ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ
(Вычислительные системы)
1988 год Выпуск 126

УДК 681.3:007.62

МЕТОДЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПИРАМИДАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Л.В.Хоменко

Разработка средств автоматизации процесса формирования знаний является перспективным направлением в развитии экспертных систем и систем автоматизации научных исследований [3,8]. В данной работе рассматриваются некоторые вопросы, связанные с разработкой средств формирования знаний (точнее, понятий как элементов системы знаний) в экспертных системах и автоматизированных системах научных исследований. Формирование понятий должно осуществляться на основе структур, используемых для представления знаний, как правило, с помощью семантических сетей.

Работа посвящена также методам параллельного формирования путем индуктивного обучения (анализа объектов обучающей выборки) в семантических сетях, организованных в виде пирамидальных сетей.

Слово "объект" понимается широко. Это может быть отдельный физический объект или их сочетание с присущими им определенными свойствами, наконец, конкретная реализация некоторого явления или процесса.

Проблема формирования понятий имеет много аспектов рассмотрения, что порождает разнообразие постановок задач и под -

ходов в ее разработке. В данной работе основное внимание уделено методам формирования понятий путем обобщения по признакам.

Пусть задано множество объектов одного класса (класса V) и множество объектов остальных классов $(\overline{V})$. Классы объектов выделяются исследователем по некоторым свойствам объектов. Причем для каждого объекта значения характеризующих его признаков определены. Для множества объектов обучающей выборки дополнительно известен признак, определяющий принадлежность объекта к одному из классов: V или $\overline{V}$.

Объект обучающей выборки может быть описан как единое целое, без расчленения на составные части. В этом случае говорят об описании объекта в терминах простых признаков. Последние могут быть измерены в разнотипных шкалах.

В других случаях (например,при описании ситуаций в системах планирования решений) объект описывается с точки зрения его составных частей и отношений между ними, т.е. вскрывается внутренняя структура объекта. В этом случае говорят о структурном описании объекта в терминах составных (ситуативных) признаков [3].

Понятием множества V $(\overline{V})$ объектов будем называть обобщенное определение множества V $(\overline{V})$ объектов, включающее повторяющиеся признаки объектов и отображающее характерные для класса V $(\overline{V})$ объектов логические связи между признаками [1-3].

Задача индуктивного формирования понятий состоит в том, чтобы путем анализа объектов обучающей выборки сформировать понятия о классах объектов V и $\overline{V}$.

Проведенный анализ структур данных для решения задачи формирования понятий показал целесообразность выбора структур данных в виде пирамидальной сети благодаря их свойствам ассоциативности и иерархичности.

Пирамидальная сеть [3] - ациклический ориентированный граф, в котором нет вершин со степенью захода 1. Одна из разновидностей пирамидальных сетей - α-пирамидальная сеть - состоит из ассоциативных вершин (вершин со степенью исхода и захода больше 1), рецепторов (вершин с 0-й степенью захода), главных вершин (вершин с 0-й степенью исхода) и служит для запоминания информации об объектах, представленных набором не - упорядоченных признаков. Каждый объект представлен в сети своей пирамидой (подграфом сети, включающим главную вершину и все вершины, из которых она достижима).

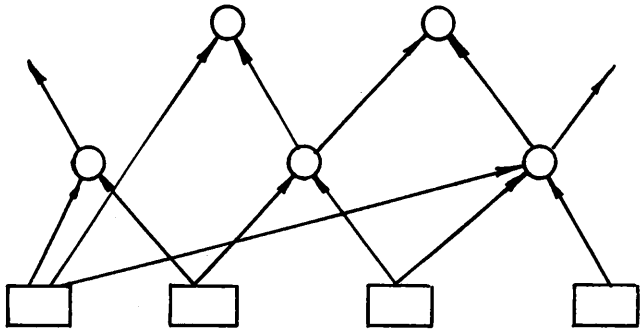
Важными структурными характеристиками вершин пирамидальных сетей являются весовые характеристики вершин [7], одна из разновидностей которых отображает число пирамид объектов класса V $(\bar{V})$, которым принадлежит рассматриваемая вершина.

В экспертных системах, например в системе APROS [3], основанной на пирамидальной сети, при формировании определений классов ситуаций и классов задач в качестве объектов обучающей выборки используются обобщенные описания ситуаций в терминах составных (ситуативных) признаков. Каждый ситуативный признак представляет собой обобщенное описание конкретного объекта (используемого при описании конкретных ситуаций) в терминах его свойств, состояний и связей.

На рис. 1 показан фрагмент пирамидальности сети, соответствующий обобщенному описанию ситуации, связанной со взаимным расположением некоторого объекта X и трех других объектов: X_1, X_2 и X_3.

Рецепторы пирамидальной сети соответствуют ситуативным признакам. Ассоциативные вершины соответствуют пересечениям обобщенных ситуаций. Главные вершины соответствуют обобщенным описаниям ситуаций.

Задача формирования понятий на основе пирамидальной сети, построенной для объектов обучающей выборки, состоит в вы-



Объект X_1 находится на X	Объект X находится на X_2	Объекты X_2 и X расположены рядом	Объекты X и X_3 расположены рядом

Рис. 1

делении на пирамидальной сети минимального числа помеченных вершин графа (вершин классов V и $\overline{V}$, обозначим их соответственно через $+K$ и $-K$), достаточного для правильного (или с наперед заданной ошибкой) распознавания объектов обучающей выборки с помощью некоторого правила распознавания [7].

На основе пирамидальной сети разработаны алгоритмы параллельного формирования понятий А3, А4, А5. Приведем краткое описание алгоритма А3 [7].

Алгоритм реализует итеративный процесс обобщения, позволяющий строить приближения к искомым понятиям. На каждом шаге выделяются все более уменьшающиеся множества K-вершин. Уменьшение числа K-вершин происходит за счет замены подмножеств K-вершин определенного класса более высокого уровня на отдельные K-вершины того же класса более низкого уровня. Окончательное множество $+K$ (K)-вершин соответствует минимальному числу K-вершин и отображает понятие о классе объектов V $(\overline{V})$.

На рис.2 изображен фрагмент пирамидальной сети, который демонстрирует работу алгоритма параллельного формирования понятий А3. Буквами V $(\bar{V})$ обозначены главные вершины пирамид объектов класса V $(\bar{V})$. K-вершины класса V $(\bar{V})$, выделенные на последовательных стадиях обобщения, обозначены знаками "+" или "-" в вершинах, а также в круглых и квадратных скобках рядом с вершинами. Окончательное множество K-вершин содержит минимальное число K-вершин и включает $+K$-вершину 1, $-K$-вершины 2, 3, 4.

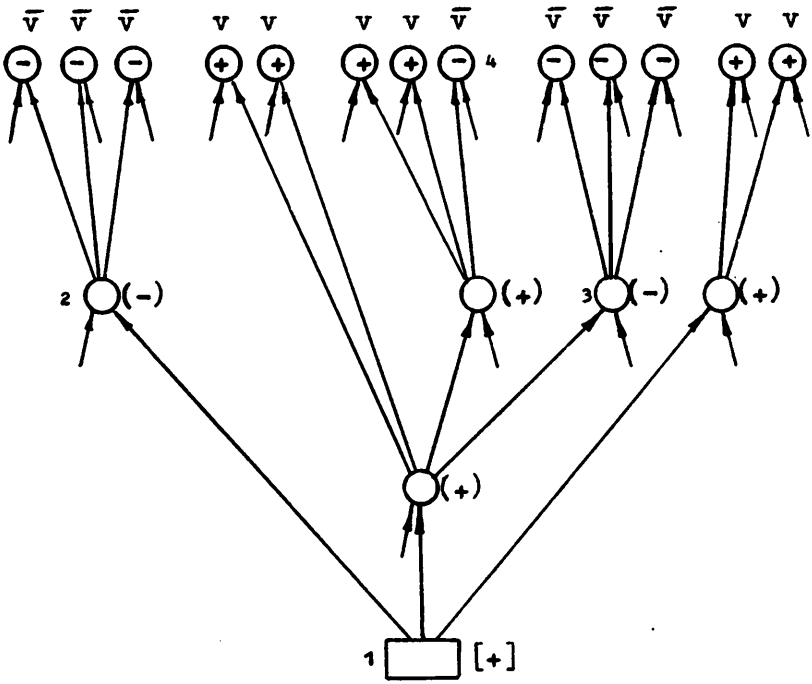


Рис. 2

Алгоритмы А4, А5 являются модификациями алгоритма А3. По сравнению с алгоритмом А3 они дополнены специальными средства-

ми анализа пирамидальной сети, которые целесообразно применять на определенных ее видах.

Для алгоритмов А3, А4 характерно следующее свойство: от шага к шагу в ходе их работы строятся все более общие понятия. Однако есть виды пирамидальных сетей, в которых можно добиться увеличения степени обобщения (под степенью обобщения понятия класса объектов V ($\overline{V}$) подразумевается отношение числа объектов обучающей выборки класса V ($\overline{V}$) к числу выделенных $+K$ ($-K$)-вершин) понятия об одном классе объектов ценой уменьшения степени обобщения понятия о другом классе объектов. Такой процесс реализуется в алгоритме с корректировкой (А5).

Алгоритмы А3, А4, А5 характеризуются принципом параллельного анализа объектов обучающей выборки, т.е. при сборе информации о принятии решения прямо или косвенно учитываются все объекты.Этого удается добиться благодаря одновременному анализу всех пирамид объектов по уровням и группам связанных вершин.

Для алгоритмов характерно сведение анализа сложных (с большим числом вершин, принадлежащих одновременно пирамидам объектов класса V и $\overline{V}$) подграфов пирамидальной сети к последовательному анализу простых (как правило, с одной вершиной или без них, принадлежащих одновременно пирамидам объектов класса V и $\overline{V}$) подграфов пирамидальной сети. Такой процесс вместе с учетом весовых характеристик вершин является эффективным средством для формирования более обобщенных понятий.

Выделим еще одну важную особенность метода параллельного формирования понятий. Данные методы параллельны по своей природе и поэтому допускают мультипроцессирование (по группам связанных вершин), что может значительно повысить скорость обработки информации.

Как показали теоретический анализ [7] и экспериментальное исследование, алгоритм А3 является эффективным, т.е. на большинстве разновидностей пирамидальных сетей алгоритм формирует минимальное число K-вершин.

Алгоритмы А4, А5 позволяют по сравнению с алгоритмом А3 повысить степень обобщения формируемого понятия на отдельных видах пирамидальных сетей.

По сравнению с методами последовательного формирования понятий на основе пирамидальных сетей А1, А2 [3,6], методы параллельного формирования понятий позволяют строить понятия с большей степенью обобщения на большинстве разновидностей пирамидальных сетей [7].

Преимущества разработанных методов параллельного формирования понятий по сравнению с другими подобными методами, например методами Ханта [2], Бонгарда [1], ТЭМП, CORAL, DW [5], КОРА, состоят:

а) в возможности реализации их в семантической сети, организованной в виде пирамидальной сети;

б) в сокращении переборов больших объемов данных, что открывает путь применению данных методов для решения прикладных задач;

в) в проведении структурного анализа данных, симметричности отбора признаков, адекватности используемой для принятия решения информации, что в результате приводит к выбору наиболее существенных сочетаний значений признаков и к построению в ряде случаев более общих понятий.

Применение метода параллельного формирования понятий. Методы параллельного формирования понятий можно эффективно использовать в экспертной системе при автоматизации формирования баз знаний, точнее, классов ситуаций, с которыми связаны определенные действия. Понятия классов ситуаций соответствуют левой и правой частям продукций, с помощью которые описываются действия в системах решения задачи.

Разработанные методы можно также эффективно использовать для формирования определений классов задач, точнее обобщенных формулировок классов задач.

Так как задачи в экспертные системы, где развиты процессы планирования решения (типа системы APROS), поступают постепенно, то приобретает большое значение такое свойство алгоритма формирования понятий, как возможность формирования их путем последовательной корректировки обучающей выборки каждым новым объектом.

Поэтому на начальном этапе обучения, когда введенная порция обучающей выборки невелика, когда происходит накопление схем решения (схема решения образуется в результате обобщения путей решения конкретных задач и является информацией, ограничивающей область поиска путей решения задач некоторого класса [3]) и множеств задач, связанных с каждой схемой решения, т.е. задач, пути решения которых находятся с помощью данной схемы, можно применять алгоритмы последовательного формирования понятий А1, А2.

Однако свойство последовательного анализа объектов обучающей выборки, которое было достоинством на начальном этапе обучения,может стать недостатком на последующих его этапах,так как новые порции обучающей выборки могут существенным образом повлиять на ранее построенное понятие. Поясним это. Каждая ассоциативная вершина и рецепторы пирамидальных сетей, построенные ранее, но принадлежащие пирамидам новой порции объектов обучающей выборки, после введения объектов этой порции получают новые весовые характеристики для классов объектов V и $\overline{V}$. И это обстоятельство игнорировать нельзя. Если, допустим, на начальном этапе обучения вершина a была выделена с помощью алгоритмов последовательного формирования понятий в качестве $+K$-вершины (и при этом вершина a характерна для класса объектов V), то после введения новой порции объектов обучающей выборки может оказаться, что соотношение весовых характеристик изменилось на противоположное (т.е. вершина a характерна для класса объектов $\overline{V}$). В этом случае целесообразно ко-

ренным образом пересмотреть ансамбль **К**-вершин пирамид объектов, связанных с вершинами пирамид новой порции объектов об - учающей выборки.

Однако алгоритмы последовательного формирования понятий не производят (алгоритм А1 [3]) или производят частично (алгоритм А2 [6]) пересмотр ранее выделенных **К**-вершин, проводя только корректировку во вновь введенных пирамидах объектов.

Применение же алгоритмов параллельного формирования по - нятий приведет к формированию более общих понятий по сравнению с понятиями, формируемыми по алгоритмам последовательного формирования понятий за счет коренного пересмотра ансамбля **К**-вершин пирамид объектов,связанных с новой порцией объектов обучающей выборки. Алгоритмы параллельного формирования поня - тий целесообразно применять, когда введена определенная порция обучающей выборки и для большей части ассоциативных вершин и рецепторов соотношение весовых характеристик вершин стабилизировалось, т.е. не изменилось на противоположное.

Далее, при поступлении единичных объектов обучающей выборки можно использовать алгоритмы последовательного формиро - вания понятий, производя с их помощью корректировку понятия только за счет очередного объекта обучающей выборки. Если же та часть объектов обучающей выборки, на которой производилась такая "поверхностная корректировка", становится соизмеримой с предыдущей частью обучающей выборки, то с помощью алгоритмов параллельного формирования понятий можно произвести "коренную корректировку" на базе связной компоненты пирамидальной сети, в которой находятся пирамиды введенных объектов обучающей выборки. Работа по "коренной корректировке" сродни работе по глубинному "переосмыслению" ранее имеющегося материала. Если такое "переосмысление" делать каждый раз при введении новой порции обучающей выборки затруднительно, то его следует делать тогда, когда для большей части ассоциативных вершин и рецепто-

ров соотношение весовых характеристик стабилизируется. Тогда периоды "поверхностной корректировки" (с помощью алгоритмов последовательного формирования понятий А1, А2) будут сменяться периодами "переосмысления" всего материала ценой "коренной корректировки" (с помощью алгоритмов параллельного формирования понятий), позволяющей получать более общие понятия.

Применение методов параллельного формирования понятий в экспертной системе (типа системы APROS) позволит повысить адаптационные возможности системы к предметной области и классу задач благодаря формированию более точных определений классов ситуаций и классов задач.

Метод параллельного формирования понятий А3 реализован в программной системе индуктивного формирования понятий "Анализатор-ЕС", разработанной в Институте кибернетики им.В.М.Глушкова АН УССР [4].

Система "Анализатор-ЕС" может использоваться в составе экспертной системы для решения задач обнаружения закономерностей, обучения правилам классификации, прогнозирования, диагностики.

Схема системы приведена на рис.3. Она включает следующие блоки:

- блок базы данных и знаний. Содержит данные об объектах обучающей выборки и знания о классах объектов в виде понятий. Эта информация представлена в виде семантической сети, построенной на основе пирамидальной сети;

- блок формирования знаний. Осуществляет формирование понятий классов объектов, которые отображены в пирамидальных сетях в виде множеств K-вершин;

- блок сформированных понятий, которые могут использоваться для распознавания новых объектов, не участвующих в обучении (блок принятия решения);

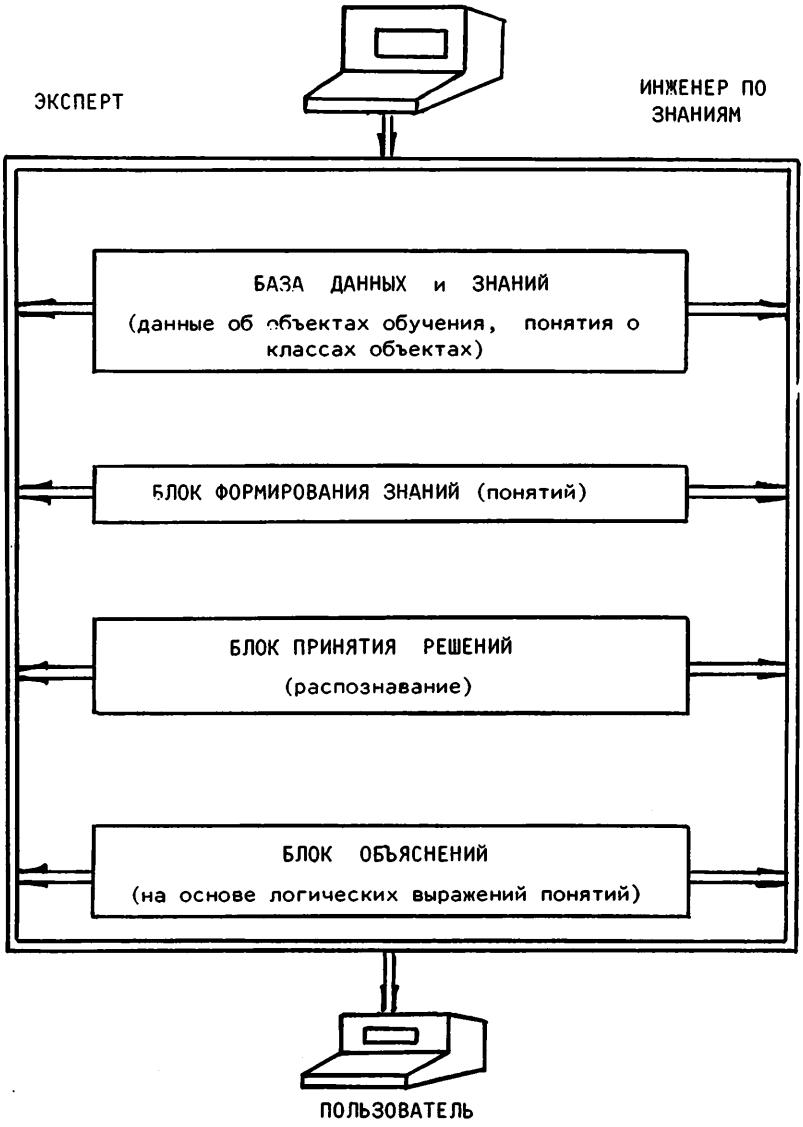


Рис.3. Схема системы "Анализатор-ЕС"

- блок понятий о классах объектов, которые могут быть представлены в виде логических выражений и использоваться для получения ответов на вопросы: например, что такое "молекула" (если система обучалась этому понятию)? а также для получения объяснения, почему принято то или иное решение об отнесении нового объекта к тому или иному классу объектов.

Система "Анализатор-ЕС" применялась для обнаружения закономерностей и прогнозирования существования химических соединений с определенными свойствами для выбора оптимальных параметров электрогидравлических установок, обеспечивающих заданный процесс формирования пробоя, для описания и прогнозирования существования классов рецептов резиносмесей с заданными свойствами [4].

Литература

1. БОНГАРД М.М. Проблемы узнавания.-М.:Наука,1967.-320 с.
2. ХАНТ Э., МАРТИН Дж., СТОУН Ф. Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине. -М: Мир, 1970. - 301 с.
3. ГЛАДУН В.П. Планирование решений. -Киев: Наук.думка, 1987. - 168 с.
4. ГЛУШКОВ В.М., СТОГНИЙ А.А.,БИБА И.Г. и др.Системы автоматизации творческих процессов в научных исследованиях,проектировании и задачах управления роботами //Кибернетика.-1981. -№6. -С. 110-115.
5. ЛБОВ Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. -Новосибирск: Наука, 1981. - 161 с.
6. ВАЩЕНКО Н.Д. Формирование понятий в семантической сети //Кибернетика. - 1983. - №2. -С. 101-107.
7. ХОМЕНКО Л.В. Методы обнаружения закономерностей на основе растущих пирамидальных сетей //Обнаружение эмпирических закономерностей. - Новосибирск. - 1984. -Вып. 102: Вычислительные системы. -С. 3-10.
8. Экспертные системы. Принципы работы и примеры /Под ред. Р.Форсайта. -М.: Радио и связь, 1987. - 224 с.

Поступила в ред.-изд.отд.

28 декабря 1987 года