

УДК 681.23

Ю.В. Паржин, Н.Ю. Любченко

¹Национальный технический университет "ХПИ", Харьков²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СЕМАНТИКИ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Рассматриваются вопросы разработки операционной семантики стратифицированной семантической сети для осуществления логического вывода и сохранения непротиворечивости экстенциональной базы данных в системах поддержки принятия управленческих решений.

операционная семантика, стратифицированная семантическая сеть

Постановка проблемы и анализ литературы. Стратифицированная семантическая сеть (ССС) является формально-логическим средством для построения модели проблемной области в некоторой системе представления знаний. Одной из важнейших особенностей СССР является возможность осуществления дедуктивного вывода. Эта возможность существенно расширяет класс запросов в диалоговых системах подготовки решений и является необходимой составной частью любого формализма для представления знаний [1, 2].

Задача данной работы является описание операционной семантики СССР, позволяющей непосредственно проводить дедукцию. Механизм логического вывода в СССР отличается от традиционных, например, от принципа резолюций. Проявляется это в том, что в процессе вывода не изменяются исходные формулы и не генерируются новые, а осуществляется обработка универсумов понятий СССР [3], основывающаяся на процедурах поиска и семантического вложения графов - следовательно, не нарушается структура исходно представленных знаний.

Целью исследований является рассмотрение процедуры логического вывода на понятийной структуре СССР и экстенциональной структуре К. Вывод на семантических сетях (СС) также включает в себя процедуры обработки фактографической базы данных СССР. Кроме того, в процессе логического вывода

в СССР будут использоваться средства поддержания непротиворечивости экстенциональной базы данных и управления логическим выводом. Эти средства являются необходимыми для устранения проблемы монотонности процесса дедукции [4, 5].

Логический вывод в СССР осуществляется на основе применения схем вывода – таких правил вывода, которые выполняют роль отношения "посылка – заключение". Здесь будут рассмотрены схемы вывода на SQN-, SI-структурах и D-таблицах посредством аксиоматического представления закономерностей перехода по универсумам соответствующих понятий в процессе вывода [3].

Утверждение 1. Пусть $\{X_j^i\}$, $\{X_{j+k}^{i+k}\}$ – соответственно множества понятий i-й и (i + k)-й страт понятийной структуры S, связаны отношениями SQN и $(X_{j_1}^i, \dots, X_{j_\ell}^i) \in U_j^i$, $(X_{j_1+k}^{i+k}, \dots, X_{j_\ell+k}^{i+k}) \in U_{j+k}^{i+k}$. Тогда для SQN – структуры справедливы следующие два типа схем вывода:

$$R(X_j^i, X_j^{\gamma}) \rightarrow R(X_{j+k}^{i+k}, X_j^{\gamma}) \wedge \wedge \forall x_{j\xi}^i \in U_j^i R(x_{j\xi}^i, x_j^{\gamma}), \quad (1)$$

где X_j^{γ} – понятие структуры S не связанное с $\{X_j^i\}$, и $\{X_{j+k}^{i+k}\}$ SQN- или SI- отношениями:

$$R(x_j^i, x_j^{\gamma}) \rightarrow \forall x_{j_1+k}^{i+k} \in U_{j_1+k}^{i+k} \forall x_{j_\ell}^{\gamma} \in U_j^{\gamma} R(x_{j_1+k}^{i+k}, x_{j_\ell}^{\gamma}) \wedge \forall x_{j\xi}^i \in U_j^i \forall x_{j_\ell}^{\gamma} \in U_j^{\gamma} R(x_{j\xi}^i, x_{j_\ell}^{\gamma}), \quad (2)$$

где x_j^{γ} связано с x_j^i отношением SQN.

Следующее утверждение и его следствие вводят схемы вывода на структуре SI.

Утверждение 2. Пусть $X_{j\nu}^{\alpha}$, $X_{jh}^{\alpha'}$, $\alpha' > \alpha$ – элементы соответственно универсумов $U_{j\nu}^{\alpha}$ и $U_{jh}^{\alpha'}$.

j-го понятия X_j^i i-й страты структуры S САС,

$R(X_{j\nu}^{\alpha}, X_{jh}^{\alpha'})$, где R – отношение SI,

$$\bigcup_{\alpha=1}^{\ell_\alpha} U_{j\nu}^{\alpha} \supseteq \bigcup_{\alpha=1}^{\ell_\alpha} U_{jh}^{\alpha};$$

$$\begin{aligned}
 X_{jv_\alpha}^{i\alpha} &\in \bigcup_{\alpha=1}^{\ell_\alpha} U_{j\alpha}^i \forall \alpha \left(\bar{R}^\alpha \left| X_{jv_\alpha}^{i\alpha} \right| = X_{jv}^i \right); \\
 X_{jh_\alpha}^{i\alpha} &\in \bigcup_{\alpha=1}^{\ell_\alpha} U_{j\alpha}^i \forall \alpha \left(\bar{R}^\alpha \left| X_{jh_\alpha}^{i\alpha} \right| = X_{jh}^i \right),
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

а $X_{jt_\alpha}^{i\alpha}$ – понятие, связанное с $X_{jv_\alpha}^{i\alpha}$ отношением Q,

причем SQN, SI \notin Q, и

$$X_{jt_\alpha}^{i\alpha} \in \bigcup_{\alpha=1}^{\ell_\alpha} U_{j\alpha}^i \forall t_\alpha \left(\bar{R}^\alpha \left| X_{jt_\alpha}^{i\alpha} \right| = X_{jt}^i \right). \text{ Тогда вы-}$$

полняются следующие отношения:

Следствие 1

$$\exists! X_{jv_\alpha}^{i\alpha} \exists X_{jt_\alpha}^{i\alpha} \exists X_{jh_\alpha}^{i\alpha} \left[Q \left(X_{jv_\alpha}^{i\alpha}, X_{jt_\alpha}^{i\alpha} \right) \wedge Q \left(X_{jh_\alpha}^{i\alpha}, X_{jt_\alpha}^{i\alpha} \right) \right] \rightarrow \exists X_{jh}^i.
 \tag{5}$$

где $\exists!$ – квантор единственности существования;

Q_1 – имя предиката, выражающего отношение типа: $X_{jh_\alpha}^{i\alpha} = X_{jh}^i$.

Данное следствие определяет возможность формирования универсума понятия X_{jh}^i посредством его выделения из универсума понятия X_{jv}^i в случаях, когда у понятия X_{jh}^i отсутствует пример $X_{jh_\alpha}^{i\alpha}$ и существует отношение Q между элементами универсумов понятий $X_{jv_\alpha}^{i\alpha}$ и $X_{jh_\alpha}^{i\alpha}$.

Поскольку CCC представляет собой формально-логические средства построения моделей функционирования определенного класса систем – сложных организационных иерархических систем (СОИС) при решении ими задач оперативного управления, когда достаточно четко определены направления декомпозиции корневых понятий, введение избыточности $U_{jv}^i \cap U_{jh}^i \neq 0$ при $R(X_{jv}^i, X_{jh}^i)$

не всегда оправдано, что ограничивает область применения схем вывода на SI-структурах.

В следующую группу выделим схемы вывода на элементах D-таблиц, в которых отображается экстенциональная информация об элементах универсумов наибольших порядков понятий CCC [3]. Для отдельного элемента каждая строка его D-таблицы определяется именем предикатного отношения R_5^* , в которое входит данный элемент с ролью 1, именем дополнительного понятия P_ξ , конкретизирующим вид информации об элементе, примером $P_{\psi\xi}$ понятия P_ξ и непосредственно информацией об элементе (d-записью). Для элемента $X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha}$ строка его D-таблицы будет иметь вид:

$$X_j^i \xrightarrow{SI} X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha} \rightarrow R_5^* : P_\xi : P_{\psi\xi} : \langle d_{P_\psi} \rangle.
 \tag{6}$$

Определим два вида схем вывода на D-таблицах

$$\forall X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha} \in U_{j\ell_\alpha}^i \forall X_{jh_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha} \in U_{j\ell_\alpha}^i \left[Q_1 \left(\langle d_{P_\psi} \rangle, \langle d_{P_\psi} \rangle \right) \wedge R_5^* \left(X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha}, P_\xi, P_{\psi\xi} \right) \rightarrow R_5^* \left(X_{jh_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha}, P_\xi, P_{\psi\xi} \right) \right] \quad h \neq v;
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \forall X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha} \in U_{j\ell_\alpha}^i \forall X_{j_{i+k}^{i+k\ell_\alpha}}^{i+k\ell_\alpha} \left\{ R_5^* \left(X_{j_{i+k}^{i+k\ell_\alpha}}^{i+k\ell_\alpha}, P_\xi, P_{\psi\xi} \right) \wedge R_5^* \left(X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha}, P_\xi, P_{\psi\xi} \right) \wedge \right. \\
 \left. \wedge Q_1 \left(\langle d_{P_\psi} \rangle, \langle d_{P_\psi} \rangle \right) \rightarrow Q_1 \left[R_5^* \left(X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha}, P_\xi, P_{\psi\xi} \right) \wedge R_5^* \left(X_{j_{i+k}^{i+k\ell_\alpha}}^{i+k\ell_\alpha}, P_\xi, P_{\psi\xi} \right) \right] \right\},
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где Q_1 – имя предиката, выражающего отношение равенства;

$\langle d_{P_\psi} \rangle, \langle d_{P_\psi} \rangle$ – d-записи в строках D-таблиц понятий $X_{jv_{\ell_\alpha}}^{i\ell_\alpha}$ и $X_{j_{i+k}^{i+k\ell_\alpha}}^{i+k\ell_\alpha}$.

SQN- и SI-структуры позволяют использовать

элементы индуктивного вывода в CCC, имеющие большое значение в процессе подготовки ответов системой на запросы пользователя. В процессе вывода в CCC могут использоваться следующие схемы индуктивного вывода.

$$1) \forall X_{j_{i+k}^{i+k}}^{i+k} \in U_{j_{i+k}}^{i+k} R \left(X_{j_{i+k}^{i+k}}^{i+k}, X_j^i \right) \rightarrow R \left(X_j^i, X_j^i \right),
 \tag{9}$$

где понятия x_j^i и $x_{j_1+k}^{i+k}$ связаны с SQN-отношениями;

$$2) \forall x_{jv_\alpha}^{i\alpha} R(x_{jv_\alpha}^{i\alpha}, x_j^\gamma) \rightarrow R(x_{jv}^i, x_j^\gamma), \quad (10)$$

где понятия $\{x_{jv_\alpha}^{i\alpha}\}$ связаны с x_{jv}^i SI-отношениями.

$$\forall x_{j_1}^i \forall x_{j_{i+1}}^{i+1} \forall x_{j_{i+2}}^{i+2} [R(x_{j_1}^i, x_{j_{i+1}}^{i+1}) \wedge R(x_{j_{i+1}}^{i+1}, x_{j_{i+2}}^{i+2}) \rightarrow R(x_{j_1}^i, x_{j_{i+2}}^{i+2})]. \quad (11)$$

Семантические сети в структуре ССС выполняют функцию экстенциональной базы данных. СС представляет собой сеть из семантических структур шести типов для пространственно-временного кон-

1. Схемы фактографического объединения.

$$\exists x_2 \exists x_3 R_1(A_1^1, x_2, x_3, A_6^{11}) \wedge R_1(A_1^2, A_2^2, A_3^2) \wedge Q_1(A_6^{11}, A_1^2) \rightarrow R_1(A_1^1, A_2^2, A_3^2, A_6^{11}), \quad (12)$$

где x_2, x_3 – неопределенные значения актантов для первого примера первой семантической структуры;

A_1, A_2, \dots – конкретные значения актантов, причем верхний индекс обозначает номер примера структуры, к которому они относятся;

Q_1 – предикат, выражающий бинарное отношение равенства $A = A_6^{11} = A_1^2$;

второй верхний индекс в актанте A_6^{11} означает, что в нем используются предлоги: в, на, по.

В таблице 1 показано, какие предлоги используются в актантах в зависимости от номера второго верхнего индекса. Отсутствие второго верхнего индекса будет указывать, что могут использоваться все предлоги, определенные для данного актанта.

Таким образом, определим следующие схемы фактографического объединения:

$$R_1(A_1^1, A_4^{12}) \wedge R_1(A_1^2, A_2^2, A_3^2, A_6^2) \wedge Q_1(A_4^{12}, A_1^2) \rightarrow R_1(A_1^1, A_2^2, A_3^2, A_4^{12}, A_6^2); \quad (13)$$

$$R_2(A_1^1, A_4^{12}) \wedge R_2(A_1^2, A_6^2) \wedge Q_1(A_1^1, A_1^2) \rightarrow R_2(A_1^1, A_4^{12}, A_6^2). \quad (14)$$

2. Схемы фактографического дополнения.

$$\exists x_2 \exists x_3 R_1(A_1^1, x_2, x_3, A_6^{11}) \wedge R_1(A_1^2, A_2^2, A_3^2, A_6^2) \wedge Q_1(A_6^{11}, A_1^2) \rightarrow R_1(A_1^1, A_2^2, A_3^2, A_6^2, A_6^{11}), \quad (15)$$

где в актанте A_7^{11} используются предлоги: в, на, по.

$$R_2(A_1^1, A_6^{11}) \wedge R_1(A_1^2, A_2^2, A_3^2) \wedge Q_1(A_6^{11}, A_1^2) \rightarrow R_1(A_1^1, A_2^2, A_3^2, A_6^{11}). \quad (16)$$

Здесь в актанте A_6^{11} используются предлоги: в, на.

3. Схемы фактографического уточнения.

Схемы индуктивного вывода основаны на свойствах, которые присущи SI- и SQN-структурами. Поэтому они обладают свойством транзитивности, как и указанные структуры, т.е.

Для каждой структуры определены свои схемы вывода на СС, поскольку логический вывод определяется значениями атрибутов актантов входящих в соответствующую семантическую структуру.

$$R_2(A_1^1, A_6^{11}) \wedge R_2(A_1^2, A_6^{11}) \wedge Q_1(A_6^{11}, A_1^2) \rightarrow R_2(A_1^1, A_6^{11}, A_7^{11}). \quad (17)$$

В актанте A_6^{11} используются предлоги: в, на; в A_7^{11} – в, на, по.

Примечание. В данной схеме предлог "на" не может встречаться одновременно в обеих семантических структурах

$$R_2(A_1^1, A_6^{11}) \wedge R_2(A_1^2, A_6^2) \wedge Q_1(A_6^{11}, A_1^2) \rightarrow R_2(A_1^1, A_6^2, A_7^{11}). \quad (18)$$

В актанте A_6^{11} используются предлоги: в, по; в A_6^{12} – все, кроме "по"; в актанте A_7^{11} – в, по

$$R_2(A_1^1, A_6^{11}) \wedge R_1(A_1^2, A_6^2) \wedge Q_1(A_1^1, A_1^2) \rightarrow R_1(A_1^1, A_6^2, A_7^{11}). \quad (19)$$

В актанте A_6^{11} используются предлоги: в, на; в A_7^{11} – в, на.

Используя приведенные выше схемы вывода на СС, можно осуществлять вывод на семантических структурах, в которых в качестве объекта действия используется одно и то же понятие. Так, для схемы вывода (19) (табл. 1.):

$$R_1(A_1^1, A_6^1) \wedge R_2(A_1^2, A_6^{21}) \wedge Q_1(A_1^1, A_1^2) \rightarrow R_1((A_6^{21})_1, A_6^1), \quad (20)$$

где (A_6^{21}) – означает, что актант A_6^{21} выполняет роль первого актанта в структуре.

Таблица 1

Предлоги вывода на семантических структурах	
Обозначение актанта	Используемые предлоги
A_3^{*1}	в, на, по
A_3^{*2}	в, на, по

A_4^{*1}	–
A_4^{*2}	с
A_6^{*1}	в, на, по
A_6^{*2}	под, над, за, перед
A_6^{*3}	у, до
A_6^{*4}	за, через
A_8^{*1}	–
A_8^{*2}	за, через

При разработке схем вывода предполагалось, что в процессе работы модель проблемной

$$Kx_{\mu_1} \dots Kx_{\mu_\mu} \dots Kx_{\rho_1} \dots Kx_{\rho_\rho} [R_\mu(x_{\mu_1}, \dots, x_{\mu_\mu}) \rightarrow R_\rho(x_{\rho_1}, \dots, x_{\rho_\rho})] \quad \mu \neq \rho, \quad (21)$$

где $K = \{\forall, \exists\}$; $x_{\mu_1}, \dots, x_{\mu_\mu}, x_{\rho_1}, \dots, x_{\rho_\rho}$ – экстенционалы соответствующих актантов, входящих в семантические структуры с именами предикатов R_μ и R_ρ .

На всем множестве В-аксиом выделим два подмножества аксиом, указывающих свойства соот-

$$Kx_1 Kx_2 \dots Kx_{\ell_a} [R_1(x_1, x_2, \dots, x_{\ell_a}) \rightarrow R_2(x_1, x_2, \dots, x_{\ell_a})], \quad (22)$$

где R_1 и R_2 – идентификаторы синонимических действий (глаголов).

В-аксиомы, указывающие свойство симметрии структур

$$Kx_1 Kx_2 Kx_3 \dots Kx_{\ell_a} [R_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{\ell_a}) \rightarrow R_2(x_3, x_2, x_1, \dots, x_{\ell_a})], \quad (23)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{\ell_a}$ – экстенционалы соответствующих актантов $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{\ell_a}$;

R_1 и R_2 – идентификаторы антонимических действий (глаголов), совершающихся одновременно.

В-аксиомы позволяют осуществлять обращение к семантическим структурам СС по идентификатору предиката не определенного явно в СС, а выраженного через идентификаторы действия – синонима или действия – антонима.

Выводы

Таким образом, предложенная технология построения операционной семантики дает возможность аксиоматизировать знания о порядке обработки модели проблемной области в соответствии с состоянием данной модели и вопросам, полученным от пользователя. Данная операционная семантика на основе разработанных схем вывода позволяет осуществлять эффективный логический вывод и сохранять непротиворечивость экстенциональной базы ССС в системах поддержки принятия управленческих решений.

области поддерживается в актуальном состоянии.

Поэтому в них не учитывалось состояние семантических структур в предшествующие моменты времени, степень совершенности действий и возможность их совершения в будущем.

Кроме рассмотренных схем, в процессе логического вывода на СС будут использоваться В-аксиомы, представляющие собой предикатно-логические выражения, которые не содержат по меньшей мере одну логическую константу. Под логическими константами понимают объекты СС. В-аксиомы используются для выражения связей между семантическими структурами с различными именами предикатных выражений. В-аксиомы имеют в общем виде следующую форму:

ответственно отношений эквивалентности и симметрии семантических структур с различными именами предикатов.

В-аксиомы, указывающие свойство эквивалентности структур

Список литературы

1. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. – М., СПб., К., 2003. – 863 с.
2. Орлов М.Ю. Логический вывод в ассоциативных схемах // Техническая кибернетика. – 1984. – № 5. – С. 111-131.
3. Паржин Ю.В., Любченко Н.Ю. Технология построения экстенциональной базы стратифицированной семантической сети для систем поддержки принятия решений.
4. Дойл Дж. Система поддержания истинности // В кн.: Кибернетический сборник. Новая серия. Вып. 20. Сб. статей. – М.: Мир, 1983. – С. 159-215.
5. Helbig F. u a. FAS – 80 ein naturlichsprachiges Auskunfts system. VEB. Roboten 2FT, WIB nr. 18, 1983, 97 – 107 p.

Поступила в редколлегию 5.03.2007

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