

Андрея Гаврилов

Новосибирский электротехнический институт

## ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА PROLOG ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Резюме. В статье рассматривается использование PROLOGa для создания экспертных систем и оболочек ЭС. Показано как на PROLOGe можно реализовать различные методы представления знаний: семантические сети, продукции, фреймы. Дан обзор по применению PROLOGa для создания ЭС

### 1. Введение

В настоящее время интенсивно ведутся работы по применению прикладных систем искусственного интеллекта (СИИ), в частности экспертных систем (ЭС), в производстве [1,2,3]. Для облегчения процесса создания экспертных систем применяются различные инструментальные средства. Их можно разделить на следующие классы: "пустые" экспертные системы или скелетные языки инженерии знания, оболочки (shell) или универсальные языки инженерии знания, языки программирования искусственного интеллекта, вспомогательные средства построения ЭС [4,5,6]. Наиболее известные пустые ЭС - EMYCIN, EXPERT, KAS. Примеры оболочек: OPSS, ROSIE, FRL, RLL, ART, HEARSAY-III. Среди языков программирования для использования в области ИИ выделяются LISP и PROLOG. Наиболее известные вспомогательные средства - AGE, TEIRESIAS, RULEMASTER.

Кроме вспомогательных средств, предназначенных для решения отдельных задач при построении ЭС (приобретение знаний, редактирование баз знания и т. д.), инструментальные средства по мере увеличения универсальности и трудоемкости создания ЭС можно упорядочить следующим образом: пустые ЭС, оболочки, языки программирования ИИ. С помощью последних можно создавать наиболее универсальные, эффективные, открытые экспертные системы.

Большинство пустых ЭС, оболочек и вспомогательных средств построены с использованием какой-либо версии языка LISP. Широкое его использование объясняется его долголетней историей и универсальностью этого языка, связанной с его ориентацией на работу со сложными структурами данных, а не с элементами знания (семантическими сетями, фреймами, правилами или предикатами). Кроме того, в настоящее время существует ряд успешных реализаций LISP-машин и графических станций на их основе. Более молодой язык PROLOG [7] основан на представлении знаний в виде логики предикатов 1-го порядка и на использовании прямого логического вывода. Можно сказать, что он занимает промежуточное место между языками программирования и оболочками ЭС. От языков программирования в нем присутствует возможность написания программ

(т. е. последовательности действий), а от оболочек ЭС - метод представления знаний в виде предикатов и хорновских правил вывода.

В настоящей статье рассмотрены возможности языка PROLOG как языка реализации экспертных систем и оболочек ЭС, дан обзор применения его для этих целей.

## 2. Реализация на языке PROLOG разных способов представления знаний

Наиболее естественным способом представления знаний на языке PROLOG являются продукции [8], которые отождествляются с правилами вывода PROLOGа и представляют собой конъюнкции элементарных условий-предикатов. Последние могут быть либо предикатами-фактами либо вызовом процедур, проверяющих некоторый факт (в частном случае, запрашивая необходимую информацию от пользователя). Например, в ЭС, описанной в [9], правило выбора типа промышленного робота РЗ-201М по требуемым характеристикам имеет вид:

```
прС'рф-201м'):-
  до('грузоподъемность',1),
  до('число степеней',4),
  до('наибольшая вылет руки',426),
  имеет('мобильность','стационарный'),
  имеет('тип привода','пневматический'),
  имеет('конструкторское исполнение','напольный'),
  имеет(операция,'листовая штамповка').
```

В нем предикаты 'до' и 'имеет' обеспечивают ведение диалога и проверку соответствующих фактов и описаны в виде следующих правил:

```
до(X,Y):-
  write(X),write(':'),read(I),
  asserta((до(X,Z):-!,I=(Z)),!),
  I=Y.
имеет(X,Y):-
  write(X),write('-'),write(Y),write('?'),
  read(I),I='да',
  asserta((имеет(X,_):-!,fail)),
  asserta((имеет(X,_):-!,fail)
имеет(X,Y):-
  asserta((имеет(X,_):-!,fail)).!,fail.
```

С помощью предикатов asserta в этих правилах происходит сужение области поиска в процессе получения требуемых характеристик робота от пользователя.

Можно продукции записывать в более естественном виде, используя для этого описание синтаксиса предложений с помощью предиката "ор". Например, с помощью выполнения предикатов

```

ор(225,xfy,:).
ор(155,xfy,и).
ор(220,fx,если).
ор(120,xfy,то).
ор(100,fx,не).

```

продукцию, приведенную ранее, можно записать следующим образом:

```

правило1:если дос'грузоподъемность',1)
и дос'число степеней',4)
дос'наибольший вылет руки',426)
имеет'мобильность','стационарный)
имеет'тип привода','пневматический')
имеет'конструкторское исполнение','напольный)
имеет'операция','листовая штамповка')
то выбрать('рф-201м').

```

Интерпретация такой продукции может быть описана с помощью следующих правил языка:

```

:(X,Y):-Y.
если(X):-X.
то(X,Y):-X,call(Y).
не(X):-not(X).
и(X,Y):-X,Y.
выбрать(X):-write('я бы вам рекомендовал выбрать '),write(X),!.

```

Семантические сети могут быть представлены на языке PROLOG двухместными предикатами-фактами, имена которых соответствуют дугам семантической сети, а значения аргументов — узлам, связанным ею. Например, ситуация, в которой оказался робот, может быть описана следующим образом:

```

'есть нек'(кассета,объект).
'есть нек'(деталь,объект).
'есть нек'(объект,сущность).
находится(кассета,схват).
находится(робот,комната).
'есть часть'(схват,робот).

```

Правила для ответа на запросы типа "где находится X?" и "что такое X?" могут иметь следующий вид:

```

где(X,Y):-находится(X,Y).
где(X,Y):-'есть часть'(X,Z),где(Z,Y),!.
где(X,Y):-находится(X,Z),где(Z,Y).
где(X,Y):-Y = X.
'что'(X,Y):-'есть нек'(X,Y).
'что'(X,Y):-'есть нек'(Y,X).
'что'(X,Y):-'есть нек'(X,Z),'что'(Z,Y),!.
'что'(X,Y):-X=Y,!.

```

В результате унификации запроса где(кассета, X) получим следующие альтернативные значения переменной X: схват, точка(10,10,20), комната. В результате унификации запроса что(кассета, X) получим значения X: объект, сущность, а запроса что(объект, X) - значения X: сущность, кассета, деталь.

Фреймы можно описывать на языке PROLOG разными способами [10]. Наиболее естественный способ заключается в отождествлении предикатов с фреймами и его аргументов - со слотами фрейма. Например, фрейм, описывающий понятие "стол" может иметь вид:

```
стол(форма(круглый),
    высота(120),
    материал(дерево),
    'кол-во ножек'(3),
    тип(журнальный)).
```

Достоинствами этого способа представления фреймов его понятность и отсутствие избыточной информации. Недостатком является его сильная зависимость от проблемной области, выражающаяся в следующем:

- 1) при выполнении программы трудно отличать фрейм от любого другого предиката, что может приводить к подмене унификации фрейма унификацией одноименного предиката-факта или правила вывода;
- 2) трудно обеспечить работу с фреймами с переменным количеством слотов;
- 3) имена фреймов должны быть заранее известны и программы, работающие с ними должны их использовать, что сужает возможности практического использования и развития экспертной системы;
- 4) недостатки 1 и 3 распространяются и на слоты.

Другим способом представления фреймов является представление в виде предикатов с всегда одинаковым именем, общим для всех фреймов (например, game), и двумя аргументами - именем фрейма и списком слотов. Слоты представляются так же как в первом способе. Такое представление лишено перечисленных выше недостатков применительно к фреймам. Пример такого фрейма:

```
game(стол, [[форма(круглый),
    высота(120),
    материал(дерево),
    'кол-во ножек'(3),
    тип(журнальный)]]).
```

Третий способ основан на записи слотов в виде двух- или многоэлементных списков, первый элемент которых является именем слота, а следующие - его значениями. Пример такого фрейма:

```
game(стол, [[форма, круглый],
    [высота, 120],
    [материал, дерево]].
```

{'кол-во ножек',3},

{тип,журнальный}}.

Переход от 2-го способа к 3-му и обратно может осуществляться использованием предиката  $X=L$ , где  $X$  - предикат,  $L$  - список, первый элемент которого является именем предиката  $X$ , а остальные - его аргументы. Недостатком этого метода является сложность присоединения процедур. В первых двух способах слот может рассматриваться как вызов процедуры (правила вывода) с передачей ей параметра (параметров) - значения (значений) слота.

Первый способ целесообразно применять в случае небольшой по объему записи знаний с ограниченным набором наименований описываемых в виде фреймов понятий и их характеристик (слотов). Второй способ можно использовать при тех же ограничениях применительно только к слотам и при существенной интерпретации слотов как вызовов присоединенных процедур. Третий способ является наиболее гибким и универсальным и может быть использован при работе с большими базами знаний при ориентации на работу с декларативными знаниями. Он является предпочтительным для создания оболочек ЭС на языке PROLOG.

Организация сети фреймов может обеспечиваться применением стандартных (для данной ЭС) имен или значений слотов. Например, для фрейма "стол" (см. выше) слот [class,небель] может задавать ссылку на фрейм, описывающий понятие более высокого уровня, а слот [материал,дерево] может являться ссылкой на фрейм с именем "дерево", описывающий свойства данного материала.

### 3. Экспертные системы и оболочки, построенные с использованием языка PROLOG (обзор)

Одной из первых экспертных систем, построенных с использованием языка PROLOG, является ORBI [11,12], разработанная в 1982 году. Она предназначена для оценки ресурсов среды. ЭС ORBI имеет динамическую базу знаний, пополняемую и модифицируемую экспертами (непрограммистами) и средства объяснений своих заключений. База знаний состоит из правил, сгруппированных в подмножества правил, и семантической сети, содержащей информацию о понятиях проблемной области и взаимосвязях между ними. Правила используются для вывода из одних значений атрибутов понятия новых значений. Семантическая сеть служит для управления подсистемой консультации и для контроля и анализа вновь вводимых экспертом правил. Правила вводятся в виде продукций на стилизованном естественном языке, оптимизируются и компилируются в эффективные правила языка PROLOG. Кроме того, в ЭС ORBI существует несколько метаправил, которые служат для выбора наиболее подходящего подмножества правил для логического вывода или погружения в

него новых знаний эксперта.

Экспертная система SPERIL-II [13] предназначена для оценки общей безопасности и сейсмостойкости сооружений. Она анализирует данные осмотра и записи регистрирующих приборов, отражающие реакции сооружения во время землетрясения, и оценивает соответствующие характеристики безопасности. Знания представлены в виде правил языка PROLOG, дополненных коэффициентом уверенности и возможностью обратного логического вывода.

ЭС MIXER [14] разработана в Токийском университете и предназначена для помощи в написании микропрограмм для СБИС TI990. По заданному описанию микропрограммы система получает оптимизированные горизонтальные микропрограммы для TI990. ЭС использует знания о том, как преобразовать введенные описания в наборы промежуточных операций, как выделять соответствующие регистры под переменные и как преобразовать промежуточные операции в наборы микроопераций. Знания представляются в виде правил и фактов на языке PROLOG.

ЭС DRUG INTERACTION CRITIC [15] предназначена для назначения лекарств на фоне других лекарств. Система определяет благоприятные и неблагоприятные взаимодействия, объясняет, почему взаимодействия происходят и предлагает корректирующие действия для устранения побочных эффектов. База знаний о лекарствах организована в виде иерархии фреймов. Кроме того, в виде фреймов представлены знания о механизмах взаимодействий. Система имеет интерфейс на ограниченном естественном языке с коррекцией орфографических ошибок. ЭС разработана в Политехническом институте штата Виргиния США.

В том же институте разработана ЭС POMME [16], предназначенная для выдачи рекомендаций по уходу за яблоневыми садами. Система содержит знания по патологии растений и энтомологии, о фунгицидах и инсектицидах, ущербе от заморозков, морозов и засухи. ЭС сочетает методы представления знаний, основанные на правилах и на фреймах. Система работает на IBM VAX-11/780.

В Эдинбургском университете разработана одна из первых ЭС на PROLOGe MESHO [17] для решения задач механики: расчета системы блоков, определения момента инерции, задач, в которых фигурируют расстояние, скорость и время. Система воспринимает постановку задачи на естественном языке, использует представление знаний в виде правил и стратегии поиска, подобную примененной в GPS, для порождения системы уравнений и неравенств.

В Сиракузском университете (США) разработана ЭС DFT [18], которая предназначена для выявления нарушений правила DFT (design for testability) в проекте СБИС и корректировки проекта с целью его устранения. Представление знаний в системе ориентировано на логические методы. Проект цифровой схемы состоит из набора логических утверждений, описывающих соединения между узлами СБИС и функции этих узлов.

Экспертная система MESSAGE TRACE ANALYZER [19] помогает стлакивать системы, работающие в режиме реального времени, такие как большие компю-

тационные устройства сетей связи, содержащие сотни процессоров. Система изучает записи последовательностей сообщений, которые обмениваются процессоры, обнаруживая неправильные последовательности, чтобы обнаружить какой процессор неисправен. Общие эвристики отладки и сведения о конкретной отлаживаемой системе представлены в виде правил. Применяется прямой и обратный логический вывод.

Экспертная система PEACE [20] помогает разработчикам проектировать электронные схемы. Она предназначена для анализа и синтеза пассивных и цифровых схем и использует знания об основных элементах схем, о преобразованиях схем, правилах соединения для образования более сложных схем и сетей, стратегиях анализа и синтеза, о методах предотвращения отказов. Система синтезирует пассивные схемы, исходя из их функционального описания, а цифровые — из математического выражения их передаточных функций. Знания представлены в системе в логическом виде.

В [21] описана ЭС выбора и комплексирования технических средств САПР (ЭСБ КТС САПР). Ее база знаний содержит информацию о характеристиках ЭВМ и их основных устройств, аппаратуры машинной графики и графических систем, аппаратуры передачи данных. Система предназначена для решения следующих задач: выбор концепции организации и конфигурации САПР, выбор конфигурации САПР или отдельных технических средств, выдача справочной информации о вычислительных системах и технических средствах заданного типа, о базовых комплексах технических средств, о совместимости технических средств. ЭСБ КТС САПР включает в себя аналитические модели, базирующиеся на экономических критериях и аппарате выключенных сетей массового обслуживания. База знаний системы основана на правилах и фактах языка PROLOG. ЭС реализована на версии MPROLOG с включением некоторых компонент на языках PL/1 и FORTRAN-77.

В работе [22] описана ЭС для проектирования автоматизированных систем управления непрерывными технологическими процессами на базе комплекса РЕХИМ. Система по исходным спецификациям составляет таблицу документов, характеризующих соединения блоков, из которых собирается установка, проверяет на полноту и непротиворечивость именованную технологического процесса, выдает откорректированную именованную и блок-схему соединения установок РЕХИМ при работе на объекте. Система реализована на языке MPROLOG на ЭВМ ЕС-1055 и на IBM PC и содержит 750 правил. Время принятия решения составляет не более 2 секунд.

В [23] описана экспертная система для проектирования реляционных баз данных, реализуемая на основе языка MPROLOG и СУБД КАРС. База знаний представляется в виде иерархической сети фреймов-прототипов и продукция, а также системы словарей, описывающих фрагменты реального мира, отображаемого в проектируемой базе данных.

В [24] описана экспертная система для диагностики именной болезни

сердца. База знаний ЭС построена в виде фреймов с встроенными в них продукциями. Содержание фреймов управляет диалогом с пользователем на литовском языке и выдвижением гипотез о диагнозе. Система реализуется на языке Micro-Prolog IBM PC.

В [25] описан язык инженерии знания DIAGNOS, ориентированный на построение медицинских диагностических ЭС. Язык поддерживает фреймно-продукционное представление знаний и реализуется на языке Turbo-Prolog IBM PC.

В [26] описана пустая экспертная система ОПЭС, ориентированная на применение в планировании. Система выявляет недостатки в исходном плане и корректирует его. База знаний системы содержит факты и правила языка PROLOG. Кроме того, она может использовать так называемые внешние факты, содержащиеся в базе данных, обслуживаемой стандартной СУБД. В системе реализован вероятностный логический вывод. Система реализована на языке MPROLOG на ЕС ЭВМ с использованием СУБД ТРИАДА.

В [27] сообщается о разрабатываемой на языке MPROLOG на ЕС ЭВМ оболочке ЭКСПО. В ней реализуется нечеткий логический вывод, интерфейс реляционной СУБД, представление знаний в виде фактов и правил PROLOGa.

Экспертная система УНОС [28] предназначена для построения обучающих систем. В результате диалога с преподавателем-экспертом и на основе анализа стилизованного текста учебника, занесенного на носитель, система строит базу знаний, содержащую дерево меню, управляющее диалогом с обучаемым, справочник названий сегментов текста, управляющую программу, реализующую различные режимы работы с обучаемым. Система УНОС реализована на языке Micro-Prolog на ЭВМ IBM PC.

В Институте кибернетики АН УССР разработана оболочка АДЗКС, в основе которой лежит язык представления знаний SIGPLAN-2 [29], разработанный там же. База знания системы АДЗКС имеет вид множества продукции и фреймов. В ней реализованы средства работы с неопределенностями, с временными ограничениями, с кванторами всеобщности и существования. Оболочка АДЗКС реализована на языке MPROLOG на ЭВМ типа IBM PC.

#### 4. Заключение

Анализ возможностей реализации на языке PROLOG различных методов представления знаний и опыта его использования для построения экспертных систем, пустых ЭС и оболочек ЭС показывает удобство и достаточную эффективность его использования для этих целей. Эффективность таких систем повышается, если используются более новые версии языка, такие как MPROLOG [30] или Turbo-Prolog, обеспечивающие модульность и компиляцию знаний. Кроме того, появляются языки программирования, которые объединяют в себе достоинства языков LISP и PROLOG. К ним относится, например, LOGLISP [31].



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nowforth P., Bratko I. AI and robotics: Flexibility and integration. - *Robotica*, v.5, 1987, pp. 93-98.
- [2] Gavrilov A. Interactive System of Program Preparation for Robots. - *Automatyka, 6 Krajowa konferencja automatyzacji dyskretnych procesow przemyslowych*, Gliwice, 1988, pp.173-180.
- [3] Системное проектирование интегрированных производственных комплексов. / Под ред. В. М. Понамарева. - Л.: Машиностроение, 1986.
- [4] Построение экспертных систем / Под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. -н.: Мир, 1987.
- [5] Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. - М.: Мир, 1989.
- [6] Попов Э. В. Экспертные системы. - Наука, 1987.
- [7] Клоксин У., Меллис К. Программирование на языке ПРОЛОГ. - М.: Мир, 1987.
- [8] Яздани М. Техника использования знаний на языке ПРОЛОГ. - *Экспертные системы: Принципы работы и примеры*. - М.: Радио и связь, 1987, с.84-103.
- [9] Лянгасов С. И. Экспертная система по выбору типа оборудования. - *Методы и средства технической диагностики*. - Саратов, СТУ, 1988, с.59-65.
- [10] Гаврилов А. В. О представлении знаний в виде фреймов на языке ПРОЛОГ - Всесоюз. конф. по искусственному интеллекту ИИ'86. - М., 1988, с.113-114.
- [11] Pereira I., Oliveira E., Sabatier P. ORBI - Expert System for environmental resource evaluation through Natural Language. - *Proceedings of First International logic Programming Conference*. Marseille, 1982.
- [12] Оливейра Э. Логическое программирование как средство разработки экспертных систем. - *Язык Пролог в пятом поколении ЭЕМ*. - М.: Мир, с.481-492.
- [13] Ogawa H., Fu K. S., Yao J. T. P. An expert system for damage assessment of existing structures. - *Proceedings of the First Conference on Artificial Intelligence Applications*. IEEE Computer Society, 1984.
- [14] Shimizu T., Sakamura K. MIXER: an expert system for micrpprogramming. - *Proceedings of Sixteenth Annual Microprogramming Workshop, ACM*, 1983, pp. 168-175.
- [15] Roach J., Lee S., Wilcke J., Ehrich M. An expert system that criticizes decisions in combination drug therapy. - *Proceedings of the First Conference on Artificial Intelligence Applications*. - IEEE Computer Society, 1984.
- [16] Roach J. W., Vircar R. S. POMME: A computer-based consultation system for apple orchard management using PROLOG. - *Technical Report*. Department of Computer Science and Applications, Virginia Polytechnical Institute and State University, 1985.
- [17] Bundy A., Byrd L., Luger G., Palmer M. Solving mechanics problems using meta-level inference. - *Expert Systems in the Micro Electronic Age*. Edinburg, 1979.

- [18]Horstman P.W. Design for testibility using logic programming.- Proceedings of International Test Conference. IEEE Computer Society, 1983.
- [19]Gupta N.K., Seviara R.E. An expert system approach to real time system debugging. - Proceedings of the First Conference of Artificial Intelligence Applications. IEEE Computer Society, 1984.
- [20]Dincbas M. A knowledge-based expert system for automatic analysis and synthesis in CAD. - Information Processing 80, IFIPS Proceedings, 1980, pp. 705-710.
- [21]Кузнецов В.С., Кочетов Н.В. Экспертная система выбора и комплексирования технических средств САПР. - Вс. конф. по искусственному интеллекту ИИ'88. - М., 1988, т.3, с. 253-256.
- [22]Сентярина А.И. Автоматизация умозаключения в САПР. - Там же, с.269-272.
- [23]Пасичник В.В., Брона И.И., Проданых Н.И. Представление знания в экспертной системе проектирования реляционных баз данных. -Там же, т.1, с. 251-256.
- [24]Шаркинис Г.А., Русаяцкас Р.В. Прототип экспертной системы диагностики стенокардии. -Там же, т.2, с.552-557.
- [25]Бабенко В.Э. Комбинированная фреймо-продукционная модель представления медицинских экспертных знания. - Там же, с. 60-65.
- [26]Грищенко Б.А., Данцин Е.Я., Ходаровский Л.А. ОПЭС: экспертная система для отладки планов. - Там же, с. 445-448.
- [27]Цай В.А., Варенников А.В. и др. ЭКСПО: оболочка экспертных систем. - Там же, с. 532-536.
- [28]Архангельский Д.А. и др. Универсальная наполняемая обучающая система УНОС на базе ЛЭВМ ЕС-1841. - Там же. с. 543-547.
- [29]Галаган Н.И., Довгялло Т.П. SIGPLAN-2 : язык описания задач интеллектуальной решающей системы. - Там же, т.1, с. 118-123.
- [30]Донелкин Б., Середи Л. Практическое использование Пролога. -Логическое программирование. - М.: Мир, 1988, с. 167-192.
- [31]Робинсон Д., Зиберт Э. ЛОГЛКСР: мотивировка, основные возможности и реализация. - Там же, с. 261-275.

Recenzent: Prof.dr inż.H.Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

#### THE APPLICATION OF PROLOG FOR EXPERT SYSTEMS DESIGN

#### Summary

The methods of knowledge representation used PROLOG are described in this paper, such as productions, semantic nets and frames. The bibliography review of the expert systems and shells based on PROLOG is presented in one. It is showed that PROLOG is usefull and enough effective device for design of the expert systems.

## ZASTOSOWANIE JEZYKA PROLOG DO BUDOWY SYSTEMÓW EKSPERTOWYCH

## S t r e s z c z e n i e

W artykule rozpatrzono wykorzystanie języka PROLOG do budowy systemów ekspertowych i ich środowisk programowych. Pokazano jak z jego pomocą można zrealizować różne sposoby reprezentacji wiedzy np. sieci semantyczne, reguły i ramy. Dokonano przeglądu literatury poświęconej zastosowaniu języka PROLOG do budowy systemów ekspertowych.