но с одинаково большим показателем соответствия, предпочтение следует отдать той ситуации, сходство с которой установлено с большей определенностью. Для учета подобных случаев введем интегрированный показатель неопределенности:

$$\tilde{f}_{\Sigma} = \sum_i \alpha_i \tilde{f}_i,$$

значение которого для  $k$ -й ситуации-примера вычисляется через значения частных показателей неопределенности:

$$\tilde{f}_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{— при } \varphi_{\text{тек } i} = \langle x \rangle \text{ и } \varphi_{ki} \neq \langle * \rangle \text{ или } \varphi_{ki} = \langle x \rangle \\ 0 & \text{— при } \varphi_{\text{тек } i} \neq \langle x \rangle \text{ и } \varphi_{ki} \neq \langle x \rangle. \end{cases}$$

Тогда окончательный отбор делается по критерию максимизации  $f_{\Sigma}$  при ограничениях на значение показателя неопределенности  $\tilde{f}_{\Sigma}$ .

В заключение можно отметить следующее. Выбор в СБЗ прецедента, т.е. ситуации-примера, в простом случае предполагает перебор всех примеров БПС. При больших объемах БПС необходимы меры по сокращению пространства перебора. Трудность также заключается в том, что для выполнения описанных процедур выбора необходима идентификация всех элементов строки текущей ситуации (которые в данной ситуации могут не иметь смысла). Среди других задач, которые должны быть решены при реализации данного подхода, можно назвать организацию поиска ситуаций в СБЗ по свободным запросам; группирование близких ситуаций-примеров и выявление обобщенных описаний; устранение избыточности путем удаления близких ситуаций и т. п.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухих И. Н. Ситуационные модели: применение в системах корпоративных знаний // Модернизация образования в условиях глобализации: м-лы межд. науч. конф. 14-15.09.2005, Ч. 2. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2005. С. 22-24.

2. Глухих И. Н., Сазанов В. Е., Левушкин Д. В. Моделирование отбора ситуаций в базе примеров ситуационной системы поддержки принятия решений на основе анализа сходства строковых представлений // Научно-технический калейдоскоп». Сер. «Приборостроение, радиотехника и информационные технологии. 2001. № 2. С. 31-36.

*Анна Юрьевна ДЕРЕВНИНА —  
проректор по учебной работе ТюмГУ,  
кандидат физико-математических наук, доцент*

УДК 001.5

### **АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СЦЕНАРНОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ**

*АННОТАЦИЯ. Описан алгоритм для построения графа на плоскости, позволяющий наилучшим образом и с минимальным искажением отобразить динамику системы в процессе эволюции.*

*The algorithm of building the special data structure is described. The data structure means the graph in 2-dimensional space, that allows visualize the evolution of dynamic system in its true value.*

Считается, что социально-экономические системы являются открытыми и нелинейными, что дает основание к применению синергетического подхода к изучению систем. Необходимым условием развития систем является периодическое возникновение неустойчивости. Все сложные системы флуктуируют, что означает, что параметры систем подвержены случайным отклонениям от средних значений. Если в области устойчивости флуктуации уменьшаются с течением времени до нуля, то в области неустойчивости, благодаря положительной обратной связи, они могут стать настолько сильными, что это приведет к скачкообразному переходу в новое состояние. Неустойчивость приводит к тому, что уровень структурности системы изменяется, падает энергия связи, увеличивается энтропия, что является характерным признаком того, что система приближается к точке бифуркации и тому критическому моменту в своем развитии, после которого неизбежно перейдет в качественно иное состояние и изменит направление эволюции. В биологии примером подобного процесса являются дивергентно-конвергентные циклы, результатом которых служит видовое разнообразие биологических видов.