

КИЕВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ТАРАСА ШЕВЧЕНКО.

На правах рукописи.

УДК 681.3.06

Ильясалия Перес Илена

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ  
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ.

01.01.09 – математическая кибернетика.

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель

Проф. д. ф.-м. н. Анисимов А.В.

Киев – 1992.

№ 26.452

Работа выполнена на кафедре математической информатики факультета кибернетики при Киевском университете имени Тараса Шевченко.

Научный руководитель - доктор физ-мат. наук, профессор Анисимов А.В.

Официальные оппоненты:

доктор физ-мат. наук, профессор Ляшенко И.Н.

канд. физ-мат. наук, доцент Бояршин Н.И.

Ведущая организация:

Институт кибернетики АН Украины им. В.М. Глушкова.

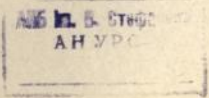
Защита состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1993 г. в "\_\_\_" часов на заседании Специализированного Совета Д.068.18.16 при Киевском университете им. Тараса Шевченко по адресу: 252126, г.Киев, проспект Академика Глушкова, 6, факультет кибернетики, ауд. \_\_\_\_\_.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Киевского университета им. Тараса Шевченко.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1992 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета

*Кузьмин А.В.* Кузьмин А.В.



ЛННБ України ім.В.Стефаника



00814412 (К)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы: Одной из наиболее актуальных и особо важных проблем в области инженерии знаний является структурирование знаний в процессе разработки и создания экспертных систем (ЭС).

Именно с появлением ЭС, искусственный интеллект (ИИ), одну из ветвей которого они составляют, перестал считаться чисто теоретической научной дисциплиной и стал рассматриваться как стратегически важное направление исследований. Становление индустрии ЭС в свою очередь стимулировало дальнейший прогресс исследований по ИИ. Сформулировалась новая область информатики - инженерия знаний, которая имела целью создание технологии выявления знаний и наполнения ими ЭС. Возникла и соответствующая новая специальность - инженер по знаниям. При проектировании конкретной ЭС в его функции входят построение концептуальной модели предметной области (ПО), выбор эффективных способов представления знаний и механизмов вывода.

Структурирование или концептуализация знаний - один из этапов создания ЭС, в котором инженер по знаниям предусматривает выбор основных понятий и связей, необходимых для описания проблемы, осуществляет выделение подзадач, стратегии и ограничений, связанных с решением задач. Результатом этапа структурирования является концептуальная модель ПО, для которой четко определена пирамида знаний, т.е. иерархическая структура знаний в ПО и дерево целей для решения задач и стратегия принятия решения на разных уровнях абстракции.

Подъем к верхним уровням иерархической структуры пирамиды знаний означает углубление понимания, повышение уровня абстракции мышления и обобщенность рассуждений, что характерно поведе-

нию эксперта при решении задач. Знание об управлении в целом, а также стратегические знания представлены на верхних уровнях абстракции, т.е. на так называемом метауровне. В ходе решения интеллектуальных задач на метауровне происходит процесс метапланирования стратегий принятия решений. В таком контексте стратегия рассматривается как один из видов знания на метауровне.

Метапланирование предполагает составление стратегического плана действий для достижения глобальной цели. Вопрос метапланирования и формирования дерева целей имеет сугубо субъективный характер и предполагает моделирование процесса управления принятия решений.

Для моделирования такого сложного и плохоструктурированного процесса, каким из себя представляет принятие решения, необходимо строить дерево целей, которое направляет поведение системы для осуществления выбора стратегии на каждом этапе принятия решения. Построение дерева целей предполагает, в первую очередь, структурирование стратегических знаний и знаний по управлению, воплощенных в контрольных стратегиях принятия решений на верхних уровнях.

Проблема структурирования стратегических знаний и знаний по управлению относится к одному из важнейших и недостаточно исследованных аспектов теории и практики ИИ, результатом которого является концептуальная модель стратегий принятия решения на различных уровнях абстракции для достижения промежуточных и конечной целей.

Большое значение в процессе структурирования имеет невербальный характер стратегических знаний, которые присутствуют в подсознании и позволяют эксперту принимать своевременные решения. По этой причине только в процессе повторного объяснения

своего поведения инженеру по знаниям удается эксперту на основе размытых ассоциативных образов сформулировать в вербальной форме скрытые стратегические знания.

Структурирование такого типа знаний - метазнаний - и внесение данной информации в базу знаний ЭС представляет собой шаг приближения интеллектуальной работы ЭС к сознательному интеллектуальному поведению эксперта в процессе решения задач конкретной ПО, а это в свою очередь является основной целью ИИ - приближение интеллекта машины к интеллекту человека.

Цель диссертационной работы. Главной целью проводимых в рамках диссертационной работы исследований является: во-первых, - изучение контрольных стратегий вывода на метауровне. Для принятия решения в ЭС.

- использование единого механизма вывода как для решения задач на объектном уровне, так и для принятия решения на метауровне.
- создание базы знаний по имеющей метауровневую архитектуру принятия решений и создание массива метауровневого знания.
- разработка управляющей метауровневой структуры принятия решения в ЭС с использованием комбинации метаправил различных уровней.
- построение прототипа ЭС "STRAMAG" в области стратегического планирования.

Научная новизна. Для построения базы знаний был использован весьма нетрадиционный подход к представлению знаний по управлению активацией и представлению стратегических знаний. Данный подход основан на использовании единого механизма представления и вывода для решения задач на объектном уровне и для принятия решения на метауровне. Используемый подход обеспечивает значительное единообразие представления, что в свою очередь делает возможным построение иерархии стратегий, кроме того, это позво-

дает использовать на метауровне те же возможности объяснения, которые были разработаны для знания объектного уровня.

Стратегические знания и знания по управлению в большинстве случаев были представлены эксплицитно в той же форме, в которой представлялись знания объектного уровня. Использование такого способа представления делает возможным создание системы с высокой степенью гибкости в отношении изменений в управляющей структуре. Этот аспект приобретает особое значение для прикладных программ, использующих большие, постоянно развивающиеся базы знаний со сложными стратегиями принятия решений, т.к. по мере увеличения программ становится все труднее контролировать влияние изменений и следить за поведением системы.

В качестве инструментального средства для построения базы знаний была использована система извлечения знаний с гибридной архитектурой на основе продукционных правил и фрейм-ориентированных структур. В рамках данной архитектуры фреймы были использованы как для управления набором контекстно-зависимых правил объектного уровня, так и для управления предметно-зависимых метаправил.

Предложенный подход позволяет рассматривать управление активацией как процесс решения определенной задачи. В таком контексте проблема формализации знаний о стратегиях принятия решений на метауровне сама по себе может рассматриваться как решение определенной задачи на объектном уровне, со своими собственными эвристическими методами и собственным телом знаний. Таким образом, рассмотренный в диссертационной работе подход предлагает относиться как к стратегии, так и к управлению, как к еще одной прикладной области, создавая в каждом из этих случаев базу знаний информации и эвристических методов. Одним из потен-

циальных результатов данного направления работы является схожий побочный эффект: формализация, структурирование и возможное расширение нашего знания относительно стратегий и методов активации.

Созданная база знаний - это первое приложение, построенное на основе данной системы извлечения знаний, в котором была реализована метауровневая система принятия решения с использованием комбинации метаправил различных уровней для принятия решения и управления активацией.

Методика исследования. Наиболее общим методом исследования, примененным в работе, является структурный анализ знаний. В качестве главной стратегии был использован известный в литературе метод редукции - метод сведения главной задачи к подзадачам. В результате использования названных методов формируется пирамида знаний, т.е. иерархичность понятийной структуры. В пирамиде каждый следующий уровень служит для восхождения на новую ступень обобщения и углубления знаний в ПО.

Описанная процедура также была использована для составления дерева целей, управляющего поведением системы. Процедура выбора дерева целей состоит в следующем: на первом шаге выбирается глобальная цель  $S$  1-го уровня. Для того, чтобы цель осуществилась, необходимо достижения некоторых целей 2-го уровня  $S_1, \dots, S_m$ . Для каждой из подцелей 2-го уровня должны выполняться подцели 3-го уровня  $S_{11}, \dots, S_{1k}$  и т.д.

Использована каузальная логика в качестве теоретического аппарата, которая позволяет учитывать каким образом отдельные составляющие объединяются в единое целое. Это обязательно необходимо учитывать для описания знаний при переходе с уровня поверхностных знаний на уровень глубинных.

Характеристики моделируемой ПО позволили использовать для

построения операциональной модели ПО следующие две универсальные стратегии поиска, которые часто находят применение в ЭС: во-первых, организация пространства задачи таким образом, чтобы в начале поиска решения можно было бы сказать, насколько оно будет успешным, в этом случае может быть исключена необходимость перебора всего множества путей поиска, и, во-вторых, построение пространства задачи в виде ряда подпространств с минимальными взаимосвязями или без взаимосвязей между ними, в результате этого каждая из подзадач может быть решена независимо от решения последующих задач.

Теоретическая и практическая ценность работы. Предложенный в диссертационной работе подход к управлению активацией на объектном уровне и на метауровне и ряд механизмов, основанных на этом подходе являются особенно эффективными для решения тех задач, для которых характерна значительная степень плохой структурированности, вытекающей либо из природы ПО или из проблем, связанных с постепенным построением больших систем.

В результате работы получены концептуальная и формальная модель ПО - стратегического планирования, которая относится к плохоструктурированным областям. Для нее характерно принятие решения на основе запутанных фактов и постоянное влияние субъективного фактора на принятие решения. В большинстве таких случаев именно субъективный фактор является определяющим фактором для принятия решения. Созданная база знаний имеет метауровневую структуру, позволяющую использовать одновременно стратегии принятия решений различных уровней иерархии. Правила и метаправила верхних уровней системы содержат знания по процедурам принятия решения, которые опираются на результатах новейших аналитических методов в управлении и в планировании.

Преимуществом использования такой ЭС, в частности, в коммерческих фирмах является то, что она обеспечивает менеджеру работу с моделями оценки показателей деятельности фирмы, предупреждая при этом об опасности использования не соответствующей модели оценки для принятия решения. Таким образом совместная работа менеджера с ЭС в процессе анализа различных альтернатив стратегии фирмы снижает риск принятия невыгодного решения.

Предлагаемый механизм обеспечивает значительную экономию ресурсов: экономию приложения, экономию механизмов и экономию представления знаний. Под экономией приложения имеется в виду, что предлагаемые идеи могут быть одинаково применены на разных уровнях иерархии метаправил. Понятия управление активацией посредством использования фреймов для организации и вызова наборов производционных правил, использование общего механизма логического вывода и эксплицитного представления знания о стратегии одинаково полезны на всех уровнях и могут быть использованы на всех уровнях без необходимости изменения базового концепта.

Под экономией механизмов имеется в виду, что используемые для реализации этих идей механизмы необходимо разработать лишь один раз, а затем их можно будет применять в нескольких различных целях. Механизм вывода, используемый на метауровне для решения проблемы выбора подходящей стратегии принятия решения представляет собой тот же самый механизм вывода, который на объектном уровне используется для решения задачи о выборе, например, метода оценки возможностей фирмы.

Использование одного и того же интерпретатора как на объектном уровне, так и на метауровне обеспечивает, кроме того, определенные чисто эстетические преимущества при представлении знаний в базе.

Под экономией представления знаний подразумевается то, что

понятие знание на метауровне делает возможным неоднократное и разноплановое использование одного и того же тела знания. Правила на одном уровне иерархии, например, используются для управления активацией правил на более низком уровне. Эти правила являются одновременно "данными" для правила на более высоком уровне, которые анализируют их и рассуждают о них.

Представление информации об управлении активацией в виде эксплицитной конструкции программного уровня позволяет обеспечить большую прозрачность системы для пользователя, а также большую простоту внесения изменений. Представление этой информации в виде конструкции на уровне программы (вместо ее включения в код интерпретатора) позволяет применить базовый концепт стратегии на всех уровнях иерархии: знание о стратегии на одном уровне выступает в качестве данных для стратегии более высокого уровня.

Следует, однако, отметить, что представление метауровневого знания, основанное на правилах, хотя и обеспечивает некоторые преимущества при кодировании относительно небольших, модульных блоков знания и в силу своих декларативных возможностей позволяет получать эксплицитное представление стратегических знаний, оно недостаточно приспособлено для выражения более крупных и сложных конструкций. Проектирование хорошего языка описания стратегии до сих пор остается нерешенным вопросом.

Апробация результатов работы. Работа по созданию системы находится на этапе исследовательского прототипа. По этой причине в основном все экспериментальные работы были направлены на выбор самой подходящей комбинации способов для представления стратегий принятия решения и построения метауровневой структуры базы знаний.

В настоящее время имеется небольшой опыт работы, чтобы утверждать о достаточной эффективности использованного подхода. Правда, успешное применение уже существующих ЭС, основанных на знаниях и имеющих метауровневую структуру принятия решения позволяет подтверждать перспектив предлагаемого подхода, а также позволяет сделать следующее предположение о том, что если большой запас проблемно-ориентированных знаний эффективен на объектном уровне, то он вполне может оказаться эффективным и на метауровне. С другой стороны, разработка данного прототипа является апробацией пригодности использования системы извлечения знаний для создания баз знаний с метауровневой структурой принятия решения, а также показывает возможность использования единого механизма, основанного на гибридной архитектуре данной системы извлечения знаний для представления знаний объектного уровня и метауровневого знания.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в печатных работах, указанных в конце автореферата.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, основного списка использованной литературы, содержащего 104 наименования и двух приложений. Имеются таблицы и рисунки.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении определяется место проблемы структурирования стратегических знаний и знаний по управлению и их формализации среди важнейших и недостаточно исследованных аспектов теории и практики ИИ. Рассматриваются основные трудности, которые возникают в процессе создания ЭС. Определяется главная цель проводимых в рамках диссертации исследований. Дается объяснение научной новизны представленной работы. Приводится краткое содержание каждой из глав.

В первой главе изучаются и излагаются общие теоретические и методологические аспекты Инженерии знаний как самого молодого направления исследований в области ИИ. Рассмотрены основные этапы разработки ЭС с акцентом на активную роль инженера по знаниям в ходе процесса приобретения знаний от эксперта. Процесс приобретения знаний включает следующие этапы: извлечение, структурирование и формализация знаний. Предложена методология структурного анализа знаний, которая проиллюстрирована на примере прототипа ЭС STRAMAG.

В § 1.1 сформулированы определение ИИ как науки и определение Инженерии знаний как научного направления исследований в области ИИ, рассмотрены основные элементы и парадигмы ИИ. Изучен значительный объем работ известных специалистов по ИИ.

В § 1.2 дано определение знания как основного компонента ЭС, рассмотрены и обсуждены методологические аспекты процесса приобретения знаний. Приводится математическое описание расширенной операциональной модели для ПО, позволяющей учитывать вклад, вносимый инженером по знаниям в последнюю интерпретацию ПО. Инженер по знаниям, работая со знаниями, полученными от эксперта, интерпретирует эту информацию в зависимости от его опыта по созданию ЭС, от его восприятия ПО, таким образом он вносит свой вклад в модель ПО, которая формализуется в базе знаний ЭС.

§ 1.3 посвящен вопросам Теории принятия решений, в частности вопросам, имеющим прямое отношение к интеллектуальной целенаправленной деятельности эксперта в процессе принятия решения. Дано описание процедуры формирования дерева целей для решения плохо структурированных задач и ее применение в инженерии знаний для разработки управляющей структуры принятия решения в ЭС. Рассмотрен процесс построения и использования ЭС как процесс моделиро-

вания на вычислительной машине эвристических стратегий вывода, с помощью которых эксперт принимает решение. В центре внимание стоит вопрос о том, каким образом более целесообразно следует учитывать влияние субъективного фактора для принятия решения.

Во второй главе рассмотрены общие вопросы, связанные с метаправилами, метарассуждениями и будущие направления исследований в данной области. Данная глава служит теоретической базой для разработки описанного в третьей главе подхода к управлению активацией правил и метаправил в рамках системы имеющей метауровневую архитектуру принятия решения. Этот подход служит основой для создания базы знаний в конкретной ПО.

В § 2.2 излагаются общие проблемы создания архитектуры метауровня. Проводится подробный анализ конкретного подхода с использованием метарассуждений для построения интеллектуальных систем с ограниченными вычислительными ресурсами. Этот подход получил развитие в последнее время и основывается на принципе "предельного ограничения вычислительных ресурсов". Введены понятия "рациональный агент" и "полезность выполнения вычислительного действия". Понятие "рациональный агент" используется для оценки влияния предельных вычислительных ресурсов на работу системы в целом. Под "рациональным агентом" имеется в виду субъект, принимающий решение о выполнении действий. Выбор верных действий предполагает рассуждение о об их исходе и полезности. Полезность вычислительного действия должна определяться его влиянием на окончательный выбор действия агента в реальном мире.

В § 2.3 рассмотрены важные вопросы о принятии решения на метауровне с точки зрения Теории принятия решения и концепции оптимальности выполнения вычислительных действий. Обращение к концепции оптимальности выполнения вычислительных действий имеет место тогда, когда рассматриваемая система имеет возможность вы-

бора из числа имеющихся вычислений, каждое из которых может дать решение или повлиять на принятие окончательного решения. Вычислительные действия могут меняться в зависимости от таких параметров как: затраченного времени, качества выданного решения, гарантии предоставления адекватного решения, а также - полезности частичного вычисления в случае прерывания процесса.

В третьей главе предоставлены теоретические и практические результаты проводимых в первых двух главах исследований. Предложен подход к управлению активацией правил и метаправил. Развита концепция о преимуществе использования эксплицитной формы представления стратегических знаний и знаний по управлению на метауровне. Приводится инженерная реализация предложенного подхода, спроектированная на основе системы извлечения знаний с гибридной архитектурой представления, которая основывается на взаимосвязи продукционных правил и фрейм-ориентированных структур. Использование предложенного общего механизма вывода для решения задач на объектном уровне и для принятия решения на метауровне обеспечивает значительную экономию ресурсов: экономию предложения, экономию механизмов и экономию представления знаний.

В § 3.1 излагаются основы подхода к управлению вызовом контекстно-зависимых правил объектного уровня и предметно-зависимых метаправил по управлению активацией. Предложен подход к управлению вызовом, основанный на трех следующих принципах:

- владение метауровневого знания для управления вызовом знаний ПО, т.е. активацией правил объектного уровня, в данном случае речь идет о метауправлении;
- использование единого механизма вывода как для решения задач на объектном уровне, так и для рассуждения относительно управ-

ления активацией на метауровне;

- использование эксплицитного представления предметно-зависимых контрольных стратегий вывода на метауровне.

§ 3.2 посвящен анализу эксплицитного способа представления стратегических знаний и знаний по управлению. В работе предполагается, что эксплицитная форма представления более подходяща для описания контрольных стратегий вывода на метауровне. Явное представление метазнаний по управлению, воплощенных на метаправилах, позволяет создать систему, поведение которой будет более прозрачным и менее подверженным ошибкам. Проводится анализ возможности фрейм-ориентированных структур для управления набором продукционных правил, т.к. они позволяют организовать правила на небольшие управляемые модули путем обеспечения средств организации и индексирования модульных наборов правил по назначению и по смыслу. Кроме того, представление с помощью фреймов обеспечивает и другие преимущества, связанные непосредственно с тем, что один и тот же объект - метаправила по управлению активацией - является одновременно механизмом управления и структурой данных, которая, в свою очередь, анализируется критериями на следующем, более высоком уровне.

В § 3.3 приводится один из возможных вариантов и способов реализации описанного подхода с использованием фреймов для управления набором контекстно-зависимых правил объектного уровня и предметно-зависимых метаправил.

В заключении отмечены основные выводы, полученные в результате проводимых в рамках диссертации исследований о полезности использования описанного подхода для представления знаний и проектирования баз интеллектуальных систем для плоскоструктурированных областей знаний, о возможности значительной экономии ресурсов и о возможности создания отдельной базы знаний, в кото-

рой будут храниться знания по управлению. Также отмечаются дальнейшие перспективы развития подхода.

В приложении I приводится описание процесса разработки прототипа ЭС с использованием метарассуждений для управления активацией, а также подробное описание характеристик ПО, для которой была построена база знаний. Дается описание сложного процесса структурирования знаний объектного уровня и процесса структурирования и моделирования контрольных стратегий активации правил в контексте созданной меауровневой структуры принятия решения на метауровне. Имеются диаграммы и рисунки, которые иллюстрирует поэтапный процесс структурирования и создания пирамиды знаний для ПО.

В приложении II приводится фрагмент базы знаний исследовательского прототипа ЭС STRAMAG.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.

По теме диссертации написаны или опубликованы следующие работы :

- 1 - Ilizastigui I. Ageenko R.I. Los sistemas expertos de la Inteligencia Artificial y sus aplicaciones en la medicina y la psicologia. Boletin de Psicologia. Hosp. Psiquiatrico de la Habana, N 3, vol IX, 1986.
- 2 - Cuervo M. Ilizastigui I. Sistema experto para el pronostico del transporte. Memorias del Congreso de Informatica-87, La Habana, 1987.
- 3 - Ilizastigui I. Estructura de las bases de conocimiento de los sistemas expertos. Ponencia en la Mesa Redonda " Programacion y Psicologia". la Habana, 1987.

- 4 - Илиастиги И. Экспертные системы и методы ИИ. Отчет по НИР - 89. Анализ среды автоматизированного проектирования, гл. 4, УПМ, Ульяновск, 1989.
- 5 - Ilizastigui I. Psychological aspects of the less of information during the acquisitions of knowledge for expert systems. Bulletin of psychology, N 3, vol XV, La Habana, 1992.
- 6 - Ilizastigui I. Psychological problems in the acquisition of knowledge for expert systems. Bulletin of psychology, N 3, vol XV, La Habana, 1992.
- 7 - Ilizastigui I. Metareasoning: building up of structures for the control of expert systems. Bulletin of psychology, N 1, vol XVI, La Habana, 1993 (в печати).



Подписано к печати 23.12.86 Зак. 3486 тир. 100  
размножено ГВЦ Минстата Украины 001

И. В. Стоянов  
АН УРСР



469308

AB 26.452