УДК 004.82

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В АБСТРАКТНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ ЗНАНИЙ

К. И. Костенко

Кубанский государственный университет

Поступила в редакцию 20.03.2011 г.

Аннотация. Исследуется вопрос о требованиях к свойствам многообразия семантических отношений на множестве абстрактных знаний (конфигураций), позволяющих представлять семантические сети с помощью иерархических структур. Определено понятие канонической конфигурации для таких представлений. Построено преобразование всякой конфигурации в эквивалентную ей каноническую конфигурацию.
Ключевые слова: абстрактное знание, иерархическая структура, семантическая сеть, каноническая структура.
Annotation. The question on requirements to properties of variety of semantic relations on set of the abstract knowledge (configurations) is investigated, allowing simulating semantic networks by means of hierarchical structures. The concept of a standard configuration for such representations is defined. It is constructed an equivalent transformation of any configuration to a standard configuration.
Keywords: abstract knowledge, hierarchical structure, semantic network, standard structure.

ВВЕДЕНИЕ

Знания в предметных областях и видах деятельности, а также технологии работы с ними, определяют уровень и возможности современных социальных и экономических систем. Разработка эффективных форм представления многообразий знаний и создание технологий управления знаниями образуют цели, на достижение которых направлены исследования в разных областях: математике, информатике, лингвистике, педагогике и психологии. Формальный аспект пространств знаний связан со специальными математическими моделями, к которым относятся абстрактные пространства знаний, близкие по идеологии к алгебраическим системам [1, 2]. Одним из компонентов абстрактного пространства знаний является пространство конфигураций, элементами которого (конфигурациями) моделируются унифицированные многообразия абстрактных знаний. Структурные представления конфигураций формируются с использованием семантических отношений. В настоящей работе рассматриваются требования к системам семантических отношений в составе пространств знаний. Их целью является формирование стандартов для свойств отношений и автоматизации процессов обработки целостных систем знаний, а также теоретического фундамента для понятия пространства знаний. Рассмотрена задача моделирования представлений знаний в модели семантических сетей с помощью иерархических структур конфигураций.

1. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СЕМАНТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА АБСТРАКТНЫХ ЗНАНИЙ

Пусть M – бесконечное вычислимое множество (множество конфигураций, элементы которого рассматриваются как представления отдельных абстрактных знаний), содержащее специальную (пустую) конфигурацию Λ.

Определение 1. Разложением конфигураций называется всюду определенное вычислимое отображение $\varepsilon : \mathbf{M} \to \mathbf{M} \times \mathbf{M}$, для которого:

$$\varepsilon(\Lambda) = (\Lambda,\ \Lambda),$$

$$\forall z_1,\ z_2 \in M\ \exists\ z \in M(\varepsilon(z) = (z_1,\ z_2)).$$

Если $\varepsilon(z) = (\Lambda,\ \Lambda)$, то z называется элементарной конфигурацией. Глубиной ε называется отображение $d_\varepsilon : M \to N$, определяемое соотношениями:

1. $d_\varepsilon(z) = 0 \leftrightarrow z = \Lambda$;

2. $d_\varepsilon(z) = \max(d_\varepsilon(z_1), d_\varepsilon(z_2)) + 1$, если $\varepsilon(z) = (z_1, z_2)$ и $z \neq \Lambda$.

Разложение ε называется конечным, если функционал d_ε всюду определён. В общем случае операции разложения не являются инъективными и допускают отображение нескольких разных конфигураций в одну и ту же пару конфигураций. Такая возможность отражает ситуацию, когда из одних и тех же систем знаний можно составить несколько знаний, различающихся семантическими зависимостями, используемыми для связывания знаний в единую семантическую структуру. В случае пространства конфигураций результатами связывания конкретной пары с помощью бинарных отношений являются различные конфигурации. Структуру таких конфигураций составляет исходная пара конфигураций и отношение между её элементами.

Для построения структурных представлений конфигураций с помощью элементов их разложений используются разнообразные семантические отношения, среди которых практическое распространение получили зависимости, представляемые бинарными отношениями. Многообразия таких отношений и их формальные свойства определяют выразительные возможности создаваемых с их помощью семантических представлений. Они входят в определения и обеспечивают вычислимость теоретически и практически важных классов операций над абстрактными знаниями. Целью формализации и изучения многообразий отношений, используемых для формирования структурных представлений конфигураций, является развитие фундаментальных представлений о выразительных возможностях и свойствах семантических отношений и операций над ними. Одной из практических задач исследования отношений является нахождение эффективных путей автоматизации процессов формирования, анализа и обработки структурных представлений знаний. Другим существенным свойством абстрактных многообразий отношений является их бесконечность. Это не отменяет возможность работы с конечными системами отношений, но позволяет создавать и использовать неограниченные схемы комбинирования последних, создающими теоретически и практически полезные возможности.

В системах представления и управления знаниями используются разнообразные эмпирические классификации семантических связей: таксономии, генеалогические, ассоциативные, функциональные, каузальные зависимости, а также их комбинации, структурирующие информационные объекты и позволяющие осуществлять автоматическую обработку их содержимого [3].

Естественное требование к семействам семантических отношений связано с их вычислимостью, означающей существование алгоритма, порождающего все отношения семейства. Условия вычислимости недостаточно для обеспечения возможности эффективной работы с такими отношениями, поскольку многие практически важные свойства множества всех вычислимых отношений на M оказываются неразрешимыми.

Будем моделировать многообразия семантических отношений и операций над ними с помощью специальных алгебраических систем $R = (R, O, C)$, называемых семантическими пространствами. В таких системах R – это вычислимое множество разрешимых отношений (семантических отношений) на множестве конфигураций M, включающее элементы $T = M \times M$ и $E = \varnothing$, O – множество вычислимых операций на R, включающее объединение, пересечение, обращение, произведение и композицию, а C – множество логических операций на R, включающее разрешимое сравнение вложения элементов R, обозначаемое как ρ_1.

Семантическое отношение – это разрешимое бинарное отношение на множестве конфигураций. Если для некоторой пары конфигураций выполняется отношение из R, то такая ситуация интерпретируется как выполнимость соответствующей отношению семантической связи между знаниями, представляемыми конфигурациями. В последнем случае две конфигурации и выполняющееся для них семантическое отношение позволяют определить содержащую данные конфигурации новую конфигурацию, отражающую указанную зависимость между ними. Отношения T и E выполняются для любых пар конфигураций, представляя максимальную и минимальную семантическую связь между конфигурациями. Операции суперпозиции и обращения относятся к классическим средствам теории отношений. Для моделирования сложных схем комбинирования отношений требуются специальные операции, учитывающие специфику задач работы со знаниями. Общий формат таких операций имеет вид $f : R^* \to R$, где R^* – множество конечных последовательностей элементов R. Из таких отображений в настоящей работе рассматриваются биективные отображения $c : R^* \to R$, называемые композициями отношений.

Существует несколько доводов в пользу требования разрешимости вложения для отношений в семантических пространствах.

1. Многообразия семантических отношений, используемых в составе интеллектуальных информационных систем, являются конечными вследствие конечности обычно расширяющихся систем знаний, представленных в таких системах.

2. Является хорошо изученной структура вложений для стандартных систем формализованных семантических отношений, применяемых в структурных представлениях знаний.

3. Многообразия интеллектуальных ресурсов, применяемых в системах знаний, нередко формируются с помощью простых схем комбинирования структур и семантических отношений, что обеспечивает регулярность создаваемых представлений знаний, обеспечивающую возможность их автоматической обработки.

Последний случай естественно формализуется в рамках подхода к формированию семантических пространств на основе системы начальных отношений, обычно связывающих элементарные знания. Отношения, связывающие сложные знания, составляются с помощью правил, основывающихся на свойствах отношений в составе структур таких знаний и применяемых схем комбинирования структур. В случаях использования простых языков правил и свойств оказывается возможным распознавание вложений для любых отношений соответствующего семантического пространства.

Представление произвольной конечной системы знаний конфигурациями абстрактного пространства знаний формально может быть расширено до бесконечной совокупности конфигураций. В этом случае семантические отношения, применяемые для формирования знаний сложной структуры, оказываются разрешимыми на конечных системах знаний. Они допускают расширение на добавляемые системы знаний и их включения с сохранением свойства разрешимости используемых отношений.

Определение 2. Семантическим связыванием для разложения ε называется такое вычислимое отображение $\psi : M \to R$, что:

1. $\forall z_1, z_2 \in M \exists z \in M((z_1 \neq \Lambda \vee z_1 \neq \Lambda) \to \varepsilon(z) = (z_1,\ z_1)\ \&\ \psi(z) = E)$;
2. $\forall z \in M(\psi(z) \neq E \to \varepsilon(z) \in \psi(z))$
3. ψ инъективно на множествах

$$\{z \mid z \in M\ \&\ \varepsilon(z) = (z_1, z_2)\ \&\ (z_1 \neq \Lambda \vee z_2 \neq \Lambda)\}.$$

Определение 3. Пространством конфигураций называется пара $M = (M, d)$, где M – множество конфигураций, содержащее пустую конфигурацию, а $d = (\varepsilon, \psi)$ – каноническая декомпозиция элементов M, составленная отображениями разложения и связывания.

Структурное представление конфигураций определяется с помощью отображений разложения и связывания, составляющих каноническую декомпозицию $d = (\varepsilon, \psi)$. Полные структурные представления (ПСП) конфигураций имеют вид нагруженных бинарных деревьев, висячим вершинам которых сопоставляются элементарные конфигурации. Внутренние вершины ПСП всякой конфигурации размечены значениями ψ для конфигураций, представляемых деревьями, корнями которых они являются. Для обозначения вершин двоичных деревьев будем использовать элементы множества двоичных наборов I с пустым набором, обозначаемым как λ. Множества вершин (висячих вершин) ПСП $z \in M$ обозначается как $D(z)$ ($O(z)$). Если $\alpha \in D(z)$, то $(z)_\alpha$ ($[\,z\,]_\alpha$) обозначает подконфигурацию конфигурации z с корнем α (разметку вершины α). Аналогично запись $(z)_\alpha$ обозначает конфигурацию, ПСП которой задаётся поддеревом ПСП z, корнем которого является α.

2. СТРУКТУРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ

Пусть $c : R^* \to R$ – конкретная композиция отношений. Семантическое отношение $r \in R$ назовём элементарным, если $c^{-1}(r) = r$.

С помощью этого отображения всякий элемент R представляется в виде иерархии отношений. Представляющая $r \in R$ иерархия отношений имеет вид нагруженного дерева, потомки каждой вершины которого перенумерованы с помощью элементов некоторого начального отрезка множества натуральных чисел. Такое дерево обозначается в виде $T_c(r)$ и конструируется с помощью биективного вычислимого отображения c^{-1} по правилам:

1. корню $T_c(r)$ сопоставляется отношение r;
2. если отношение $r \in R$ элементарно, то $T_c(r)$ состоит из единственной вершины;
3. потомки корня $T_c(r)$ образуют вершины, являющиеся корнями последовательно пере-

числяемых поддеревьев, представляющих отношения из $c^{-1}(r) = (r_1, \ldots, r_k)$.

Будем рассматривать вычислимое дерево T, каждая вершина которого имеет бесконечно много потомков. Определим вычислимое семейство однозначных нумераций потомков вершин такого дерева натуральными числами. Заметим, что корень $T_c(r)$ не имеет номера. Деревья структурных представлений отношений являются фрагментами дерева T, в котором номера потомков всякой вершины последовательно возрастают начиная с 1. Если $r \in R$, то каждую вершину $v \in T_c(r)$ можно представить конечной (возможно, пустой) последовательностью натуральных чисел. Эту последовательность образуют номера вершин, составляющих путь из корня в v. Множество всех конечных последовательностей натуральных чисел будем представлять выражением $(N \setminus \{0\})^*$.

Для отображения композиции $c : R^* \to R$ дополнительно потребуем, чтобы выполнялись условия элементарности пустого отношения и монотонности относительно вложений:

1. $c(E) = E$.

2. для $r = c(r_1, \ldots, r_k)$ и $r' = c(r_1, \ldots, r'_m)$, , где $m \le k$, если $\forall i = 1, \ldots m (r'_i \rho_1 r_i)$, то $r' \rho_1 r$;

Для обозначения компонентов структур отношений из R будем использовать выражения вида $\{r\}_\alpha$, $\alpha \in (N \setminus \{0\})^*$, определяемые с помощью следующих соотношений:

1. Пусть $r \in R$, $\alpha = (n)$, $n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$ и $c^{-1}(r) = (r_1, \ldots, r_k)$. Тогда

$$\{r\}_\alpha = \begin{cases} r_n, \text{ если } n \le k \\ E, \text{ иначе} \end{cases}$$

2. Если $r \in R$, $\alpha = (\beta, n)$, $\beta \in (N \setminus \{0\})^*$, $n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$ и $c^{-1}(\{r\}_\beta) = (r_1, \ldots, r_k)$. Тогда

$$\{r\}_\alpha = \begin{cases} r_n, \text{ если } n \le k \\ E, \text{ иначе.} \end{cases}$$

Иерархические структуры элементов R, порождаемые конкретными отображениями композиции, задают различные системы отношений, сопоставленных вершинам таких структур. Рассматриваемые совместно, все такие отношения можно использовать для определения семейства связей между частями конфигураций, порождаемых с использованием операции разложения конфигураций. Для этого можно применить специальную интерпретацию структурных представлений отношений. Возьмём некоторое вычислимое инъективное и префиксное (ни одно значение не является началом другого значения) отображение $\zeta : I \times I \to (N \setminus \{0\})^*$. Это отображение множества пар двоичных последовательностей во множество вершин дерева T. Тогда, если $\alpha, \beta \in D(z)$, а $r \in R$ и $\psi(z) = r$, то r определяет отношение $\{r\}_{\zeta(\alpha,\beta)}$ между конфигурациями $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$.

Следствием последней интерпретации является возможность формирования и использования более сложных, чем иерархии, структур знаний с помощью элементов ПСП конфигураций. Рассмотрим указанную схему подробнее, определив механизм назначения отношений между произвольными частями разложений конфигураций на основе элементов структурных представлений отношений.

Пусть $\subseteq$ – отношение вложения последовательностей на $(N \setminus \{0\})^*$, задаваемое выражением $\forall \alpha, \beta \in (N \setminus \{0\})^* (\alpha \subseteq \beta \leftrightarrow \alpha$ является началом $\beta)$.

Определение 4. Вычислимое отображение $\zeta : I \times I \to (N \setminus \{0\})^*$, называется индексацией, если

$$\begin{gathered} \forall \alpha, \beta \in I \times I (\alpha \ne \beta \to \\ \to (\zeta(\alpha,\beta) \not\subset \zeta(\beta,\alpha)) \,\& \\ \&(\zeta(\beta,\alpha) \not\subset \zeta(\alpha,\beta))). \end{gathered}$$

Индексация является инъективным отображением, которое сопоставляет всякой паре $\alpha, \beta \in I \times I$, последовательность чисел из $N \setminus \{0\}$. Такие последовательности интерпретируется как пути в вершины структурных представлений семантических отношений из R, сопоставляемых парам из $I \times I$.

Воспользуемся отображением индексации для определения семейства отношений, имеющих место в z между подконфигурациями $(z)_{\alpha\beta}$ и $(z)_{\alpha\gamma}$, $\alpha\beta, \alpha\gamma \in D(z)$. Будем использовать структурные представления отношений $[z]_\alpha$, $\alpha \in D(z) \setminus O(z)$. Если $z \in M$, $\alpha, \beta \in D(z)$ и $\alpha \ne \beta$, то обозначим $\{z\}_{\zeta(\alpha,\beta)}$ семантическое отношение, соответствующее вершине $\zeta(\alpha,\beta)$ в структурном представлении отношения $[z]_\lambda$.

Пусть $\zeta : I \times I \to (N \setminus \{0\})^*$ – индексация зависимостей, $z \in M$ и $\alpha, \beta \in D(z)$. Обозначим через $[z]_{\alpha,\beta}$ семантическое отношение между $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$, определяемое с помощью элементов структур отношений, сопоставленных вершинам из $D(z) \setminus O(z)$. Рассмотрим множество $\Gamma(\alpha,\beta)$ отношений, приписанных вершинам пути $\gamma_1, \ldots, \gamma_k$, ведущего из корня $D(z)$ в вершину $\omega = \alpha \cap \beta$.

Пусть $\alpha = \omega\alpha'$, $\beta = \omega\beta'$ и $\{\omega_i \mid i = 1,...,k\}$ – последовательность элементов из I, для которой $\forall i = 1,...,k(\alpha \cap \beta = \gamma_i\omega_i)$.

Определим вспомогательное отношение

$$r_{\alpha,\beta}(z) = \bigcap_{\gamma_i \in \Gamma(\alpha,\beta)} \left(\{[z]_{\gamma_i}\}_{\varsigma(\omega_i\alpha',\omega_i\beta')}\right).$$

Рассмотрим схему нахождения значения $[z]_{\alpha,\beta}$ с помощью двух правил. В ней используются отношения $r_{\gamma_1,\gamma_1}(z)$, $\gamma_1, \gamma_2 \in D(z)$, с помощью компонент структурных представлений которых формируется полное представление отношения между конфигурациями $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$, в структуре конфигурации z. Приводимое в схеме правило 2 определяет отношения $[z]_{\alpha,\beta}$, $\alpha, \beta \in D(z)$, с учётом отношений, связывающих подконфигурации конфигураций $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$.

1. Если $\alpha, \beta \in O(z)$, то $[z]_{\alpha,\beta} = r_{\alpha,\beta}(z)$;
2. Если $\alpha \notin O(z) \vee \beta \notin O(z)$, то

$$[z]_{\alpha,\beta} = \{(z_1, z_2) \mid (z_1, z_2) \in r_{\alpha,\beta}(z)\ \&$$
$$\&\forall\alpha' \in D(z_1), \beta' \in D(z_2)((\alpha' \neq \lambda \vee \beta' \neq \lambda)\ \&$$
$$\&([z]_{\alpha\alpha',\beta\beta'} \neq E) \to (((z_1)_{\alpha'}, (z_2)_{\beta'}) \in [z]_{\alpha\alpha',\beta\beta'})\ \&$$
$$\&\forall\alpha' \in D(z_1),$$
$$\beta' \in D(z_2)((\alpha' \neq \lambda \vee \beta' \neq \lambda)\ \&$$
$$\&([z]_{\beta\beta',\alpha\alpha'} \neq E) \to (((z_1)_{\alpha'}, (z_2)_{\beta'}) \in [z]_{\beta\beta',\alpha\alpha'})\ \&$$
$$\&\forall\alpha' \in D(z_1), \beta' \in D(z_2)((\alpha' \neq \lambda \vee \beta' \neq \lambda)\ \&$$
$$\&([z]_{\alpha\alpha',\alpha\beta'} \neq E) \to (((z_1)_{\alpha'}, (z_2)_{\beta'}) \in [z]_{\alpha\alpha',\alpha\beta'})\ \&$$
$$\&\forall\alpha' \in D(z_1), \beta' \in D(z_2)((\alpha' \neq \lambda \vee \beta' \neq \lambda)\ \&$$
$$\&([z]_{\beta\alpha',\beta\beta'} \neq E) \to (((z_1)_{\alpha'}, (z_2)_{\beta'}) \in [z]_{\beta\alpha',\beta\beta'})\}.$$

Заданные соотношения позволяют определять значения $[z]_{\alpha,\beta}$ сначала для $\alpha, \beta \in O(z)$. В этом случае суммарная глубина разложений конфигураций $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$ равна 0. В дальнейшем значения $[z]_{\alpha,\beta}$ определяются для последовательно возрастающих значений сумм глубин разложений конфигураций $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$.

Пусть $k \in N$ и для каждой пары $\alpha, \beta \in D(z)$, такой что $d_\varepsilon((z)_\alpha) + d_\varepsilon((z)_\beta) \leq k$, значение $[z]_{\alpha,\beta}$ уже определено. Тогда можно определить значения $[z]_{\gamma,\omega}$, где $d_\varepsilon((z)_\alpha) + d_\varepsilon((z)_\beta) = k + 1$ на основе уже определённых значений семантических отношений.

Второй случай данной схемы реализует условие выполнимости семантического отношения $[z]_{\alpha,\beta}$ только для таких пар конфигураций (z_1, z_2) из $r_{\alpha,\beta}(z)$, для подконфигурации которых выполняются отличные от E отношения вида $[z]_{\alpha\alpha',\beta\beta'}$, $[z]_{\beta\beta',\alpha\alpha'}$, $[z]_{\alpha\alpha',\alpha\beta'}$ и $[z]_{\beta\alpha',\beta\beta'}$.

Определяемые соотношениями 1 и 2 множества пар конфигураций являются разрешимыми и задают некоторый бинарный предикат на множестве M. Если же R замкнуто относительно использованных в приведённой схеме преобразований, то отношения $[z]_{\alpha,\beta}$ также принадлежат семантическому пространству.

Схема определения отношения $[z]_{\alpha,\beta}$ не позволяет находить его в случае $\alpha = \beta$. Заметим также, что схема интерпретации отношений между подконфигурациями не является единственно возможной.

Если преобразовать значения $[z]_{\alpha,\beta}$, $\alpha \neq \beta$, $\alpha, \beta \in D(z)$, в семантические отношения $[\tilde{z}]_{\alpha,\beta}$, определяемые с помощью дополнительного правила

$$[\tilde{z}]_{\alpha,\beta} = [z]_{\alpha,\beta} \cap ([\tilde{z}]_{\alpha,\beta})^{-1},$$

то с помощью конфигураций можно задавать семантические представления, для которых является истинным соотношение

$$\forall\alpha, \beta \in D(z)([\tilde{z}]_{\alpha,\beta} = ([\tilde{z}]_{\beta,\alpha})^{-1}).$$

3. КАНОНИЧЕСКАЯ ФОРМА КОНФИГУРАЦИЙ

Определение 4. Конфигурации z_1 и z_2 являются изоморфными, если:

1. $D(z_1) = D(z_2)$;
2. $\forall\alpha, \beta \in D(z_1)([\tilde{z}_1]_{\alpha,\beta} = [\tilde{z}_2]_{\alpha,\beta})$;
3. $\forall\alpha \in O(z_1)([z_1]_\alpha = [z_2]_\alpha)$.

Определение 5. Конфигурация z называется канонической для индексации ζ, если:

$$1.\ \forall\alpha, \beta \in D(z)(\gamma = \alpha \cap \beta\ \&\ \alpha = \gamma\alpha'\ \&\ \beta =$$
$$= \gamma\beta' \to [z]_{\alpha,\beta} = \{[z]_\gamma\}_{\zeta(\alpha',\beta')});$$
$$2.\ \forall\gamma' \subset \gamma\forall\alpha, \beta \in I$$
$$(\gamma = \gamma'\omega \to \{[z]_{\gamma'}\}_{\zeta(\omega\alpha,\omega\beta)} = E).$$

Другими словами, если конфигурация z является канонической, то отношение между конфигурациями $(z)_\alpha$ и $(z)_\beta$, где $\alpha, \beta \in D(z)$, представлено в структуре отношения, сопоставленного вершине $\gamma = \alpha \cap \beta$.

Пусть $p, q \in (N \setminus \{0\})^*$. Тогда запись pq обозначает последовательность элементов $N \setminus \{0\}$, получаемую добавлением к p элементов q.

Теорема. Для каждой конфигурации $z \in M$ существует изоморфная ей каноническая конфигурация.

Доказательство. Пусть $z \in M$. Построим каноническую конфигурацию z^*, изоморфную конфигурации z, определив разметки висячих и внутренних вершин ПСП z^*.

Если $\gamma \in D(z) \setminus O(z)$ – внутренняя вершина ПСП z, то структура отношения $r_\gamma = [z]^*_\gamma$ составляется из отношений между всеми конфигурациями вида $(z)_{\gamma 0\alpha}$ и $(z)_{\gamma 1\beta}$. Для таких конфигураций и конфигурации z, по приведённой выше схеме, вычисляются значения $[z]_{\gamma 0\alpha,\gamma 1\beta}$ и $[z]_{\gamma 1\beta,\gamma 0\alpha}$, которые сопоставляются вершинам $\zeta(\alpha,\beta)$ или $\zeta(\beta,\alpha)$ структурного преставления r_γ. После этого полное представление отношения r_γ доопределяется для уже заданных значений разметок вершин.

Если $\gamma \in O(z)$, то положим $[z]^*_\gamma = [z]_\gamma$.

Если $\gamma \in D(z) \setminus O(z)$, то сопоставим этой вершине отношение $r_\gamma \in R$, определив значения компонент структурного представления r_γ с помощью специальной процедуры, выполняемой в два этапа:

Этап 1. Включим в структуру r_γ отношения между парами подконфигураций $(z)_\gamma$ из $((z)_\gamma)_0$ и $((z)_\gamma)_1$. Для всякого $p \in (N \setminus \{0\})^*$, такого что $p = \zeta(\alpha,\ \beta)$ & $(\gamma\alpha, \gamma\beta \in D(z))$ & (первыесимволы в α и β – разные), положим $\{r_\gamma\}_p = [z]_{\alpha,\beta}$.

Этап 2. Доопределим заданную на первом этапе систему отношений, сопоставляемых вершинам структуры отношения r_γ, которая частично определяет последнее отношение. Для этого с помощью приводимых ниже многократно повторяемых шагов зададим подходящую разметку остальных вершин так, чтобы получилось законченное структурное представление r_γ.

a. Рассмотрим множество вершин структурного представления r_γ, которым уже сопоставлены семантические отношения. Пусть $p = m_1, m_2, \ldots, m_{s-1}, m_s$ – некоторая такая вершина. Образуем все вершины, представляемые последовательностями $q = m_1, m_2, \ldots, m_{s-1}, m_s$, для которых $n < m_s$ и значение $\{r_\gamma\}_q$ ещё не определено. Если q – такая вершина и не существует такого w, что ($q \subset w$ & значение $\{r_\gamma\}_w$ уже определено), то положим $\{r_\gamma\}_q = E$.

b. Рассмотрим все такие вершины $p = m_1, m_2, \ldots, m_{s-1}, m_s$, что значение $\{r_\gamma\}_p$ ещё не определено, но существует такое t, что:

1. для всех потомков p вида $m_1, m_2, \ldots, m_s, k$, ($k = 1, \ldots, t$), значение $\{r_\gamma\}_{pk}$ уже определено;

2. не существует таких последовательностей $w = m_1, m_2, \ldots, m_s$ и $q = m_1, m_2, \ldots, m_s, n, l_1, \ldots, l_v$, что значение $\{r_\gamma\}_q$ уже определено, а $\{r_\gamma\}_w$ – ещё не определено.

Для каждой такой вершины p определим отношение $\{r_\gamma\}_p = c^{-1}(\{r_\gamma\}_{p1}, \ldots, \{r_\gamma\}_{pt})$.

Правило выполнения первого этапа включает в структуру семантического отношения $[z]^*_\gamma = r_\gamma$ значения отношений между подконфигурациями в правом и левом поддеревьях ПСП конфигурации $(z)_\gamma$. Вершины формируемой иерархической структуры отношения $[z]^*_\gamma$, которым сопоставлены значения на этапе 1, составляет часть множества висячих вершин этой структуры.

Значения отношений, сопоставляемых остальным висячим вершинам конструируемого структурного представления отношения r_γ, задаются с помощью шага a этапа 2 и полагаются равными *E*. Такие вершины представляются наборами вида $m_1, m_2, \ldots, m_{s-1}, k$, для которых найдётся такой набор $p = m_1, m_2, \ldots, m_{s-1}, m_s$, где, $k < m_s$, что значение $\{r_\gamma\}_p$ определяется на этапе 1.

С помощью шага *b* этапа 2 реализуется приписывание отношений остальным вершинам структурного представления r_γ. Для этого последовательно перебираются все такие вершины, всем потомкам которых в структуре r_γ уже сопоставлены отношения. Каждой такой вершине p сопоставляется отношение, являющееся значением отображения c^{-1} для набора отношений, сопоставленных потомкам p.

Легко проверяется, что этап 2 дополняет разметку висячих вершин иерархической структуры семантического отношения $[z]^*_\alpha$, полученного на этапе 1, до разметки всех вершин структурного представления этого отношения. При этом возможны два случая, когда в качестве разметки некоторой вершины структурного представления r_γ используется отличное от E отношение. Такая вершина либо является значением $\zeta(\alpha,\beta)$, где $\gamma\alpha, \gamma\beta \in D(z)$, а α и β начинаются с разных символов, либо является предком одной из таких вершин.

Пусть $z \in M$ и $\alpha \in D(z) \setminus O(z)$. Тогда $[z]^*_\alpha$ представляет семантическое отношение, сопоставленное вершине α ПСП конфигурации z*, определенной в доказательстве теоремы. Конфигурация z* каноническая. Она изоморфна z, поскольку:

$$D(z) \ = \ D(z^*),$$
$$\forall \alpha, \beta \in D(z_1)([z]_{\alpha,\beta} = [z^*]_{\alpha,\beta}).$$

Теорема доказана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структурная однородность представлений знаний является одним из факторов, влияющих на возможность их эффективной обработки.

Иерархическая семантическая структура конфигураций позволяет моделировать представления семантических сетей при условии использования специальных операций комбинирования отношений (композиций). Особенность рассмотренного в работе класса композиций отношений состоит в возможности распределённого представления связей между произвольными парами подконфигураций. В таком случае отношение между частями конфигураций конструируется с помощью вычислимой схемы и является разрешимым. Этот факт позволяет устранять распределённое представление отношений между подконфигурациями вычислимым преобразованием конфигураций к каноническому виду. Схемы представления отношений, аналогичные рассмотренной, интересны возможностью моделирования многообразий отношений между фиксированными фрагментами знаний. Непосредственными приложениями таких схем являются системы коллективного взаимодействия в развивающихся пространствах знаний. Они могут найти применение в задачах согласования мнений разных экспертов, представленных в различных узлах семантической структуры, а также учёта влияния локальных изменений самой структуры на отношения между её произвольными целостными фрагментами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. *Костенко К. И.* Компоненты и операции абстрактных пространств знаний // Материалы Всероссийской конференции ЗОНТ09. Новосибирск. Ин-т математики им. С. Л. Соболева, 2009. – Т. 2. – С. 36–40.

2. *Костенко К. И.* Классификация операций в пространствах знаний // XII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (труды конференции), г. Тверь. – М.: Физматлит., 2010. – Т. 2. – С. 155–163.

3. *Гаврилова Т. А.* Управление знаниями: ЧТО ДЕЛАТЬ?// Сб. докладов Седьмой научно-практической конференции «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями» (РБП-СУЗ-2004). М. – С. 61-67.

Костенко Константин Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент, зав. каф. интеллектуальных информационных систем Кубанского государственного университета. Тел. 8(861)2199550. E-Mail: kostenko@kubsu.ru.

Kostenko K. I. – is the Assistant Prof., Head of Department of Intelligence Information Systems at Kuban State University, Candidat of phys.-math. Sciences. E-Mail: kostenko@kubsu.ru.