

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, анкет, 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 $\nu \circ \mu: X \rightarrow Z$, также являющуюся морфизмом.

4. Аксиомы, которым должны удовлетворять все морфизмы категории:

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

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

Для любой категории K можно построить двойственную категорию K° следующим образом:

1) категории K и K° имеют одни и те же объекты;

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

3) композиция морфизмов в K° 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 μ_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" ω_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 μ_i существенные для описания объекта в мире ω согласно теории T_i . Основу исчисления составляет понятие присутствия объекта в мире ω , принимающее одно из двух значений присутствия $S(\omega, T_i)$ и $N(\omega, T_i)$. Первое обозначает присутствие объекта в мире ω 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 π_{ij} и недоступные – ξ_{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 ξ_{i0} и π_{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:

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

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 α на β 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 ω_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 α_n , подобъектам и атрибутам – имена понятий и свойств α_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 μ – морфизм, исходящий из объекта; n – порядок дифференциала присутствия морфизма; α, γ – морфизмы входящие в объект i ; $*$ – операции алгебры (S); ИОП – изменение оценки присутствия морфизма; i, j, k – уникальные имена объектов, по которому их можно распознать; ω – "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; μ_n – морфизм, определяющий тип связи (отношений) концепта со списком понятий (признаков) \bar{x}_n ; 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.