Методы поиска решений

Курс «Интеллектуальные информационные системы»

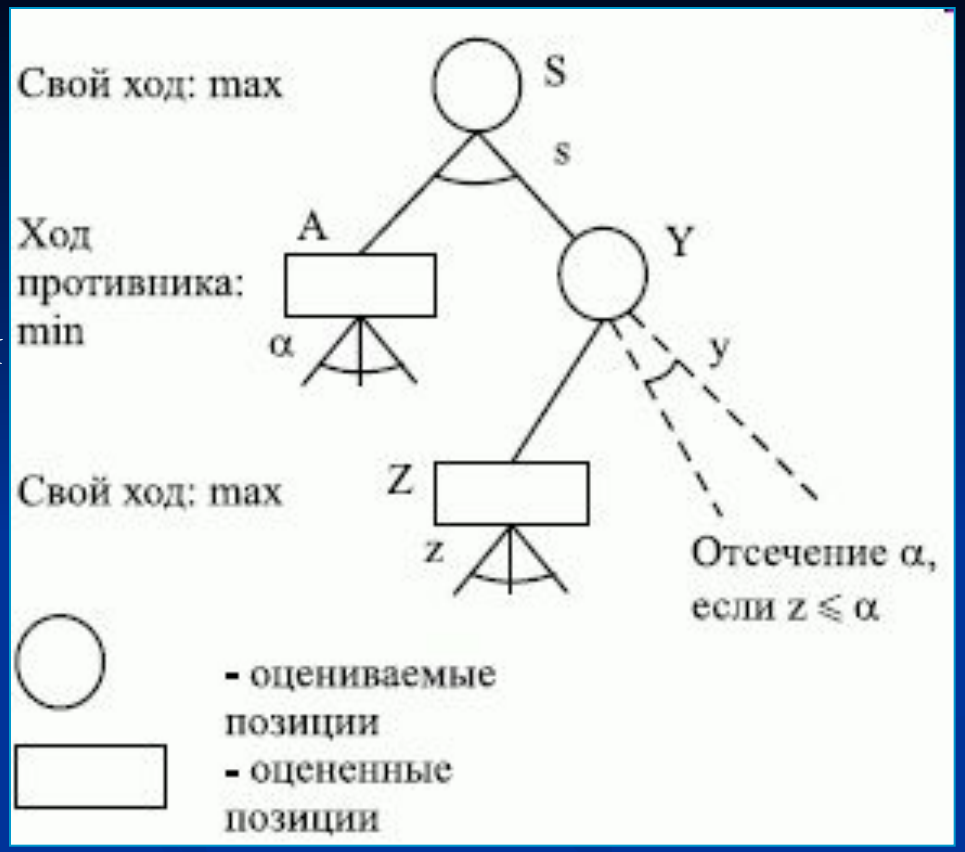
Лекция 8

Альфа-бета-процедура

Теоретически, это эквивалентная минимаксу процедура, с помощью которой всегда получается такой же результат, но заметно быстрее, так как целые части дерева исключаются без проведения анализа. В основе этой процедуры лежит идея Дж. Маккарти об использовании двух переменных, обозначенных α и β (1961 год).

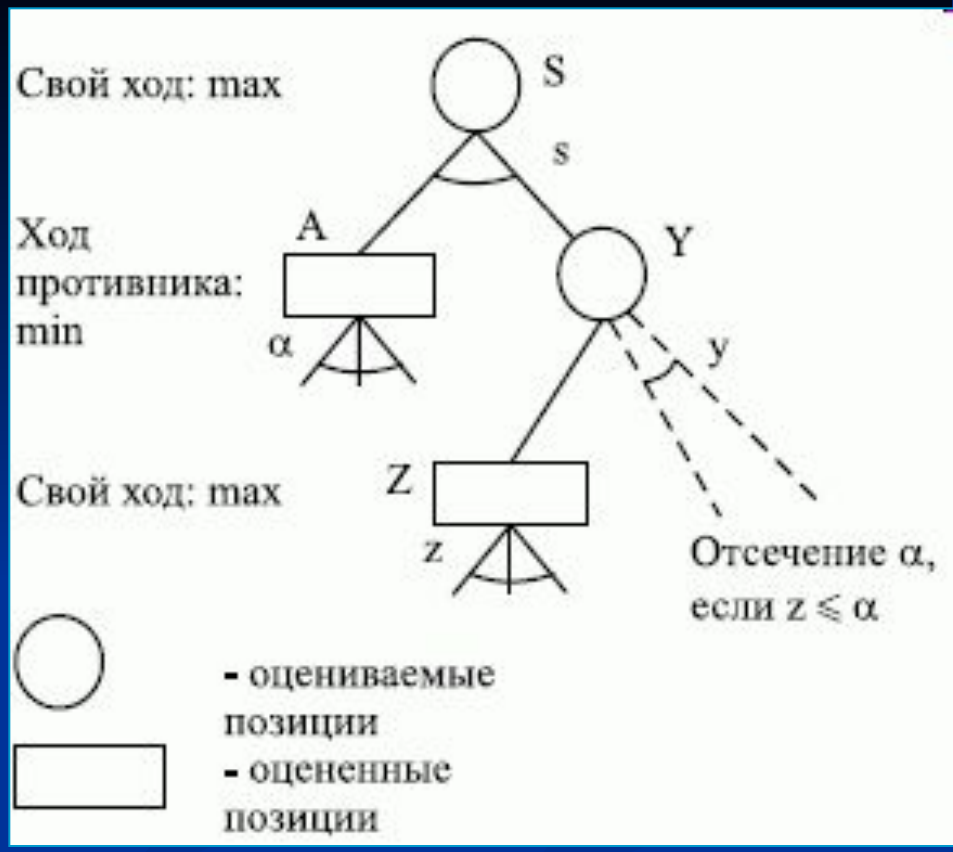
Основная идея метода состоит в сравнении наилучших оценок, полученных для полностью изученных ветвей, с наилучшими предполагаемыми оценками для оставшихся. Можно показать, что при определенных условиях некоторые вычисления являются лишними. Рассмотрим идею отсечения на примере

Предположим, позиция A полностью проанализирована и найдено значение ее оценки. Допустим, что один ход из позиции Y приводит к позиции Z, оценка которой по методу минимакса равна z. Предположим, что $z \leq \alpha$. После анализа узла Z, когда справедливо соотношение $y \leq z \leq \alpha \leq s$, ветви дерева, выходящие из узла Y, могут быть отброшены (альфа-отсечение).



Если мы захотим опуститься до узла Z, лежащего на уровне произвольной глубины, принадлежащей той же стороне, что и уровень S, то необходимо учитывать минимальное значение оценки β, получаемой на ходах противника.

Отсечение типа β можно выполнить всякий раз, когда оценка позиции, возникающая после хода противника, превышает значение β. Алгоритм поиска строится так, что оценки своих ходов и ходов противника сравниваются при анализе дерева с величинами α и β соответственно. В начале вычислений этим величинам присваиваются значения +∞ и -∞, а затем, по мере продвижения к корню дерева, находится оценка начальной позиции и наилучший ход для одного из противников.



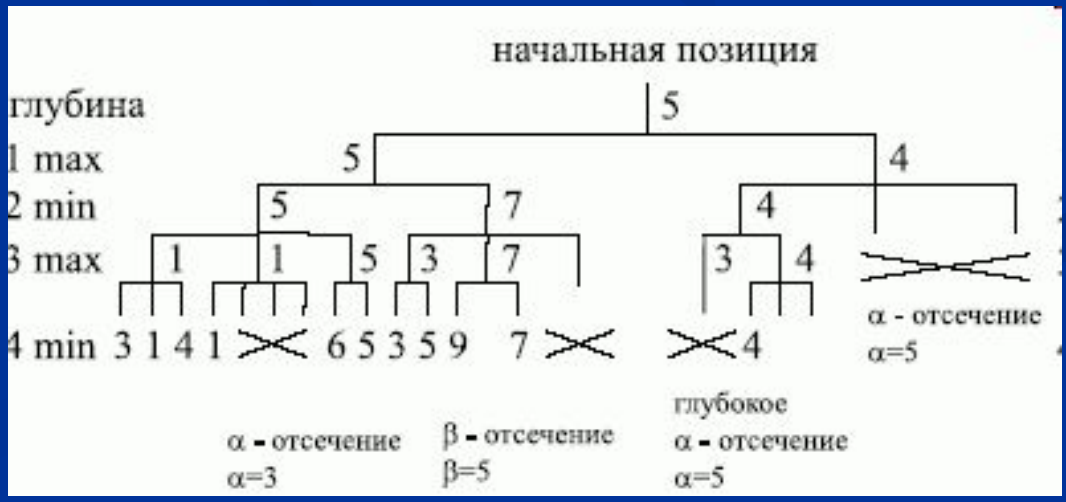
Правила вычисления α и β в процессе поиска рекомендуются следующие:

- у MAX вершины значение α равно наибольшему в данный момент значению среди окончательных возвращенных значений для ее дочерних вершин;
- у MIN вершины значение β равно наименьшему в данный момент значению среди окончательных возвращенных значений для ее дочерних вершин.

Правила прекращения поиска:

- можно не проводить поиска на поддереве, растущем из всякой MIN вершины, у которой значение β не превышает значения α всех ее родительских MAX вершин;
- можно не проводить поиска на поддереве, растущем из всякой MAX вершины, у которой значение α не меньше значения β всех ее родительских MIN вершин.

- На рис. показаны α -β отсечения для конкретного примера. Таким образом, α -β- алгоритм дает тот же результат, что и метод минимакса, но выполняется быстрее.



- Использование алгоритмов эвристического поиска для поиска на графе И, ИЛИ выигрышной стратегии в более сложных задачах и играх (шашки, шахматы) не реален. По некоторым оценкам игровое дерево игры в шашки содержит 10^{40} вершин, в шахматах 10^{120} вершин. Если при игре в шашки для одной вершины требуется 1/3 наносекунды, то всего игрового времени потребуется 10^{21} веков. В таких случаях вводятся искусственные условия остановки, основанные на таких факторах, как наибольшая допустимая глубина вершин в дереве поиска или ограничения на время и объем памяти.
- Многие из рассмотренных выше идей были использованы А. Ньюэллом, Дж. Шоу и Г. Саймоном в их программе GPS. Процесс работы GPS в общем воспроизводит методы решения задач, применяемые человеком: выдвигаются подцели, приближающие к решению; применяется эвристический метод (один, другой и т. д.), пока не будет получено решение. Попытки прекращаются, если получить решение не удается.
- Программа STRIPS (STanford Research Institut Problem Solver) вырабатывает соответствующий порядок действий робота в зависимости от поставленной цели. Программа способна обучаться на опыте решения предыдущих задач. Большая часть игровых программ также обучается в процессе работы. Например, знаменитая шашечная программа Самюэля, выигравшая в 1974 году у чемпиона мира, "заучивала наизусть" выигранные партии и обобщала их для извлечения пользы из прошлого опыта. Программа HACHER Зуссмана, управляющая поведением робота, обучалась также и на ошибках.

Методы поиска решений на основе исчисления предикатов

- Семантика исчисления предикатов обеспечивает основу для формализации логического вывода. Возможность логически выводить новые правильные выражения из набора истинных утверждений очень важна. Логически выведенные утверждения корректны, и они совместимы со всеми предыдущими интерпретациями первоначального набора выражений.

В исчислении высказываний основным объектом является переменное высказывание (предикат), истинность или ложность которого зависит от значений входящих в него переменных. Так, истинность предиката "x был физиком" зависит от значения переменной x. Если x - П. Капица, то предикат истинен, если x - М. Лермонтов, то он ложен.

На языке исчисления предикатов утверждение $\forall x(P(x) \supset Q(x))$ читается так: "для любого x если P(x), то имеет место и Q(x)". Иногда его записывают и так: $\forall\ x\ (P(x) \rightarrow Q(x))$. Выделенное подмножество тождественно истинных формул (или правильно построенных формул - ППФ), истинность которых не зависит от истинности входящих в них высказываний, называется ***аксиомами***.

В исчислении предикатов имеется множество правил вывода. В качестве примера приведем классическое правило отделения, или **modus ponens** :

$$(A, A \rightarrow B) / B$$

которое читается так "если истинна формула А и истинно, что из А следует В, то истинна и формула В". Формулы, находящиеся над чертой, называются посылками вывода, а под чертой - заключением. Это правило вывода формализует основной закон дедуктивных систем: из истинных посылок всегда следуют истинные заключения. Аксиомы и правила вывода исчисления предикатов первого порядка задают основу формальной дедуктивной системы, в которой происходит формализация схемы рассуждений в логическом программировании.

Другие правила вывода:

Modus tollendo tollens : Если из A следует B и B ложно, то и A ложно.

Modus ponendo tollens : Если A и B не могут одновременно быть истинными и A истинно, то B ложно.

Modus tollendo ponens : Если либо A, либо B является истинным и A не истинно, то B истинно.

Решаемая задача представляется в виде утверждений (аксиом) f_1, F_2... F_n исчисления предикатов первого порядка. Цель задачи B также записывается в виде утверждения, справедливость которого следует установить или опровергнуть на основании аксиом и правил вывода формальной системы. Тогда решение задачи (достижение цели задачи) сводится к выяснению логического следования (выводимости) целевой формулы B из заданного множества формул (аксиом) f_1, F_2... F_n. Такое выяснение равносильно доказательству общезначимости (тождественно-истинности) формулы

$$f_1 \& F_2 \& \ldots \& F_n \rightarrow B$$

или невыполнимости (тождественно-ложности) формулы

$$f_1 \& F_2 \& \ldots \& F_n \& \neg B$$

- Из практических соображений удобнее использовать доказательство от противного, то есть доказывать невыполнимость формулы. На доказательстве от противного основано и ведущее правило вывода, используемое в логическом программировании, - принцип резолюции. Робинсон открыл более сильное правило вывода, чем modus ponens, которое он назвал **принципом резолюции** (или правилом резолюции). При использовании принципа резолюции формулы исчисления предикатов с помощью несложных преобразований приводятся к так называемой дизъюнктивной форме, то есть представляются в виде набора дизъюнктов. При этом под дизъюнктом понимается дизъюнкция литералов, каждый из которых является либо предикатом, либо отрицанием предиката.

Пример дизъюнкта:

$$\forall x (P(x, c1) \supset Q(x, c2)).$$

Пусть P - предикат **уважать**, c1 - **Ключевский**, Q - предикат **знать**,c2 - **история**. Теперь данный дизъюнкт отражает факт "***каждый, кто знает историю, уважает Ключевского***".

Еще один пример дизъюнкта:

$$\forall x (P(x, c1) \& P(x, c2)).$$

Пусть P - предикат **знать**, c1 - **физика**, c2 - **история**. Данный дизъюнкт отражает запрос "***кто знает физику и историю одновременно".***

- Таким образом, условия решаемых задач (факты) и целевые утверждения задач (запросы) можно выразить в дизъюнктивной форме логики предикатов первого порядка. В дизъюнктах кванторы всеобщности $\forall$, $\exists$, обычно опускаются, а связки Λ, $\neg$, заменяются на $\rightarrow$ импликацию.

Принцип резолюции

Главная идея этого правила вывода заключается в проверке того, содержит ли множество дизъюнктов R пустой (ложный) дизъюнкт. Обычно резолюция применяется с прямым или обратным методом рассуждения. Прямой метод из посылок A, A→ B выводит заключение B (правило modus ponens). Основной недостаток прямого метода состоит в его ненаправленности: повторное применение метода приводит к резкому росту промежуточных заключений, не связанных с целевым заключением. Обратный вывод является направленным: из желаемого заключения B и тех же посылок он выводит новое подцелевое заключение A. Каждый шаг вывода в этом случае связан всегда с первоначально поставленной целью. Существенный недостаток метода резолюции заключается в формировании на каждом шаге вывода множества резольвент - новых дизъюнктов, большинство из которых оказывается лишними. В связи с этим разработаны различные модификации принципа резолюции, использующие более эффективные стратегии поиска и различного рода ограничения на вид исходных дизъюнктов. В этом смысле наиболее удачной и популярной является система ПРОЛОГ, которая использует специальные виды дизъюнктов, называемых дизъюнктами Хорна.

Процесс доказательства методом резолюции (от обратного) состоит из следующих этапов:

1. Предложения или аксиомы приводятся к дизъюнктивной нормальной форме.
2. К набору аксиом добавляется отрицание доказываемого утверждения в дизъюнктивной форме.
3. Выполняется совместное разрешение этих дизъюнктов, в результате чего получаются новые основанные на них дизъюнктивные выражения (резольвенты).
4. Генерируется пустое выражение, означающее противоречие.
5. Подстановки, использованные для получения пустого выражения, свидетельствуют о том, что отрицание отрицания истинно.

Примеры применения методов поиска решений на основе исчисления предикатов.

Требуется ответить на вопрос: "Существует ли человек, живущий интересной жизнью?" В виде предикатов эти утверждения записаны во втором столбце таблицы. Предполагается, что $\forall X(smart(X)=\neg stupid(X))$ и $\forall Y(wealthy(Y)=\neg poor(Y))$. В третьем столбце таблицы записаны дизъюнкты.

Утверждения и заключение	Предикаты	Предложения (дизъюнкты)
1. Все небедные и умные люди счастливы	$\exists X(\neg poor(X) \wedge smart(X) \rightarrow happy(X))$	$poor(X) \wedge \neg smart(X)$ & $happy(X)$
2. Человек, читающий книги, - неглуп	$\forall Y (read(Y) \rightarrow smart(Y))$	$\neg read(Y)$ & $smart(Y)$
3. Джон умеет читать и является состоятельным человеком	$read(John) \wedge \neg poor(John)$	3a $read(John)$ 3b $\neg poor(John)$
4. Счастливые люди живут интересной жизнью	$\forall Z (happy(Z) \rightarrow exciting(Z))$	$\neg happy(Z) \& exciting(Z)$
5. Заключение: Существует ли человек, живущий интересной жизнью?	$\exists W(exciting(W))$	$exciting(W)$
6. Отрицание заключения	$\neg \exists W(exciting(W))$	$\neg exciting(W)$

Одно из возможных доказательств (их более одного) дает следующую последовательность резольвент:

1. ¬happy(Z)резольвента 6 и 4
2. poor(X) Λ ¬smart(X)резольвента 7 и 1
3. poor(Y) Λ ¬read(Y)резольвента 8 и 2
4. ¬read(John)резольвента 9 и 3b
5. NIL резольвента 10 и 3a

Символ NIL означает, что база данных выражений содержит противоречие и поэтому наше предположение, что не существует человек, живущий интересной жизнью, неверно.

В **методе резолюции** порядок комбинации дизъюнктивных выражений не устанавливался. Значит, для больших задач будет наблюдаться экспоненциальный рост числа возможных комбинаций. Поэтому в процедурах резолюции большое значение имеют также эвристики поиска и различные стратегии. Одна из самых простых и понятных стратегий - стратегия предпочтения единичного выражения, которая гарантирует, что резольвента будет меньше, чем наибольшее родительское выражение. Ведь в итоге мы должны получить выражение, не содержащее литералов вообще.

- Среди других стратегий (поиск в ширину (breadth-first), стратегия "множества поддержки", стратегия линейной входной формы) стратегия "множества поддержки" показывает отличные результаты при поиске в больших пространствах дизъюнктивных выражений. Суть стратегии такова. Для некоторого набора исходных дизъюнктивных выражений S можно указать подмножество T, называемое множеством поддержки. Для реализации этой стратегии необходимо, чтобы одна из резольвент в каждом опровержении имела предка из множества поддержки. Можно доказать, что если S - невыполнимый набор дизъюнктов, а S-T - выполнимый, то стратегия множества поддержки является полной в смысле опровержения.
- Исследования, связанные с доказательством теорем и разработкой алгоритмов опровержения резолюции, привели к развитию языка логического программирования PROLOG (Programming in Logic). PROLOG основан на теории предикатов первого порядка. Логическая программа - это набор спецификаций в рамках формальной логики. Несмотря на то, что в настоящее время удельный вес языков LISP и PROLOG снизился и при решении задач ИИ все больше используются C, C++ и Java, однако многие задачи и разработка новых методов решения задач ИИ продолжают опираться на языки LISP и PROLOG. Рассмотрим одну из таких задач - задачу планирования последовательности действий и ее решение на основе теории предикатов.

Задачи планирования последовательности действий

Рассмотрим ряд предикатов, необходимых для работы планировщика из мира блоков. Имеется некоторый робот, являющийся подвижной рукой, способной брать и перемещать кубики.

Рука робота может выполнять следующие задания (U, V, W, X, Y, Z - переменные).

- goto(X,Y,Z)перейти в местоположение X,Y,Z
- pickup(W)взять блок W и держать его
- putdown(W)опустить блок W в некоторой точке
- stack(U,V)поместить блок U на верхнюю грань блока V
- unstack(U,V)убрать блок U с верхней грани блока V

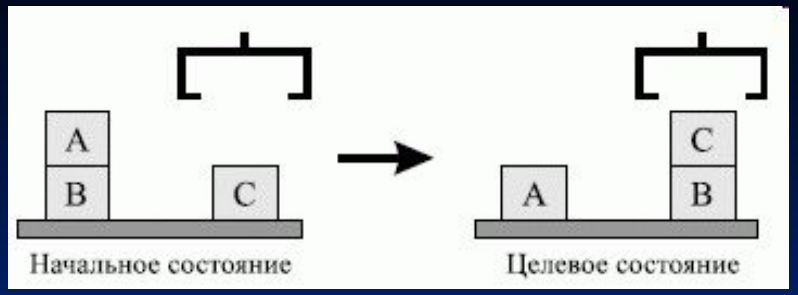
Состояния мира описываются следующим множеством предикатов и отношений между ними.

- on(X,Y)блок X находится на верхней грани блока Y
- clear(X)верхняя грань блока X пуста
- gripping(X)захват робота удерживает блок X
- gripping()захват робота пуст
- ontable(W)блок W находится на столе

Требуется построить последовательность действий робота, ведущую (при ее реализации) к достижению целевого состояния.

Состояния мира кубиков представим в виде предикатов. Начальное состояние можно описать следующим образом:

где: handempty означает, что рука робота Робби пуста.



Начальное и целевое состояния задачи из мира кубиков

start = [handempty, ontable(b), ontable(c), on(a,b), clear(c), clear(a)]

Целевое состояние записывается так:

goal = [handempty, ontable(a),
ontable(b), on(c,b),
clear(a), clear(c)]

Правила, воздействующие на состояния и приводящие к новым состояниям

$(\forall X)$ (pickup(X)→ (gripping(X) ← (gripping() Λ clear(X)Λ ontable(X))))

$(\forall X)$ (putdown(X) →((gripping()Λ ontable(X) Λ clear(X)) ← gripping(X)))

$(\forall X)$ $(\forall Y)$ (stack(X,Y) →((on(X,Y) Λ gripping() Λ clear(X)) ← (clear(Y) Λ gripping(X))))

$(\forall X)$ $(\forall Y)$ (unstack(X,Y) → ((clear(Y) Λ gripping(X)) ← (on(X,Y) Λ clear(X) Λ gripping())))

- Прежде чем использовать эти правила, необходимо упомянуть о проблеме границ. При выполнении некоторого действия могут изменяться другие предикаты и для этого могут использоваться аксиомы границ - правила, определяющие инвариантные предикаты. Одно из решений этой проблемы предложено в системе STRIPS.
- В начале 1970-х годов в Стэнфордском исследовательском институте (Stanford Research Institute Planning System) была создана система STRIPS для управления роботом. В STRIPS четыре оператора pickup, putdown, stack,unstack описываются тройками элементов. Первый элемент тройки - множество предусловий (П), которым удовлетворяет мир до применения оператора. Второй элемент тройки - список дополнений (Д), которые являются результатом применения оператора. Третий элемент тройки - список вычеркиваний (В), состоящий из выражений, которые удаляются из описания состояния после применения оператора.

Ведя рассуждения для рассматриваемого примера от начального состояния, мы приходим к поиску в пространстве состояний. Требуемая последовательность действий (план достижения цели) будет следующей:

unstack(A,B), putdown(A), pickup(C), stack(C,B)

Для больших графов (сотни состояний) поиск следует проводить с использованием оценочных функций.

Заключение: планирование достижения цели можно рассматривать как поиск в пространстве состояний. Для нахождения пути из начального состояния к целевому (плана последовательности действий робота) могут применяться методы поиска в пространстве состояний с использованием исчисления предикатов.

Поиск решений в системах продукций

- Поиск решений в системах продукций наталкивается на проблемы выбора правил из конфликтного множества, как это указывалось в предыдущей лекции. Различные варианты решения этой проблемы рассмотрим на примере ЭСО CLIPS, на которой нам предстоит в 7 лекции разработать исследовательский прототип ЭС. Правила в ЭС, кроме фактора уверенности эксперта, имеют приоритет выполнения (salience). Конфликтное множество (КМ) - это список всех правил, имеющих удовлетворенные условия при некотором, текущем состоянии списка фактов и объектов и которые еще не были выполнены. Как отмечалось ранее, конфликтное множество это простейшая база целей. Когда активизируется новое правило с определенным приоритетом, оно помещается в список правил КМ ниже всех правил с большим приоритетом и выше всех правил с меньшим приоритетом. Правила с высшим приоритетом выполняются в первую очередь. Среди правил с одинаковым приоритетом используется определенная стратегия.

CLIPS поддерживает семь стратегий разрешения конфликтов.

1. Стратегия глубины (depth strategy) является стратегией по умолчанию (default strategy) в CLIPS. Только что активизированное правило помещается поверх всех правил с таким же приоритетом. Это позволяет реализовать поиск в глубину.
2. Стратегия ширины (breadth strategy) - только что активизированное правило помещается ниже всех правил с таким же приоритетом. Это, в свою очередь, реализует поиск в ширину.
3. LEX стратегия - активация правила, выполненная более новыми образцами (фактами), располагается перед активацией, осуществленной более поздними образцами. Например, как это указано в таблице ниже.
4. MEA стратегия - сортировка образцов не производится, а осуществляется только упорядочение правил по первым образцам, как это показано в столбце 3 таблицы.

Результаты применения LEX и MEA стратегий

Исходный набор правил	Правила, отсортированные LEX	Правила, отсортированные MEA
rule-6: f-1,f-4	rule-6: f-4,f-1	rule-2: f-3,f-1
rule-5: f-1,f-2,f-3	rule-5: f-3,f-2,f-1	rule-3: f-2,f-1
rule-1: f-1,f-2,f-3	rule-1: f-3,f-2,f-1	rule-6: f-1,f-4
rule-2: f-3,f-1	rule-2: f-3,f-1	rule-5: f-1,f-2,f-3
rule-4: f-1,f-2	rule-4: f-2,f-1	rule-1: f-1,f-2,f-3
rule-3: f-2,f-1	rule-3: f-2,f-1	rule-4: f-1,f-2

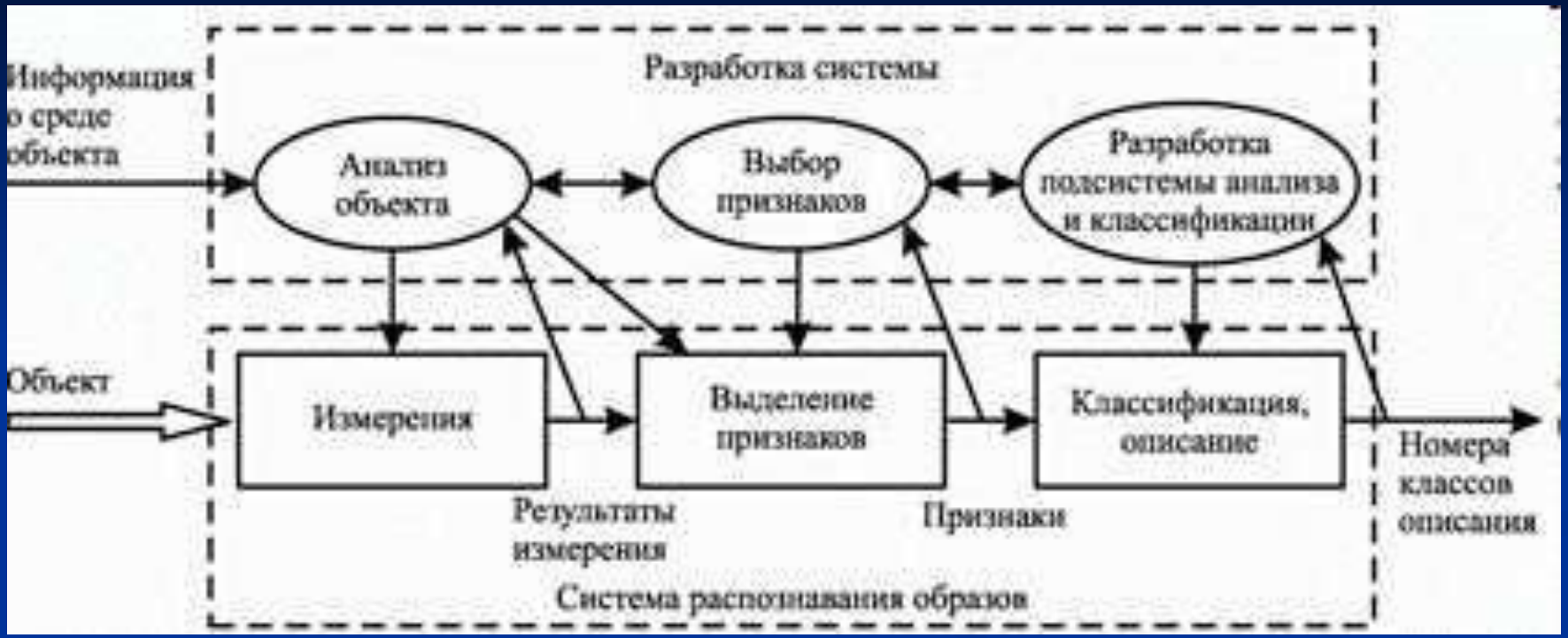
- ***Стратегия упрощения*** (simplicity strategy) - среди всех правил с одинаковым приоритетом только что активизированное правило располагается выше всех правил с равной или большей определенностью (specificity). Определенность правила задается количеством сопоставлений в левой части правил плюс количество вызовов функций. Логические функции не увеличивают определенность правила.
- ***Стратегия усложнения*** (complexity strategy) - среди всех правил с одинаковым приоритетом только что активизированное правило располагается выше всех правил с равной или большей определенностью.
- ***Случайная стратегия*** (random strategy) - каждой активации назначается случайное число, которое используется для определения местоположения среди активаций с определенным приоритетом.

- Подход на основе стратегий поиска решений в продукционных ЭС известен достаточно давно. Весьма популярная в начале 90-х годов ЭСО GURU (ИНТЕР-ЭКСПЕРТ) также использовала подобные механизмы управления стратегиями поиска. Возможность смены стратегии в ходе решения задачи программным образом и накопление опыта, какие стратегии дают лучшие результаты для определенных классов задач, позволяет получить эффективные механизмы поиска решений в СПЗ на основе продукций.
- ***Заключение***: существуют различные методы поиска решений в семантических сетях, например, метод обхода семантической сети - мультипарсинг. Данный метод оригинален тем, что позволяет параллельно "вести" по графу несколько маркеров и, тем самым, распараллеливать процесс поиска информации в семантической сети, что увеличивает скорость поиска. Эти методы используются, как правило, при представлении текста в виде объектно-ориентированной семантической сети

Распознавание изображений

Общая характеристика задач распознавания образов и их типы

- Под образом понимается структурированное описание изучаемого объекта или явления, представленное вектором признаков, каждый элемент которого представляет числовое значение одного из признаков, характеризующих соответствующий объект. Общая структура системы распознавания и этапы в процессе ее разработки показаны на рис



- Суть задачи распознавания - установить, обладают ли изучаемые объекты фиксированным конечным набором признаков, позволяющим отнести их к определенному классу.

Задачи распознавания имеют следующие характерные черты.

1. Это информационные задачи, состоящие из двух этапов: а) приведение исходных данных к виду, удобному для распознавания; б) собственно распознавание (указание принадлежности объекта определенному классу).
2. В этих задачах можно вводить понятие аналогии или подобия объектов и формулировать понятие близости объектов в качестве основания для зачисления объектов в один и тот же класс или разные классы.
3. В этих задачах можно оперировать набором прецедентов-примеров, классификация которых известна и которые в виде формализованных описаний могут быть предъявлены алгоритму распознавания для настройки на задачу в процессе обучения.
4. Для этих задач трудно строить формальные теории и применять классические математические методы (часто недоступна информация для точной математической модели или выигрыш от использования модели и математических методов не соизмерим с затратами).
5. В этих задачах возможна "плохая" информация (информация с пропусками, разнородная, косвенная, нечеткая, неоднозначная, вероятностная).

Типы задач распознавания

1. Задача распознавания - отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов (обучение с учителем).
2. Задача автоматической классификации - разбиение множества объектов (ситуаций) по их описаниям на систему непересекающихся классов (таксономия, кластерный анализ, обучение без учителя).
3. Задача выбора информативного набора признаков при распознавании.
4. Задача приведения исходных данных к виду, удобному для распознавания.
5. Динамическое распознавание и динамическая классификация - задачи 1 и 2 для динамических объектов.
6. Задача прогнозирования - это задачи 5, в которых решение должно относиться к некоторому моменту в будущем.

Основы теории анализа и распознавания изображений

Пусть дано множество M объектов ; на этом множестве существует разбиение на конечное число подмножеств (классов) Ω_i, $i = \overline{1,m}$, $M = \cup\Omega_i$ $(i = 1..m)$. Объекты ω задаются значениями некоторых *признаков* x_j, $j = \overline{1,N}$. Описание объекта $I(\omega) = (x_1(\omega), \ldots, x_N(\omega))$ называют стандартным, если $x_j(\omega)$ принимает значение из множества допустимых значений.

Пусть задана *таблица обучения* (таблица 4.1). Задача *распознавания* состоит в том, чтобы для заданного объекта ω и набора классов $\Omega_1, \ldots, \Omega_m$ по обучающей информации в *таблице обучения* $I_0(\Omega_1 \ldots \Omega_m)$ о классах и описанию $I(\omega)$ вычислить предикаты:

$$P_i(\omega \in \Omega_i) = (1(\omega \in \Omega_i),\ 0(\omega \in \Omega_i),\ (\omega \in \Omega_i)),$$

где $i = \overline{1,m}$, Δ - неизвестно.

Таблица 4.1. Таблица обучения

Объект	*Признаки* и их значения x_1	x_j	x_n	Класс
$\omega 1$	α_{11}	α_{1j}	α_{1n}	Ω_1
...				
ω_{r1}	$r_1 1$	α_{r1j}	α_{r1n}	
...				
ω_{rk}	α_{rk1}	α_{rkj}	α_{rkn}	Ω_m
...				
ω_{rm}	α_{rm1}	α_{rmj}	α_{rmn}	

Правило близости, позволяющее оценить похожесть строк $S\omega'$ и $S\omega_r$ состоит в следующем. Пусть "усеченные" строки содержат q первых символов, то есть $S\omega_r=(a_1, \ldots, a_q)$ и $S\omega'=(b_1, \ldots, b_q)$. Заданы *пороги* $\varepsilon_1 \ldots \varepsilon_q$, δ. Строки $S\omega_r$ и $S\omega'$ считаются похожими, если выполняется не менее чем δ неравенств вида

$$|a_j - b_j| \le \varepsilon_j, \quad j=1,2,\ldots, q.$$

Рассмотрим алгоритмы распознавания, основанные на вычислении оценок. В их основе лежит принцип прецедентности (в аналогичных ситуациях следует действовать аналогично).

Пусть задан полный набор признаков $x_1, \ldots, x_N$. Выделим систему подмножеств множества признаков $S_1, \ldots, S_k$. Удалим произвольный набор признаков из строк $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_{rm}$ и обозначим полученные строки через $S_{\omega 1}, S_{\omega 2}, \ldots, S_{\omega rm}, S_\omega'$.

Величины $\varepsilon_1 \ldots \varepsilon_q$, δ входят в качестве параметров в модель класса алгоритмов на основе оценок.

Пусть $\Gamma_i(\omega')$ - оценка объекта ω' по классу Ω_i.

Описания объектов $\{\omega'\}$, предъявленные для *распознавания*, переводятся в числовую матрицу оценок. Решение о том, к какому классу отнести объект, выносится на основе вычисления степени сходства *распознавания* объекта (строки) со строками, принадлежность которых к заданным классам известна.

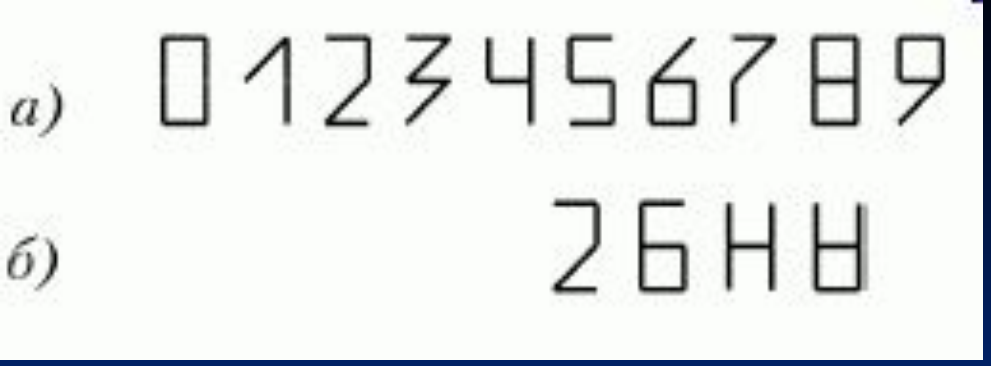
Проиллюстрируем описанный алгоритм распознавания на примере. Задано 10 классов объектов. Требуется определить признаки таблицы обучения, пороги и построить оценки близости для классов объектов, показанных на рисунке. Предлагаются следующие признаки таблицы обучения:

x_1- количество вертикальных линий минимального размера;

x_2- количество горизонтальных линий;

x_3- количество наклонных линий;

x_{4-} количество горизонтальных линий снизу объекта.



Пример задачи по распознаванию

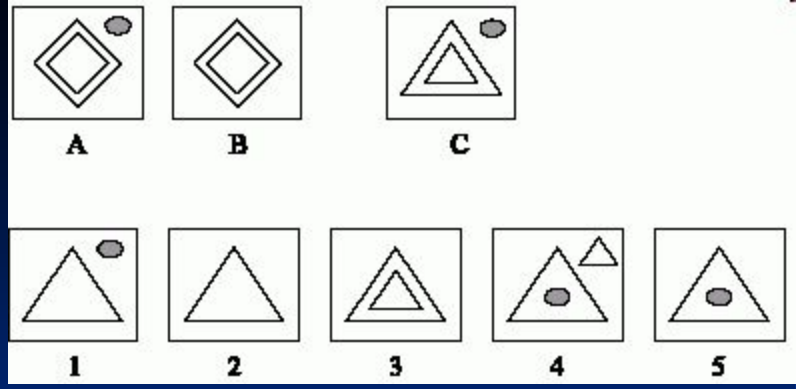
	X_1	X_2	X_3	X_4	
	4	2	0		0
	2	0	1		1
	1	2	1		2
	0	2	2		3
	3	1	0		4
	2	3	0		5
✓	2	2	1	1	6
	1	1	1		7
	4	3	0		8
✓	2	2	1	0	9
	$\varepsilon_1=1$	$\varepsilon_2=1$	$\varepsilon_3=1$	$\varepsilon_4=1$	$\delta=1$

Таблица обучения для задачи по распознаванию

Теперь может быть построена таблица распознавания для объектов

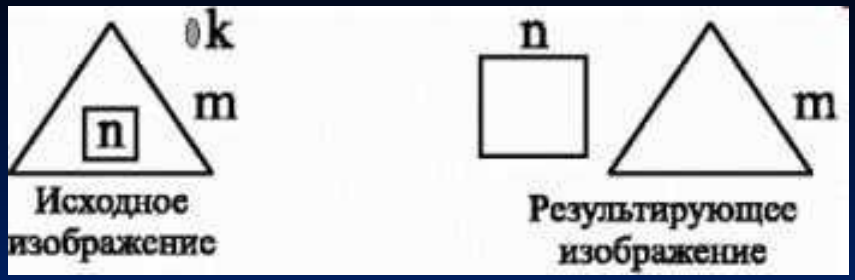
Объект	x_1	x_2	x_3	x_4	**Результат *распознавания***
Объект 1	1	2	1		Цифра 2
Объект 2	3	3	0	1	Цифра 8 или 5
Объект 3	4	1	0		
Объект 4	4	2	0	1	

Распознавание по методу аналогий



Этот метод очень хорошо знаком студентам (знание решения аналогичной задачи помогает в решении текущей задачи).

- Рассмотрим этот метод на примере задачи П. Уинстона по поиску геометрических аналогий, представленном на рис. Среди фигур второго ряда требуется выбрать X ∈ {1, 2, 3, 4, 5} такое, что A так соотносится с B, как C соотносится с X, и такое, которое лучше всего при этом подходит. Для решения задачи необходимо понять, в чем разница между фигурами A и B (наличие/отсутствие жирной точки), и после этого ясно, что лучше всего для C подходит X=3 .
- Решение таких задач предполагает описание изображения и преобразования (отношения между фигурами на изображениях), а также описание изменения отдельных фигур, составление правил и оценка изменений.



В качестве примера запишем три правила, показывающие, каким образом одно изображение (исходное) становится результирующим.

Правило 1 (исходное изображение):k выше m, k выше n, n внутри m

Правило 2 (результир. изображение):n слева m

Правило 3 (масшабирование, повороты):

k исчезло

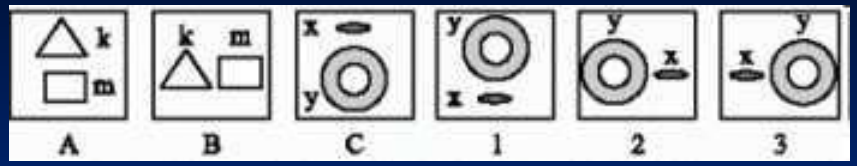
m изменение масштаба 1:1, вращение 00

n изменение масштаба 1:2, вращение 00

Важные моменты при таких преобразованиях

В исходном и результирующем изображениях допускаются отношения ВЫШЕ, ВНУТРИ, СЛЕВА, В результате преобразования изображение может стать МЕНЬШЕ, БОЛЬШЕ, испытать ПОВОРОТ или ВРАЩЕНИЕ, ОТРАЖЕНИЕ, УДАЛЕНИЕ, ДОБАВЛЕНИЕ. Написание правил лучше всего начинать с проведения диагональных линий через центры фигур. Лишние отношения (СПРАВА ОТ и СЛЕВА ОТ, ВЫШЕ и НИЖЕ, ИЗНУТРИ и СНАРУЖИ,) использовать не рекомендуется.

Пример задачи распознавания по аналогии



	Правило 1	Правило 2	Правило 3	Результат
A ⇒ B	k выше m	k слева m	k, m масштаб 1:1 поворот 0^0	
C ⇒ 1	x выше y	y выше x	x, y масштаб 1:1 поворот 0^0	
C ⇒ 2	x выше y	y слева x	x, y масштаб 1:1 поворот 0^0	
C ⇒ 3	x выше y	x слева y	x, y масштаб 1:1 поворот 0^0	Сопоставление успешно

Разные виды преобразований могут иметь различные веса, например, исчезновению фигуры целесообразно назначить больший вес, чем преобразованию масштаба; а вращение фигуры может иметь меньший вес, чем отражение.

- Методы распознавания по аналогии могут быть эффективнее, если используется обучение. Различают обучение с учителем, обучение по образцу (эталону) и др. виды обучения. Суть идеи такова. Программе распознавания предъявляется объект, например, арка. Программа создает внутреннюю модель:

(арка

(компонент1 (назначение (опора)) (тип (брусок)))
(компонент2 (назначение (опора)) (тип (брусок))) (компонент3 (назначение (перекладина)) (тип (брусок)) (поддерживается (компонент1), (компонент2)))

После этого предъявляется другой объект и говорится, что это тоже арка. Программа вынуждена дополнить свою внутреннюю модель:

(арка (компонент1 (назначение (опора)) (тип (брусок)))

(компонент2 (назначение (опора)) (тип (брусок)))
(компонент3 (назначение (перекладина)) (тип (брусок) или (клин)) (поддерживается (компонент1), (компонент2)))

После такого обучения система распознавания будет узнавать в качестве арки как первый, так и второй объект.

Актуальные задачи распознавания

Среди множества интересных задач по распознаванию (распознавание отпечатков пальцев, распознавание по радужной оболочке глаза, распознавание машиностроительных чертежей и т. д.) следует выделить **задачу определения реальных координат заготовки** и **определения шероховатости обрабатываемой поверхности.**

Другой актуальной задачей является распознавание машинописных и рукописных текстов в силу ее повседневной необходимости. Практическое значение задачи машинного чтения печатных и рукописных текстов определяется необходимостью представления, хранения и использования в электронном виде огромного количества накопленной и вновь создающейся текстовой информации. Кроме того, большое значение имеет оперативный ввод в информационные и управляющие системы информации с машиночитаемых бланков, содержащих как напечатанные, так и рукописные тексты.

Для решения данной задачи используются следующие основные принципы.

1. Принцип целостности - распознаваемый объект рассматривается как единое целое, состоящее из структурных частей, связанных между собой пространственными отношениями.
2. Принцип двунаправленности - создание модели ведется от изображения к модели и от модели к изображению.
3. Принцип предвидения заключается в формировании гипотезы о содержании изображения. Гипотеза возникает при взаимодействии процесса "сверху-вниз", разворачивающегося на основе модели среды, модели текущей ситуации и текущего результата восприятия, и процесса "снизу-вверх", основанного на непосредственном грубом признаковом восприятии.
4. Принцип целенаправленности, включающий сегментацию изображения и совместную интерпретацию его частей.
5. Принцип "не навреди" - ничего не делать до распознавания и вне распознавания, то есть без "понимания".
6. Принцип максимального использования модели проблемной среды.

- Указанные принципы реализованы в пакете программ "Графит" , в программах FineReader-рукопись и FormReader - для распознавания рукописных символов и, частично, в программе FineReader для распознавания печатных текстов. Входящая в FormReader программа чтения рукописных текстов была выпущена в 1998 году одновременно с системой ABBYY FineReader 4.0. Эта программа может читать все рукописные строчные и заглавные символы, допускает ограниченные соприкосновения символов между собой и с графическими линиями и обеспечивает поддержку 10 языков. Основное применение программы - распознавание и ввод информации с машиночитаемых бланков.
- В системе ABBYY FormReader при распознавании рукописных текстов используются структурный, растровый, признаковый, дифференциальный и лингвистический уровни распознавания.