

УДК 681.322

Н.Ю. Любченко<sup>1</sup>, Ю.В. Паржин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

<sup>2</sup>Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСТЕНСИОНАЛЬНОЙ БАЗЫ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*Рассматриваются вопросы построения экстенциональной базы стратифицированной семантической сети и ее аксиоматики для представления знаний в системах поддержки принятия решений задач оперативного управления в сложных организационных иерархических системах*

*экстенциональная база, стратифицированная семантическая сеть, сложная организационная иерархическая система, представление знаний*

### Введение

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Экстенциональная база стратифицированной семантической сети (ССС) предназначена для отображения информации о конкретных объектах предметной области и конкретных отношениях между ними, фиксируемых в виде факторов. Как показывает анализ формализмов для представления знаний, в качестве формально-логической основы экстенциональной базы СССР наиболее приемлем аппарат классических семантических сетей (СС) [1, 2]. Наряду с определенными достоинствами СС, необходимо отметить, что их использование для представления только экстенциональной информации устраняет проблему включения в СС интенционалов действий, событий, процессов и т.п. Кроме того, использование в СССР понятийной структуры упорядочивает представленные знания в виде СС, позволяет организовывать обработку локальных участков СС и дает возможность введения кванторных утверждений. В настоящее время имеется целый ряд подходов к построению СС [3 – 5]. Абсолютное большинство из них разрабатывалось для построения формально-логических средств представления как интенциональных, так и экстенциональных знаний о предметной области. Можно выделить две причины такого состояния вопроса: во-первых, исторически сложилось, что формализмы представления знаний, в том числе и СС, разрабатывались для решателей задач (робототехнических систем принятия решений), т.е. без учета специфики функционирования диалоговых систем подготовки и принятия решений; во-вторых, отсутствие объективной оценки возможностей аппарата СС и, как следствие,

стремление строить адекватные модели в рамках одного формализма СС.

В СССР непосредственно семантическая сеть используется для создания экстенциональной базы. Поэтому аппарат СС должен обеспечивать возможность использования всей семантики запроса к системе при обработке экстенциональной информации.

В общем случае семантическая сеть представляет множество объектов, связанных отношениями  $\{R_{\mu}\}$ . В одной из первых семантических сетей  $\{N_{\xi}\}$ , предложенной Квилианом [6], различается три основных типа отношений между объектами: 1) родовидовые; 2) определительные (содержание понятия конкретизируется с помощью прилагательного или наречия); 3) предикатные или любые другие синтагматические отношения, выражаемые с помощью глагола или предлога. Более дифференцированная система описания семантико-синтаксической структуры текста была предложена Филмором [7]. Согласно Филмору, каждое предложение содержит в своем составе сведения о его модальности (время, залог или отсутствие отрицания и т.п.) и собственно высказывание. Высказывание состоит из глагола и его дополнений, называемых также актантами или аргументами. Актанты, в соответствии с их функциональной ролью в предложении, могут иметь следующие шесть глубинных (семантических) падежей:

1) агентивный падеж – обозначает одушевленный субъект действия, выраженного глаголом;

2) инструментальный падеж – неодушевленная сила или предает, с помощью которых совершается действие, выраженное глаголом;

3) дательный падеж – выражает функциональную роль одушевленного существа, на которое оказывает влияние действие, выраженное глаголом;

4) фактивный падеж – обозначает одушевленное существо или предмет, которые возникают в результате действия или состояния, выраженного глаголом;

5) локативный падеж – обозначает местоположение или пространственные размеры действия или состояния, выраженного глаголом;

6) объективный падеж – непосредственно определяется семантикой глагола.

Идея семантических падежей получила развитие при построении других систем семантического представления текста, в частности, в семантической сети Симмонса. В СС Симмонса отношения более дифференцированы и выделяются в три группы: 1) отношения, соединяющие глагол с его актантами (они подобны глубинным падежам Филмора); 2) отношения актантов глагола с их атрибутами; 3) парадигматические и другие отношения, не вошедшие в первую и вторую группы.

В настоящее время СС разрабатываются на основе принципа семантических падежей [6].

Однако все системы семантических падежей страдают тем недостатком, что в них функциональная роль падежей недостаточно определена [8]. Поэтому они не могут быть эффективно использованы при автоматической обработке информации, в частности не полностью учитывается структура вопроса, что значительно усложняет переходы по сети (между смысловыми выражениями).

Естественным выходом из такого положения является предлагаемый подход к декомпозиции глубинных семантических падежей путем выделения предлоговых структур на основе контекстуализации предметной области.

**Целью исследований** является построение аппарата стратифицированных семантических сетей для создания логико-лингвистических моделей функционирования сложных организационных иерархических систем (СОИС). Естественно, что вся экстенциональная информация о СОИС, которая должна отображаться в СС, должна рассматриваться только в пространственно-временном контексте без использования парадигматических (устойчивых внеконтекстных) отношений.

### Основной раздел

Для пространственно временного контекста выделим, как и у Сенека [6], два вида семантических структур: действий объектов и их состояний в предметной области.

Для первого вида семантических структур выделим следующие четыре типа отношений (предикатов) на СС: предикаты **пространственного перемещения** объектов  $R_1$ ; предикаты **пространственного положения** объектов  $R_2$ ; предикаты **модификации состояния** объектов  $R_3$ ; предикаты **совершения действия** над другими объектами  $R_4$ .

Предикаты, используемые для построения семантических структур состояний объектов, объеди-

нены в три группы: предикаты **внешнего состояния**  $R_5$ ; предикаты **назначения объектов**  $R_6$ ; предикаты **внутреннего состояния**  $R_7$ .

Поскольку каждая семантическая структура имеет предикатно-актантный вид

$$R_\mu(A_1, A_2, \dots, A_{\ell_a}), \quad (1)$$

где  $R_\mu$  – имя предиката (многоместного отношения);  $A_1, A_2, \dots, A_{\ell_a}$  – актанты (значение предметных переменных, обозначающих объекты, входящие в состав структуры), порядок которых указывает на их роль в структуре, то для каждого из представленных выше семи типов предикатов построим свою предикатно-актантную структуру.

Здесь необходимо отметить, что в предикатные структуры будут введены простые неприводимые предлоги значительно упрощающие схемы вывода в экстенциональной СС. Действительно, предлоги несут большую смысловую нагрузку и часто вообще определяют смысл выражения.

Как уже указывалось, будем использовать простые неприводимые предлоги: в, до, за, у, к, на, над, от, по, под, перед, с, у, через, без, для, о, об и др.

Пусть  $A, R$  – произвольные множества идентификаторов, причем  $A \cap R = \emptyset$ . Элементы  $A_{v_a} \in A$  и  $r_r \in R$  называются, соответственно идентификаторами актантов (объектов) и отношений (предикатов). Множество  $A$  будем рассматривать как алфавит, а  $A^*$  – как множество всех (конечных) слов в  $A$ , в которых каждый из элементов  $A_i$  может встречаться один раз. Если  $A_1, \dots, A_{\ell_a} \in A^*$ , то длина этого слова равна  $\ell_a$ .

Тогда предикатно-актантную структуру для каждого из введенных отношений можно представить как результат инъективного отображения  $f_a$  множества  $A^*$  в  $R$ , т.е.

$$f_a : A^* \rightarrow R. \quad (2)$$

Отображение  $f_a$  является результирующим композицией двух отображений: инъективного отображения

$$g_a : A^* \rightarrow V \quad (3)$$

и биективного отображения

$$h_U : V \rightarrow R. \quad (4)$$

Здесь  $V$  – множество ролевых конструкций для каждого из предикатов множества  $R$ . Под ролевой конструкцией будем понимать кортеж

$$V_\mu \in V = \langle v_{1\mu}, v_{2\mu}, \dots, v_{v_\mu}, \dots, v_{\ell_\mu} \rangle, \quad (5)$$

где  $v_{v_\mu}$  –  $v_\mu$ -ая роль актанта в предикате  $\mu$ . Этот кортеж представляет отношение типа  $\mu$  между актантами  $v_\mu = \overline{1, \ell_\mu}$ .

Таким образом, семантическая структура  $\mu$ -го типа имеет вид:

$$R_\mu(A_{rv_\mu} \in A_{v_\mu} | v_\mu = \overline{1, \ell_\mu}), \quad (6)$$

где  $A_{v_\nu \mu}$  – множество актантов предиката  $\mu$ , индексированное символами  $v_\nu = \overline{1, \ell_\nu}$ .

Каждый из актантов – это кортеж:

$$A_\tau \langle M_\tau, P_\tau, B_\tau \rangle, \quad (7)$$

в котором  $M_\tau$  – беспадежный модификатор уточнения объекта;  $P_\tau$  – предлог, используемый при идентификации объекта  $B_\tau$ .

Для пространственно-временного контекста выделим следующие типы актантов:

$A_1 \langle M_1, P_1, B_1 \rangle$  – исполнителя  $B_1$  действия (кто?, что?),  $P_1 = \langle - \rangle$ ;

$A_2 \langle M_2, P_2, B_2 \rangle$  – объекта  $B_2$ , от которого направлено действие (откуда?);  $P_2 = \langle \text{от} | \text{со} | \text{из} | \text{с} \rangle$ ;

$A_3 \langle M_3, P_3, B_3 \rangle$  – объекта  $B_3$ , к которому направлено действие (куда?);  $P_3 = \langle - | \text{к} | \text{на} | \text{в} | \text{во} \rangle$ ;

$A_4 \langle M_4, P_4, B_4 \rangle$  – участника (объекта)  $B_4$ , действия (кого?, что?, кого?, чего?, кем?, чем?);  $P_4 = \langle - | \text{с} \rangle$ ;

$A_5 \langle M_5, P_5, B_5 \rangle$  – инструмент действия  $B_5$  (с помощью чего?, чем является?),  $P_5 = \langle - \rangle$ ;

$A_6 \langle M_6, P_6, B_6 \rangle$  – объекта  $B_6$ , места действия (где?) и способа действия (как?);  $P_6 = \langle \text{в} | \text{на} | \text{по} | \text{под} | \text{над} | \text{за} | \text{у} | \text{до} | \text{через} \rangle$ ;

$A_7 \langle M_7, P_7, B_7 \rangle$  – объекта  $B_7$  уточнения места действия (где именно?);  $P_7 = \langle \text{в} | \text{на} | \text{по} | \text{под} | \text{за} \rangle$ ;

$A_8 \langle M_8, P_8, B_8 \rangle$  – объекта  $B_8$  времени действия (когда?);  $P_8 = \langle - | \text{в} | \text{за} | \text{через} \rangle$ ;

$A_9 \langle M_9, P_9, B_9 \rangle$  – объекта  $B_9$  уточнения времени действия  $B_9$  (когда именно?);  $P_9 = \langle - | \text{в} | \text{за} | \text{через} \rangle$ ;

$A_{10} \langle M_{10}, P_{10}, B_{10} \rangle$  – беспадежный модификатор  $B_{10}$ , уточняющий образ (способ) действия (как?, каким образом?);  $M_{10}, P_{10} = \langle - \rangle$ ;

$A_{11} \langle M_{11}, P_{11}, B_{11} \rangle$  – индикатор (указатель)  $B_{11}$  на причину действия (почему?);  $M_{11}, P_{11} = \langle - \rangle$ .

Таким образом, для шести используемых в дальнейшем семантических структур определим следующие предикатно-актантные выражения:

$$\begin{aligned} R_1 &\langle A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} \rangle; \\ R_2 &\langle A_1, A_4, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} \rangle; \\ R_3 &\langle A_1, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} \rangle; \\ R_4 &\langle A_1, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} \rangle; \\ R_5 &\langle A_1, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} \rangle; \\ R_6 &\langle A_1, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} \rangle. \end{aligned} \quad (10)$$

Основным способом определения понятий является указание связей между ними, или зависимостей. При этом два типа зависимостей: структурные и логические. Структурные зависимости, используемые как структурные ограничения, в рамках которых локально используются формальные методы логического представления. Если структурные зависимости ограничивают возможные универсумы понятий, то логические зависимости используются для ограничения их возможных экстенционалов и связей универсумов различных понятий между собой.

**Определение 1.** Универсумом стратифицированной семантической сети называется система

$$U_{CAC} = \{U^x, u^x | x \in \text{Cn}(\text{CCC})\}, \quad (11)$$

где  $U^x$  – непустое множество;  $\text{Cn}(\text{CCC})$  – множество всех понятий CCC;  $u^x$  – сюръекция

$$U^x \rightarrow \left[ r_\nu \left( U^{Y_1}, \dots, U^{Y_{\ell_\nu}} \right) \right], \quad (12)$$

если  $X |_{r_\nu : Y_1, \dots, r_\nu : Y_{\ell_\nu}}$  принадлежит CCC, и тождественное отображение, если  $x$  – бесструктурное понятие, где  $r_\nu$  – SQN-отношение.

Для определения логических взаимосвязей между понятиями CCC необходимо использовать формальные объекты – логические аксиомы.

**Определение 2.** Пусть  $\omega \in W$  – произвольное имя аксиомы. Логической аксиомой называется система  $L_\omega \{L_\omega^U | U$  – произвольный  $\sigma$  – универсум, где  $L_\omega^U$  – предикат, заданный на всех мультиотношениях в  $\sigma$  – универсуме  $U$ . при этом предполагается выполненным следующее условие [9].

Инвариантность. Если  $f_\nu$  – изоморфизм универсумов  $U$  и  $U^*$ , то для любого мультиотношения  $(x_1, \dots, x_{\ell_\nu}) \in \nu$

$$L_\omega^U(x_1, \dots, x_{\ell_\nu}) \Leftrightarrow L_\omega^{U^*}(f_\nu(x_1), \dots, f_\nu(x_{\ell_\nu})), \quad (13)$$

$\sigma$ -универсумом называется система множеств

$$U = \left( U^1, \dots, U^{\ell_\nu}; U^{I_1}, \dots, U^{I_{\ell_\nu}} \right), \quad (14)$$

где  $U^\xi$ ,  $\xi = \overline{1, \ell_\nu}$  – произвольно заданные непустые множества, а

$$U^{I_\xi} = \prod_{\xi=I_\xi} U^\xi, \quad (15)$$

$\Pi$  – декартово произведение множеств, взятое, для определенности в порядке возрастания индексов  $\xi$ .

**Мультиотношением** в  $\sigma$  – универсуме  $U$  называется система  $(x_1, \dots, x_{\ell_\nu})$ , где  $X_\xi \subseteq U^{I_\xi}$ . Каждому понятию  $x$  структуры CCC можно поставить во взаимно однозначное соответствие его универсум  $U^x$ . Поэтому, если вводится отношение  $R$  между понятиями, то данное отношение означает, что оно устанавливается между элементами универсумов данных понятий. Пусть

$$\begin{aligned} & (x_1^v, x_2^v, \dots, x_{\ell_x}^v) \in U^{x^v}; \quad (x_1^{v'}, x_2^{v'}, \dots, x_{\ell_x}^{v'}) \in U^{x^{v'}}; \\ & R(x^v, x^{v'}) \rightarrow R\left(\left(x_1^v, x_2^v, \dots, x_{\ell_x}^v\right), \left(x_1^{v'}, x_2^{v'}, \dots, x_{\ell_x}^{v'}\right)\right), \quad (16) \\ & \quad v \neq v'. \end{aligned}$$

Аксиоматика CCC, в отличие от классического исчисления предикатов первого порядка, является содержательной, где семантика исходных терминов и аксиом, их описывающих, предполагается заданной с самого начала. Множество аксиом CCC объединим в подмножества двух типов: условные (причинно-следственные) и безусловные (утверждения). Условные аксиомы – это общезначимые на универсумах входящих в аксиому понятий выражения, содержащие только квантифицированные переменные, вида

$$\begin{aligned} & KG_1KG_2\dots KG_{\ell_U} \\ & \left[ R_1(G_v, G_v') \wedge \dots \wedge R_\mu(G_v'', G_v^*) \rightarrow \right. \\ & \quad \left. \rightarrow R_{\mu+1}(G_1, \dots, G_n) \right], \quad (17) \\ & \quad v, v', v'', v^* = \overline{1, \ell_U} \end{aligned}$$

где  $K = \{\exists, \forall\}$  – квантор;  $R_1, \dots, R_{\mu+1}$  – предикатные отношения (могут быть одноместными);  $G_1, \dots, G_{\ell_U}$  – понятия или элементы универсумов

понятий CCC,  $G_v = \{x_{\xi v} \in U^{x^v}; x^{v'}\}$ .

В качестве безусловных аксиом могут быть использованы следующие выражения:

$$Kx_1Kx_2R(x_1, x_2), \quad (18)$$

где  $x_1, x_2$  – понятия, не связанные SQN- и SI-отношениями

$$Kx_1R(x_1, x_{\xi 2}), \quad x_{\xi 2} \in U^{x^2}, \quad (19)$$

где  $x_{\xi}$  – пример понятий  $x_2$ , которое может быть либо связанным, либо не связанным отношениями SQN и SI с понятием  $x_1$ ;

$$Kx_1Kx_2R(x_1, x_2), \quad (20)$$

где  $x_1, x_2$  – понятия, связанные SQN- и SI-отношениями, т.е. понятия CCC.

**Определение 3.** Пусть  $U^{x^1}, \dots, U^{x^{\ell_U}}$  – универсумы соответствующих понятий  $x_1, \dots, x_{\ell_U}$ , элементы которых используются в качестве квантифицированных переменных в условных аксиомах. Универсум  $U^S$  сукцедента условной аксиомы является предельный универсум, получающийся в результате композиции морфизмов

$$U^S = U_0^A \xrightarrow{u_0^0 = u_1^0} U_1^A \xrightarrow{u_2^0} \dots \xrightarrow{u_{\ell_U}^0} U_{\ell_U}^A, \quad (21)$$

где  $U_0^A = \bigcup_{\xi=1}^{\ell_U} U^{x^\xi}$  – универсум анцедента условной аксиомы,  $u^0 = u_{\beta_u}^0$ ;  $\beta_u = \overline{1, \ell_U}$  – морфизм, отображаю-

щий  $U_{\beta_U-1}^A$  в  $U_{\beta_U}^A$ , причем  $U_{\beta_U}^A = U_{\beta_U-1}^A \setminus U_{\beta_U}^N$ , где  $U_{\beta_U}^N$  – множество элементов универсума  $U_{\beta_U-1}^A$ , на которых не выполняется отношение R.

**Утверждение 1.** Универсум сукцедента условной аксиомы конечен. Доказательство следует из конечности универсума анцедента и устанавливаемых отношений на его элементах.

Из определения понятия аксиом CCC и приведенного утверждения следует, что множество предикатных отношений, используемых в аксиомах  $R^C$ , есть результат инъективного отображения

$$C: \{R_\mu\} \rightarrow R^C, \quad (22)$$

где  $\{R_\mu\}$  – множество классов предикатных отношений на семантической сети.

### Выводы

Таким образом, создание экстенциональной базы CCC на основе использования предложенной предикатно-актантной структуры с применением декомпозиции глубинных семантических падежей и введение аксиом CCC позволило исключить интенциональные знания из CC, что обеспечивает существенные преимущества в осуществлении логико-лингвистического вывода, а также возможности поддержания базы знаний в актуальном и непротиворечивом состоянии по сравнению с существующими системами поддержки принятия решений.

### Список литературы

1. Кузнецов И.П. Семантические представления. – М.: Наука, 1986. – 294 с.
2. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. – М., С.-Пб., К., 2003. – 863 с.
3. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 с.
4. Хельбиг Г. Семантическое управление дедуктивными процессами в системе вопрос-ответ // Кибернетика. – 1980. – № 3. – С.54-62.
5. Вагин В.Н., Кикнадзе В.Г. Дедуктивный вывод на семантических сетях в системах принятия решений // Техническая кибернетика. – 1984. – № 5. – С. 106-120.
6. Белоногов Г.Г., Кузнецов Б.А. Языковые средства автоматизированных информационных систем. – М.: Наука, 1983. – 288 с.
7. Harrys L.R. Using the data base as a semantic component to aid in the parsing of natural language data base queries // Cybernetics. – 1997. – Vol. 10, no. 3. – P. 77 - 96.
8. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
9. Плесневич Г.С. Концептуальные языки и модели данных // Техническая кибернетика. – 1984. – № 5. – С.23-39.

Поступила в редколлегию 26.02.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский Национальный технический университет сельского хозяйства, Харьков.