

## **ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ ВНУТРЕННЕГО ЯЗЫКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Б.Н. Судаков, А.В. Першин  
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

*Обоснована необходимость разработки внутреннего языка для системы поддержки принятия решений. Показано, что модель внутреннего языка системы необходимо строить на базе теории категорий и многозначного исчисления присутствия, предоставляющих широкие возможности для описания связей по присутствию между объектами, их свойствами и атрибутами в предметной области и учитывающих неопределенность и противоречивость знаний.*

***внутренний язык, морфизм, категория, многозначное исчисление присутствия***

**Постановка проблемы.** В течении последнего десятилетия в рамках искусственного интеллекта сформировалось самостоятельное направление – "инженерия знаний", в задачу которого входит разработка, исследование и использование систем поддержки принятия решений (СППР). Под системой поддержки принятия решений понимают программную среду, аккумулирующую знания эксперта в определенной области и вырабатывающую решения и рекомендации на уровне эксперта. СППР ориентированы на классы задач, которые плохо поддаются решению с помощью традиционных математических методов [1].

Успешное использование СППР основываются, по крайней мере, на трех принципах, которые учитывают уроки предшествующих исследований в области искусственного интеллекта [2]:

1. Мощностъ СППР обусловлена мощностъю базы знаний и возможностью ее пополнения.
2. Знания, позволяющие эксперту (СППР) получать качественные и эффективные решения задач, являются в основном эвристическими.
3. Учитывая неформализованность решаемых задач и эвристический, личностный характер используемых знаний, пользователь должен иметь возможность непосредственного взаимодействия с СППР.

В связи с тем, что основным источником "мощности" СППР являются знания, СППР должна обладать способностью приобретать знания. Процесс приобретения знаний можно разделить на: 1) получение знаний от эксперта; 2) организацию знаний, обеспечивающую эффективную

работу системы; 3) представление знаний в понятном системе виде. Процесс приобретения знаний осуществляется на основе анализа деятельности эксперта, решающего реальные задачи, так называемым "инженером по знаниям". Эвристический характер знаний делает их приобретение весьма трудоемким процессом. Трудоемкость и неформализованность этого процесса приводят к тому, что он является наиболее узким местом при создании экспертных систем.

Третий принцип предъявляет к системе следующие требования:

- способность вести диалог о решаемой задаче на языке удобном пользователю и в процессе диалога приобретать новые знания;
- способность при решении задачи следовать линии рассуждения, понятной пользователю;
- способность объяснять ход своего рассуждения на языке, удобном для пользователя.

В соответствии с вышесказанным СППР необходимо иметь в своем составе, с точки зрения лингвистического обеспечения (ЛО), следующие средства:

- формальный язык (ФЯ) или внутренний язык (ВЯ) СППР, его еще называют языком представления знаний;
- языковые средства обеспечения пользователей (естественные языки, системы меню, анкеты, графические редакторы и т.д.), упрощающие процесс взаимодействия различных групп пользователей.
- средства трансляции с одного языка на другой.

**Анализ моделей представления знаний.** При разработке языковых средств для прикладных систем искусственного интеллекта в настоящее время используются два метода. Первый метод, так называемой, прямой разработки с использованием универсальных языков программирования. В такие системы можно встраивать специфические функции конкретной предметной области, использовать различные нетрадиционные модели представления знаний.

Второй метод основан на использовании готового формального языка. Данный метод отличается простотой реализации системы и основан на существующих моделях представления знаний. Среди этих моделей можно выделить следующие:

- продукционная модель;
- модель, построенная с использованием логических исчислений;
- модель, основанная на использовании фреймов;
- модель использующая семантические сети.

В продукционной модели знания представлены совокупностью правил "ЕСЛИ-ТО". К преимуществам продукционных систем можно отнести простоту создания и понимания отдельных правил, простоту механизма

логического вывода, простоту пополнения и модификации знаний. Слабые стороны таких систем проявляются в низкой эффективности обработки, отсутствии гибкости в логическом выводе, отличии от человеческой структуры знаний. Кроме того, сложность оценки целостного образа знаний и неясность взаимных отношений между правилами делают продукционные системы непригодными для решения крупномасштабных задач.

Отличительными чертами логических моделей представления знаний является, четкость теоретического обоснования и возможность реализации формально точных определений и выводов. По этим причинам многие исследователи занимались построением систем на базе таких моделей. Наибольшее распространение получили исчисления на основе логики предикатов первого порядка и метода выведения заключений с помощью силлогизма. Кроме того, популярность разработки систем этого типа была связана с появлением языка ПРОЛОГ. С математической точки зрения ПРОЛОГ – язык хорновских дизъюнктов. Он позволяет описывать задачу в виде слабо структурированной совокупности отношений. Это удобно, когда число отношений невелико и каждое из них описывается небольшим числом альтернатив. В противном случае ПРОЛОГ – программа становится весьма сложной для понимания и модификации, а также неэффективной в силу того, что поиск решения происходит путем полного перебора альтернатив и декларативного возврата из тупиковых ситуаций. Кроме того, в ряде исследований было показано, что использование исчисления предикатов не позволяет адекватно описать предметную область, связанную с подготовкой деятельности войск. Все это позволяет сделать вывод, что необходимы другие логические исчисления и языковые средства, построенные с использованием этих исчислений, для построения модели предметной области и обеспечения удобства работы пользователей.

Фреймовая модель основана на фреймовой теории М. Минского и представляет собой систематизированную в виде единой теории психологическую модель памяти человека и его сознания. Однако из-за отсутствия конкретных идей, позволяющих создать язык представления знаний, она носит довольно абстрактный характер. Главным моментом в этой теории является понятие фрейма-структуры данных для представления некоторого концептуального объекта, вся информация о котором находится в слоте. Фреймы взаимосвязаны и образуют единую фреймовую структуру, в которой объединены декларативные и процедурные знания. Преимущества языков фреймового типа определяется удобством и эффективностью структурного описания сложных понятий и решения задач, в которых в соответствии с ситуацией желательно применять различные правила вывода. Однако ряд недостатков таких языков не позволил им войти в практику реализации интеллектуальных систем. Самыми

существенными недостатками являются громоздкость языка и отсутствие собственных завершенных средств описания процедур.

В модели представления знаний с использованием семантических сетей понятиям и объектам предметной области соответствуют узлы сети, а отношениям между понятиями – дуги. Это позволяет строить довольно сложные структуры. Положительная сторона представления знаний семантическими сетями заключается в простом и наглядном способе описания на основании отношений между элементами. Но в то же время, с увеличением размеров сети значительно увеличивается время поиска, а также снижается гарантированность пригодности результатов вывода.

Проведенный анализ существующих языков представления знаний затрагивает проблему разработки ЛО связанную с внутренним языком интеллектуальной системы. В рамках подходов к идеологии разработки СППР был сделан вывод, что в качестве формальной основы для построения ЭС следует выбрать аксиоматический подход при условии его расширения формальным аппаратом, позволяющим учитывать неопределенность и противоречивость в знаниях и данных. Поскольку ЭС должна быть в некоторой степени универсальной системой, предназначенной для решения класса задач подготовки боевых действий, то необходим единый формализм представления и использования знаний.

**Целью** данной статьи является разработка модели внутреннего языка для СППР.

**Основная часть.** Необходимость структуризации знаний обусловлена тем, что военно-прикладные задачи подготовки боевых действий характеризуются сложной структурой. Эксперты, решающие такие задачи, не могут сформулировать все принципы, эвристические правила и другие знания, используемые ими при решении таких задач. Поэтому, чтобы формализовать знания экспертов, необходимо искать способы их структуризации.

Исследования по экспертным системам показывают, что существует достаточно много методов декомпозиции и упорядочения знаний. Все они имеют существенные недостатки, связанные, прежде всего, с узостью рассматриваемой предметной области и недостаточным учетом особенностей решения военно-прикладных задач. Наиболее целесообразным для решаемой задачи является вариант, учитывающий наиболее общие подходы к структуризации знаний, который можно взять за основу.

Работы по этой тематике основывались на теоретико-множественном подходе, который ограничивает возможности по представлению знаний. Это связано со следующими причинами:

1. Элементы математических множеств не оцениваются по присутствию. В реальности присутствие объектов множеств может меняться в зависимости от состояния предметной области.

2. Предметы, как элементы множества, и сами множества являются статичными (не меняющимися с течением времени), что теряет свое значение при рассмотрении реальных физических объектов.

Теория категорий, развивающаяся в последнее время, является альтернативой теории множеств.

Под категорией, прежде всего, понимается некоторый универсум для проведения рассуждений. Такой универсум определяется указанием классов объектов и множества морфизмов (отношений), связывающих эти объекты.

Определение категории  $K$  включает:

1. Класс объектов категории  $Ob_K$ ;

2. Набор множеств  $Hom_X(X, Y)$ , по одному для каждой пары объектов  $X, Y \in Ob_K$  элементы которых называются морфизмами из  $X$  в  $Y$  и обозначаются  $\mu: X \rightarrow Y$ , где стрелка обозначает отображение (нелогический символ).

3. Набор отображений  $Hom_K(X, Y) \times Hom_K(Y, Z) \rightarrow Hom_K(X, Z)$ , по одному для каждой упорядоченной тройки объектов  $X, Y, Z$ , ставящей в соответствие паре морфизмов  $\mu: X \rightarrow Y, \nu: Y \rightarrow Z$  их композицию  $\mu \circ \nu: X \rightarrow Z$ , также являющуюся морфизмом.

4. Аксиомы, которым должны удовлетворять все морфизмы категории:

а) композиция морфизмов ассоциативна  $(\phi \circ \mu) \circ \nu = \phi \circ (\mu \circ \nu)$  для каждой тройки морфизмов  $\mu: X \rightarrow Y, \nu: Y \rightarrow Z, \phi: Z \rightarrow V$ .

б) для каждого объекта  $X$  должен существовать единичный морфизм  $1_X: X \rightarrow X$ , удовлетворяющий условиям  $\mu \circ 1_A = \mu$  и  $1_B \circ \nu = \nu$ , если  $\mu: X \rightarrow Z, \nu: Y \rightarrow X$ .

Для любой категории  $K$  можно построить двойственную категорию  $K^\circ$  следующим образом:

1) категории  $K$  и  $K^\circ$  имеют одни и те же объекты;

2) для каждого морфизма в  $K$  вводится обратный морфизм в  $K^\circ$ , т.е.  $Hom_{K^\circ}(A, B) = Hom_K(B, A)$ ;

3) композиция морфизмов в  $K^\circ$  определена тогда, когда определена композиция морфизмов в  $K$ .

Теория категорий, по сравнению с теорией множеств, обладает более широкими возможностями по описанию реальных, а не математических объектов. Среди основных преимуществ теории, категорий можно выделить следующие.

1. Широкая трактовка категории и ее объектов как свойств, процессов, состояний и явлений. Объектами категорий могут являться не только множества, но и другие математические абстракции. Категория представляет универсальный формализм, позволяющий с единых позиций описывать внешне различные объекты.

2. Морфизмы категорий обозначают морфизмы вложения (включения в класс), функциональные отображения одних объектов в (на) другие, а это позволяет выразить любые связи между объектами.

Каждому морфизму категории  $K$  ставится в соответствие синтаксическая конструкция вида

$$[\mu_i: Y \rightarrow X],$$

где  $\mu_i$  – имя морфизма;  $Y$  – оригинал  $\text{Orig } \mu_i$ ;  $X$  – образ  $I_m \mu_i$ . Предполагается, что все объекты представляются совокупностями морфизмов.

Исходя из изложенного, можно предложить категорную модель знаний ПО (КМЗ). Под КМЗ понимается совокупность формализованных описаний объектов и закономерностей проблемной области, а также эвристик, воспроизводящих целенаправленную мыслительную деятельность эксперта при принятии решения.

Вся реальная предметная область представляется в виде объектов. Объект служит для моделирования знаний эксперта об отдельном фрагменте решаемой задачи в виде структур, наиболее полно сохраняющих семантику ПО. Под объектом (Об) будем понимать концепт (понятие) – совокупность знаний, отражающих отличительные и существенные признаки, свойства предмета, явления действительности.

Например, "полк", "наведение". Понятие "наведение" характеризуется следующими отличительными признаками: условия наведения, кто наводится, куда наводится, где наводится. В то же время, каждому лингвистическому символу ( $S$ ) можно поставить в соответствие и частный пример концепта, выступающего в определенной знаковой ситуации. Это может быть конкретный полк со своими отличительными признаками или определенное наведение. Частные примеры концепта в зависимости от выбранной терминологии называют денотатом ( $D$ ). В общем случае отношение  $S$  к концепту и денотату может быть выражено в виде треугольника Фреге [4], вершинам которого соответствуют Об,  $S$  и  $D$ .

В результате проведенного анализа [5 – 7] выявлено, что известные логические исчисления малопригодны для формализации знаний. Обоснована целесообразность использования для этой цели категорного подхода к представлению объектов предметной области. Сделан вывод о том, что для учета выявленных особенностей знаний в наибольшей степени подходит, построенная на основе теории категорий, формальная система – многозначное исчисление присутствия.

Категории описывают концепты (понятия), которые соответствуют классам реальных или абстрактных объектов, либо представляют частные примеры этих концептов, обозначающих примеры объектов реальности.

Концепт (понятие) – совокупность знаний, отражающих отличительные и существенные признаки, свойства предмета, явления действительности.

Каждая из категорий отражает определенный аспект знаний о концептах (интенционал, состояние, пространство, время и т.п.). Полное описание концепта представляется в виде произведения категорий

$$\text{Kat1} \times \text{Kat2} \times \dots \times \text{Katn}, \quad (1)$$

Состав категории меняется в зависимости от рассматриваемого "возможного мира"  $\omega_i$  [3]. В качестве информации, характеризующей объект, могут выступать признаки, являющиеся в свою очередь концептами. Объекты, существенные признаки которых являются в свою очередь концептами, в дальнейшем будем именовать составными объектами (СО), а объекты, описанные только через индивидуальные признаки – терминальными объектами (ТО).

В исчислении присутствия [4] любой объект описывается через некоторые признаки  $\mu_i$  существенные для описания объекта в мире  $\omega$  согласно теории  $T_i$ . Основу исчисления составляет понятие присутствия объекта в мире  $\omega$ , принимающее одно из двух значений присутствия  $S(\omega, T_i)$  и  $N(\omega, T_i)$ . Первое обозначает присутствие объекта в мире  $\omega$  согласно теории  $T_i$ , второе – его отсутствие.

Особенности подготовки боевых действий Воздушных Сил (ВС), связанные, прежде всего, с неопределенностью приводят к тому, что часть признаков могут быть недоступны для регистрации СППР, поэтому их можно разделить на два класса: доступные для системы  $\pi_{ij}$  и недоступные –  $\xi_{ij}$ . Тогда формула терминального объекта примет вид

$$z = \bigcup_{i=1}^N \left( \bigcap_{j=0}^{P_i} \pi_{ij} \right) \cap \left( \bigcap_{r=0}^{m_i} \xi_{ir} \right), \quad (2)$$

где  $p_i + m_i = n_i$ ;  $i = \overline{1, N}$ . При этом  $\xi_{i0}$  и  $\pi_{i0}$  обозначают  $s(\omega, T_i) \forall i = \overline{1, N}$ .

На множестве формул терминальных объектов можно задать топологическую булеву алгебру

$$\langle X, \Delta, \alpha, \beta, \cap, \cup, \rightarrow, \neg, I, C \rangle, \quad (3)$$

содержащую дополнительную операцию взятия внутренности. В такой алгебре объекту  $z$  соответствует открытая формула, которой можно поставить в соответствие ее внутренность  $I$  и замыкание  $C$ . В соответствии с этим объекту  $z$  ставится в соответствие вектор условий присутствия  $\bar{z} = \langle Iz, C-z, Cz, I-z \rangle$ , оценки которого принимают значения из следующей совокупности:

$$\bar{\text{val}}z = \begin{cases} \text{Pr} = \langle S, N, S, N \rangle - \text{присутствует;} \\ \text{Ab} = \langle N, S, N, S \rangle - \text{отсутствует;} \\ \text{Un} = \langle N, S, S, N \rangle - \text{неопределено;} \\ \text{Cn} = \langle S, S, S, S \rangle - \text{противоречиво.} \end{cases}$$

Строгое описание взаимодействия объектов предметной области возможно осуществить [4] в рамках формальных теорий. Динамика поведения объекта в физической (абстрактной) реальности находит свое отражение в теории объекта через изменение оценок присутствия морфизмов, связанных с данным объектом. С этой целью вводится понятие дифференциала присутствия морфизма (ДПМ).

Под дифференциалом присутствия морфизма понимается синтаксическая конструкция вида [4]

$$\Delta_{\alpha\beta}^n \mu_i, \quad (4)$$

принимающая при интерпретации одно из двух значений –  $S(\omega, T_j)$ ,  $N(\omega, T_j)$  и означает изменение значения присутствия морфизма с  $\alpha$  на  $\beta$  в результате элементарного шага некоторого процесса, который определяется порядком дифференциала  $n$ .

Правила построения формул теорий объектов можно определить на основе свойств алгебры дифференциалов присутствия морфизмов.

Такой подход позволяет описывать теории объектов через входящие и исходящие из них морфизмы, строить многоуровневые иерархические теории, осуществлять объединение теорий объектов одного уровня с другим и таким образом строить глобальную теорию предметной области.

На базе теории категорий и исчисления присутствия в базе знаний необходимо иметь такие компоненты

$$\langle M_j, D_j, C_j, PM_j, T_j \rangle, \quad (5)$$

где  $M_j$  – множество описаний объектов области  $\omega_j$ ;  $D_j$  – множество описаний структур исходных, промежуточных и результирующих данных;  $C_j$  – описание множества целевых состояний;  $PM_j$  – множество описаний программных модулей;  $T_j$  – множество теорий предметной области и задач, описывающих необходимые процессы достижения целевых состояний, условия актуализации целей, ограничения на качество решения задачи и др.

Для формирования множества  $M_j$  выделяются существенные свойства понятий, которые обобщаются и структурируются. Для составных объектов определяются подобъекты, их атрибуты и роли. При этом каждой роли приписывается уникальное имя морфизма  $\alpha_n$ , подобъектам и атрибутам – имена понятий и свойств  $\alpha_n$ . Структура для описания объектов в общем виде может быть представлена как

$$\langle i, \omega, T; \alpha_1: \bar{a}_2; \alpha_2: \bar{a}_2; \dots \alpha_n: \bar{a}_n \rangle. \quad (6)$$

Множество целевых состояний представляют собой совокупности описаний состояний объектов

$$\langle C, V; \gamma_1: C11, \dots, C1n; \gamma_2: C21, \dots, C2p; \gamma_3: C31, \dots, C3k \rangle, \quad (7)$$

где  $C$  – имя целевой установки;  $V$  – тип ЦУ (дизъюнктивная или конъюнктивная);  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – вид связи, соответственно, предшествование, подчинение, действие.



Для задания целевой установки системе необходимо иметь конструкцию вида

$$\langle C, M; v_1: \bar{y}_2; v_2: \bar{y}_2; \dots v_n: \bar{y}_n \rangle, \quad (8)$$

где  $M$  – модальность, с которой оператор ставит задачу системе по достижению целевой установки;  $v_n: \bar{y}_n$  – перечень варьируемых параметров.

Определена правильно построенная формула теории объекта, имеющая вид

$$\langle \mu (n, \text{ИОП}): i, \omega, T, S; \alpha (n, \text{ИОП}): j, \omega, T, S * \dots * \gamma (n, \text{ИОП}): k, \omega, T, S \rangle, \quad (9)$$

где  $\mu$  – морфизм, исходящий из объекта;  $n$  – порядок дифференциала присутствия морфизма;  $\alpha, \gamma$  – морфизмы входящие в объект  $i$ ;  $*$  – операции алгебры (S); ИОП – изменение оценки присутствия морфизма;  $i, j, k$  – уникальные имена объектов, по которому их можно распознать;  $\omega$  – "возможного мира", в котором рассматривается теория объекта,  $T$  – тип теории объекта (процесс, состояние, пространство, время и др.)

Для описания частных примеров используются конструкции следующего вида

$$\langle i, \omega, T; \mu_1: \bar{x}_1, \text{val}; \mu_2: \bar{x}_2, \text{val}; \dots, \mu_n: \bar{x}_n, \text{val}; \rangle, \quad (10)$$

где  $i$  – имя концепта, для которого задаются частные примеры;  $\mu_n$  – морфизм, определяющий тип связи (отношений) концепта со списком понятий (признаков)  $\bar{x}_n$ ;  $\text{val}$  – оценка присутствия соответствующих признаков, принимающее одно из значений множества  $\{\text{Pr}, \text{Ab}, \text{Un}, \text{Cn}\}$ .

Проведенный анализ существующих моделей языков показал, что для построения модели внутреннего языка наиболее целесообразно использовать аппарат контекстно-свободных грамматик расширив их правилами, которые дают возможность учитывать семантику исследуемой предметной области.

Формальная грамматика представлена выражением

$$G(L) = \langle V_T, V_N, P, SP, A \rangle, \quad (11)$$

где  $G(L)$  – формальная грамматика;  $V_T$  – словарь терминальных символов;  $V_N$  – словарь нетерминальных символов;  $P$  – множество правил, которые дают возможность из словаря строить синтаксически правильные конструкции языка;  $A$  – множество априорно-истинных конструкций, которые называются аксиомами;  $SP$  – семантические правила (СП) вида

$$S_k(\text{sem}_k), P_z \rightarrow S_j(\text{sem}_j), P_m. \quad (12)$$

Данное СП означает, что если  $S_k$  с соответствующим семантическим признаком присутствует в правиле переписывания с номером  $z$ , то в правиле с номером  $m$  должна присутствовать словоформа с семанти-

ческим признаком  $sem_j$ .

**Выводы.** В основу построения внутреннего языка положена категорная модель знаний, являющаяся более универсальным средством, по сравнению с известными моделями, для формализации знаний о процессах подготовки боевых действий. Категорная модель знаний носит двойственный характер. С одной стороны она описывает структуру концептов предметной области. С другой – определяет динамику взаимодействия (теорию) объектов предметной области. Теория строится над каждым объектом и связывает по присутствию входящие и исходящие из него морфизмы. Это позволяет объединять теории объектов между собой и строить иерархические теории реальности. Использование для построения теорий операций топологической булевой алгебры позволяет описывать реальность в условиях неопределенности.

Для описания внутреннего языка системы предложен аппарат формальных грамматик. Дополнение КС-грамматики семантическими продукционными правилами позволило обеспечить взаимнооднозначное соответствие между элементами категорной модели знаний и языком представления знаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 30 с.
2. Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
3. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию: Пер. с фр. / А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи и др. – М.: Мир, 1990. – 432 с.
4. Голдблат Р. Топосы. Категорный анализ логики. – М.: Мир, 1983. – 448 с.
5. Представление и исследование знаний / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука; Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
6. Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Субач И.Ю. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности. – Севастополь: МОУ, НАНУ, 2004. – 320 с.
7. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 864 с.

Поступила 22.02.2006

**Рецензент:** доктор физико-математических наук, профессор С.В. Смеляков,  
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.