

# ИИС

01

# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

# Подходы к созданию систем искусственного интеллекта

- \* **1) Нейрокибернетический подход** основан на построении самоорганизующихся систем, состоящих из множества элементов, функционально подобных нейронам головного мозга.
- \* **Основную идею этого подхода** можно сформулировать следующим образом:
- \* Единственный объект, способный мыслить, — это человеческий мозг. Поэтому любое «мыслящее» устройство должно каким-то образом воспроизводить его структуру.
- \* **2) Логический подход** основан на выявлении и применении в интеллектуальных системах различных логических и эмпирических приемов (эвристик), которые применяет человек для решения каких-либо задач. **Эвристика** – правило теоретически не обоснованное, но позволяющее сократить количество рассматриваемых вариантов в процессе поиска.
- \* **В основу этого подхода был положен принцип**, противоположный нейрокибернетике.

# Данные и знания


- \* **Процедурная** информация о веществе («растворена») в программах (алгоритмах), которые выполняются в процессе решения задач
- \* **декларативная** – в данных, с которыми эти программы работают.

# особенности (свойства) декларативных знаний

- \* 1. **Идентифицируемость.** Каждая информационная единица должна иметь уникальное имя, по которому информационная система выделяет ее среди других.
- \* 2. **Внутренняя интерпретируемость.** Информационные единицы, как правило, содержат сведения о том, как их использовать.
- \* 3. **Структурированность.** Информационные единицы должны иметь четкую, но в тоже время гибкую структуру, позволяющую задавать рекурсивные<sup>1</sup> определения информационных единиц или вложенность одних информационных единиц в другие.
- \* 4. **Связность.** В информационной базе между информационными единицами должна быть предусмотрена возможность установления связей различного типа. Например, таких как функциональные отношения, причинно-следственные связи, структурные и семантические отношения, отношения несовместимости информационных единиц в едином контексте, отношение релевантности и т.д. Отношение релевантности (смысловой и ситуационной близости) информационных единиц позволяет находить знания, близкие к уже найденным.
- \* 5. **Активность.** В традиционных информационных системах данные пассивны, а команды активны. В ИИС, как и у человека, актуализации тех или иных действий способствуют знания, имеющиеся в системе. Таким образом, выполнение программ в ИИС инициируется текущим состоянием информационной базы, т.е. декларативными знаниями.

# ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ ЗНАНИЙ ОТ ДАННЫХ

- \* - знания более структурированы;
- \* - знания самоинтерпретируемы;
- \* - в знаниях существенное значение имеют не только атомарные элементы (как в данных), но и взаимосвязи между ними;
- \* - знания активны в отличие от пассивных данных, т. е. знания могут порождать действия системы, использующей их.

- 
- \* **Знания** — это закономерности предметной области (факты, принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области.
  - \* **Знания** — это хорошо структурированные данные (данные о данных, метаданные).

# База данных и база знаний

- \* Для хранения данных используются базы данных (для них характерны большой объем и относительно небольшая удельная стоимость информации), для хранения знаний — базы знаний (небольшого объема, но исключительно дорогие информационные массивы). **База знаний** — это совокупность знаний, описанных с использованием выбранной формы (модели) их представления. База знаний — основа любой интеллектуальной системы



# Классификация знаний по степени основательности

- \* - **поверхностные (конкретные, экстенциональные)** - конкретные факты, сведения о видимых взаимосвязях между отдельными событиями и фактами в предметной области, эвристики и закономерности, полученные опытным путем и используемые при отсутствии общих теорий.
- \* Пример: «Если нажать на кнопку звонка, раздастся звук. Василий Петрович - инженер второй категории. Иванов имеет автомобиль»;
- \* - **глубинные (абстрактные, интенциональные)** - совокупность основных закономерностей и аксиом в конкретной предметной области. В эту совокупность могут входить абстракции, аналогии, формулы, законы, правила, методики, схемы, отображающие структуру и природу процессов, и т.д. Эти знания объясняют явления и могут использоваться для прогнозирования поведения объектов.
- \* Пример: «Электрическая схема звонка. Инструкция по определению наличной провозной и пропускной способности станций и перегонов. Закон Бойля-Мариотта».

# по степени теоретической обоснованности

- \* - **фактические** - хорошо известные (аксиомы) и теоретически обоснованные законы и правила, а также конкретные достоверные факты и сведения;
- \* - **эвристические** - знания, теоретически не обоснованные, но подтвержденные в результате многолетней практики или экспериментов;

# по способу представления и использования в интеллектуальных информационных системах

- \* - декларативные (факты);
- \* - процедурные (правила);
- \* - метазнания (знания о знаниях) - знания, предписывающие способы и порядок использования знаний, а также их свойства

# по степени детерминированности (определенности)

- \* **детерминированные (точные)** - знания, воспринимаемые всеми однозначно (например, Путин президент России,  $S_{\text{круга}} = \pi \cdot R^2$ , в сутках 24 часа). Как правило, это аксиомы, теоретические обоснованные законы и количественные характеристики. В любом случае, эти знания могут быть интерпретированы либо как полностью истинные (true, 1) либо как полностью ложные (false, 0);
- \* - **недетерминированные (нечеткие, неточные)** - знания, воспринимаемые неоднозначно или степень достоверности которых отличается от 0 или 1 (например, достоверность того, что Иванов умный - 0.7). Как правило, это качественные характеристики, такие как рост (высокий, средний, низкий, карликовый), возраст (старый, пожилой, в расцвете сил, молодой, юный)

# Модели представления знаний


| Наименование       | Способ представления знаний                                 | Примечания                              |
|--------------------|---|---|
| Алгоритмические    | Тексты программ.<br>Блок-схемы.                             |   |
| Продукционные      | Правила «ЕСЛИ (условие) - ТО (результат или действие)».     | Подвид алгоритмических моделей.         |
| Семантические сети | Граф, вершины которого - понятия, а дуги - связи между ними | В вершинах находятся атомарные понятия. |


| Наименование   | Способ представления знаний   | Примечания   |
|--|---|--|
| Диаграммы «сущность-связь» (Entity-Relationship Diagrams, ERD) | Аналогично семантическим сетям.   | Используются для отображения состава и структуры БД.   |
| Фреймы   | Структуры, описывающие взаимосвязь неких концептуальных понятий (объектов, ситуаций, законов, правил и т.д.).   |  |
| Объектно-ориентированные                                       | Тексты программ на языках объектно-ориентированного программирования.<br>Унифицированный язык моделирования (UML, Unified Modeling Language) - диаграммы, описывающие систему (объект). | Диаграммы отображают состав, структуру и поведение системы (объекта).<br>Каждая диаграмма, как правило, представляется связным графом.<br>Используются, в основном, при проектировании информационных систем с использованием объектно-ориентированного подхода. |

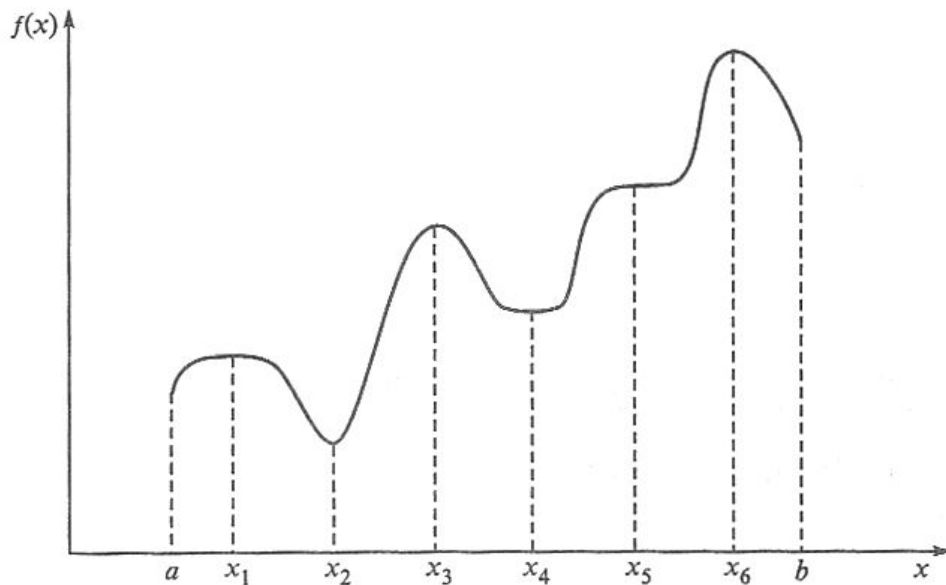
| Наименование                 | Способ представления знаний  | Примечания  |
|------------------------------|--|---|
| Логические                   | Формальный язык с ограниченным синтаксисом и семантикой.   | Логика высказываний. Логика предикатов первого порядка. Нечеткая логика. И т.д. |
| Сценарии                     | Описание взаимосвязанных фактов или стандартной последовательности действий в определенной ситуации. |   |
| Искусственные нейронные сети | Ориентированный граф, состоящий из множества нейроподобных элементов и связей между ними.            |   |

# КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ОПТИМИЗАЦИИ



- 
- \* **Оптимизация** (в математике, информатике и исследовании операций) - задача нахождения экстремума (минимума или максимума) целевой функции в некоторой области конечномерного векторного пространства, ограниченной набором линейных и/или нелинейных равенств и/или неравенств.
  - \* **Оптимизация** - процесс приведения системы в наилучшее (оптимальное) состояние.

- 
- \* В задачах оптимизации **имеется целевая функция**, зависящая от одной или нескольких переменных. Требуется найти такие значения переменных, при которых функция примет оптимальное (наилучшее) значение. При этом на переменные могут накладываться различные ограничения.
  - \* Наилучшее значение функции достигается в так называемых точках минимума или максимума (**экстремальных точках**)



- \* точка  $x_0$  является точкой максимума функции  $f(x)$ , если соблюдается неравенство
- \*  $f(x_0 - \Delta x) \leq f(x_0) \geq f(x_0 + \Delta x)$ ,
- \* где  $\Delta x$  – достаточно малое приращение значения переменной  $x$ .
- \* - точка  $x_0$  является точкой минимума функции  $f(x)$ , если соблюдается неравенство
- \*  $f(x_0 - \Delta x) \geq f(x_0) \leq f(x_0 + \Delta x)$ .
- \* для интервала  $[a, b]$  точки  $x_1, x_2, x_3, x_4$  и  $x_6$  являются экстремальными точками.

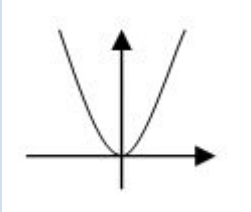
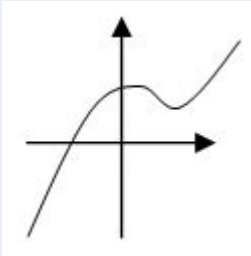
Значение  $f(x_6)$  называется глобальным или абсолютным максимумом, а значения  $f(x_1)$  и  $f(x_3)$  – локальными или относительными максимумами. Аналогично,  $f(x_2)$  – глобальный минимум и  $f(x_4)$  – локальный минимум.

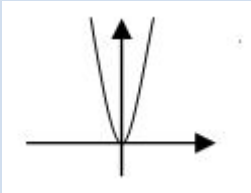
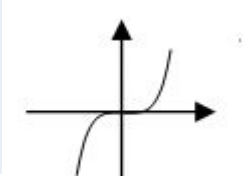
$x_1$ , являясь точкой максимума функции  $f(x)$ , отличается от остальных локальных максимумов  $f(x)$  т.к. по крайней мере в одной точке ее окрестности значение функции  $f(x)$  совпадает с  $f(x_1)$ . Точка  $x_1$  по этой причине называется нестрогим (слабым) максимумом функции, а точки  $x_3$  и  $x_6$  – строгими максимумами. Нестрогий максимум, следовательно, подразумевает наличие (бесконечного количества) различных точек, которым соответствует одно и то же максимальное значение функции.

# Классическая теория оптимизации

- \* первая производная функции  $f(x)$  (тангенс угла наклона касательной к графику функции) равна 0 во всех ее экстремальных точках. Однако это условие выполняется и в точках перегиба и седловых точках  $(x_5)$

- \*  $x_i$ , являющиеся решениями уравнения  $f'(x) = 0$ , – это либо точки экстремума либо точки перегиба. Условие  $f'(x) = 0$  называют **необходимым условием наличия экстремума**.
- \* Исследование производных высших порядков позволяет убедиться, что точка  $x_i$  – экстремум и более того, является она точкой максимума или минимума. Для этого необходимо найти вторую производную  $f''(x)$  и в нее подставить значения  $x_i$ , полученные при решении уравнения  $f'(x) = 0$ :
- \* - если  $f''(x_i) > 0$  – то в точке  $x_i$  минимум функции;
- \* - если  $f''(x_i) < 0$  – то в точке  $x_i$  максимум функции;
- \* - если  $f''(x_i) = 0$  – то необходимо исследовать следующие производные. В этом случае, если первые  $(n-1)$  производных равны 0 и  $f^{(n)}(x_i) \neq 0$ , то в точке  $x_i$  функция имеет:
  - \* - точку перегиба, если  $n$  – нечетное;
  - \* - минимум, если  $n$  – четное и  $f^{(n)}(x_i) > 0$ ;
  - \* - максимум, если  $n$  – четное и  $f^{(n)}(x_i) < 0$ .
- \* **Эти условия называются достаточными**

| № п/п | Функция                         | Экстремумы  | График функции   |
|-------|---------------------------------|---|--|
| 1     | $y = f(x) = x^2$                | $f'(x) = 2x$<br>$2x = 0$<br>$x_0 = 0$ – точка экстремума или перегиба.<br><br>$f''(x) = 2 \rightarrow 2 > 0$<br>$x_0 = 0$ – точка минимума.   |   |
| 2     | $y = f(x) = x^3 - 2x^2 + x + 1$ | $f'(x) = 3x^2 - 4x + 1$<br>$3x^2 - 4x + 1 = 0$<br>$x_1 = 1/3$ и $x_2 = 1$ – точки экстремума или перегиба.<br><br>$f''(x) = 6x - 4 \rightarrow$<br>$f''(x_1) = 6 * 1/3 - 4 = -2$<br>$f''(x_1) < 0$<br>$x_1 = 0$ – точка максимума;<br>$f''(x_2) = 6 * 1 - 4 = 2$<br>$f''(x_2) > 0$<br>$x_2 = 0$ – точка минимума. |  |

| № п/п | Функция           | Экстремумы  | График функции  |
|-------|-------------------|---|---|
| 3     | $y = f(x) = 2x^4$ | $f'(x) = 8x^3$<br>$8x^3 = 0$<br>$x_0 = 0$ – точка экстремума или перегиба.<br><br>$f''(x) = 24x^2$<br>$f''(x_0) = 24 * 0^2 = 0$ .<br><br>$f^{(3)}(x) = 48x$<br>$f^{(3)}(x_0) = 48 * 0 = 0$ .<br><br>$f^{(4)}(x) = 48$<br>$48 > 0$ и $n = 4$ – четное<br>$x_0 = 0$ – точка минимума. |    |
| 4     | $y = f(x) = 2x^3$ | $f'(x) = 6x^2$<br>$6x^2 = 0$<br>$x_0 = 0$ – точка экстремума или перегиба.<br><br>$f''(x) = 12x$<br>$f''(x_0) = 12 * 0^2 = 0$ .<br><br>$f^{(3)}(x) = 12$<br>$n = 3$ – нечетное<br>$x_0 = 0$ – точка перегиба.   |  |

# НЕЧЕТКИЕ ЗНАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ ОБРАБОТКИ



# Недетерминированность выводов

- \* **Недетерминированность выводов.** Это характерная черта большинства интеллектуальных информационных систем. Недетерминированность означает, что заранее путь решения конкретной задачи в пространстве ее состояний определить невозможно. Поэтому в большинстве случаев методом проб и ошибок выбирается некоторая цепочка логических заключений, согласующихся с имеющимися знаниями, а в случае если она не приводит к успеху, организуется перебор с возвратом для поиска другой цепочки и т.д.
- \* Например, выезжая на автомобиле, следует учитывать состояние дорог, транспорта, погодные условия и т.д. При нарушении одного из предположений, например, из-за пробки на обычном маршруте, планы меняются и выбирается альтернативный маршрут.

# Многозначность

- \* **Многозначность.** Многозначность интерпретации — обычное явление в задачах распознавания. При понимании естественного языка серьезными проблемами становятся многозначность смысла слов, их подчиненности, порядка слов в предложении и т.п. Проблемы понимания смысла возникают в любой системе, взаимодействующей с пользователем на естественном языке. Распознавание графических образов также связано с решением проблемы многозначной интерпретации.

# Неточность и ненадежность знаний и выводов

- \* **Неточность и ненадежность знаний и выводов.** Как было отмечено выше, количественные данные (знания) могут быть неточными. Неточность в основном связана с объективными причинами: несовершенство измерительных приборов (школьной линейкой нельзя измерять объекты меньше миллиметра или больше километра), несоблюдения условий проведения замеров (повышенная или пониженная температура, влажность и т.п.) и т.д. При этом существуют различные способы оценки такой неточности, разрабатываемые в рамках теории измерений.

- \* Ненадежность знаний в большей степени связана с субъективными причинами: **отсутствием формальных процедур получения точных данных**, вероятностной природой поступающих данных, недостаточной математической (логической) обоснованностью используемых правил.
- \* Ненадежность означает, что для оценки достоверности знаний нельзя применить двухбалльную шкалу (1 – абсолютно надежные, 0 – недостоверные).
- \* Применяют вероятностные оценки тех или иных знаний, как в части фактов, так и правил вывода. Так, утверждение  $p(\text{высокий}(\text{вася})) = 0.75$  можно интерпретировать как вероятность того, что Вася высокий на три четверти истинна. Утверждение  $p(\text{ЕСЛИ настроение преподавателя} = \text{«хорошее» И знание ответа на билет} = \text{«нулевые» ТО оценка за экзамен} = \text{«не меньше 3»}) = 0.8$  определяет вероятность истинности правила.

# Неполнота знаний и немонотонная логика

- \* Абсолютно полных знаний не бывает, поскольку процесс познания бесконечен.
- \* Состояние базы знаний должно изменяться с течением времени.
- \* При добавлении новых знаний возникает опасность получения противоречивых выводов, т.е. выводы, полученные с использованием новых знаний, могут опровергать те, что были получены ранее.

# Модель закрытого мира

- \* **Модель закрытого мира** предполагает жесткий отбор знаний, включаемых в базу
- \* база знаний заполняется исключительно верными понятиями, все, что ненадежно или неопределенно, заведомо считается **ЛОЖНЫМ**
- \* Все, что известно базе знаний, является истиной, а остальное - ложью.
- \* Модель имеет ограниченные возможности представления знаний и таит в себе опасность получения противоречий при добавлении новой информации.

# Монотонность

- \* В системах, построенных по принципу модели закрытого мира, добавление новых фактов **не нарушает справедливость ранее полученных выводов**. Это свойство логических выводов называется **МОНОТОННОСТЬЮ**.
- \* Ральные знания, закладываемые в интеллектуальных информационных системах, крайне редко бывают полными.

- \* «Птицы летают».
- \* «Пингвин не летает».
- \* «Пикколо — птица».

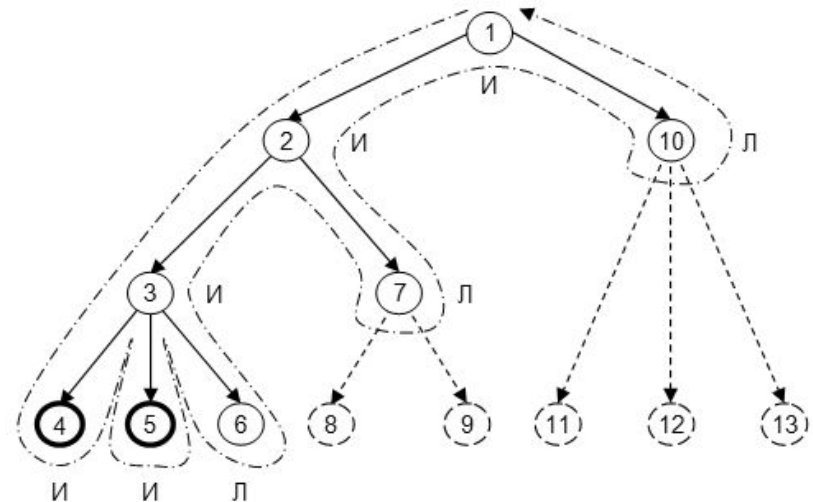
- \* можно получить заключение «Пикколо летает»
- \* сделать вывод о том, что «Пингвин не является птицей».
- \* Если в базу знаний добавить факт «Пикколо — пингвин», то получим противоречащие предыдущим заключения: «Пикколо не летает» и «Пикколо не является птицей».



# Способы устранения и/или учета нечеткости знаний

# Учет недетерминированности вывода. метод перебора с возвратами

- \* Все пространство поиска можно представить в виде дерева, узлами которого являются частичные или итоговые решения задачи (необязательно верные).
- \* По мере поиска решения, удовлетворяющего условиям (требованиям, ограничениям), постепенно строится это дерево (выполняется обход узлов).
- \* Если в листьях (узлах последнего уровня) решение удовлетворяет требуемым условиям, то оно и есть результат поиска. В общем случае, решений может быть несколько (узлы 4 и 5).
- \* Если при обходе дерева система попадает в узел, решение в котором не удовлетворяет (противоречит) условиям задачи, тогда система возвращается к предыдущему узлу и продолжает поиск в альтернативном направлении



# Условные обозначения



направление поиска из узлов, решение в которых удовлетворяет условиям



направление поиска из узлов, решение в которых не удовлетворяет условиям



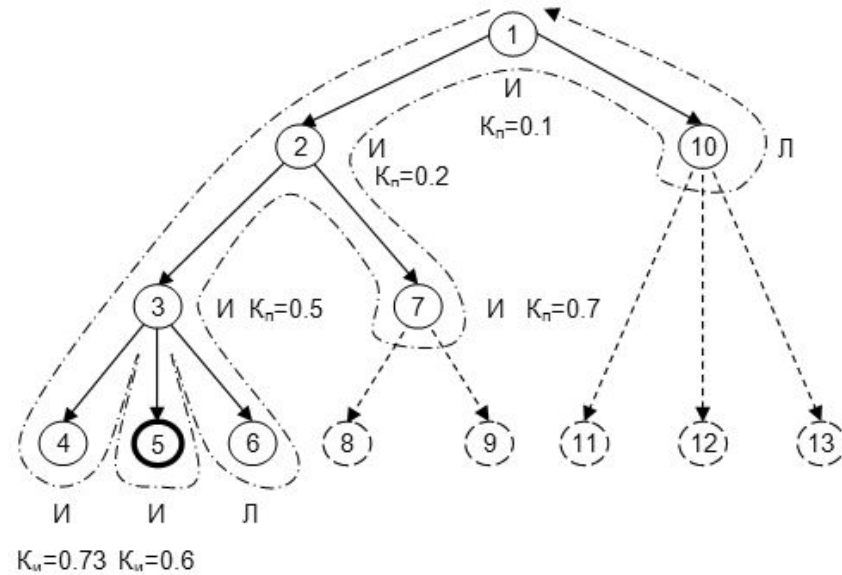
маршрут обхода узлов

②

узел, в котором проверялись условия. Рядом с узлом стоит «И», если решение в нем удовлетворяет условиям, в противном случае стоит «Л»

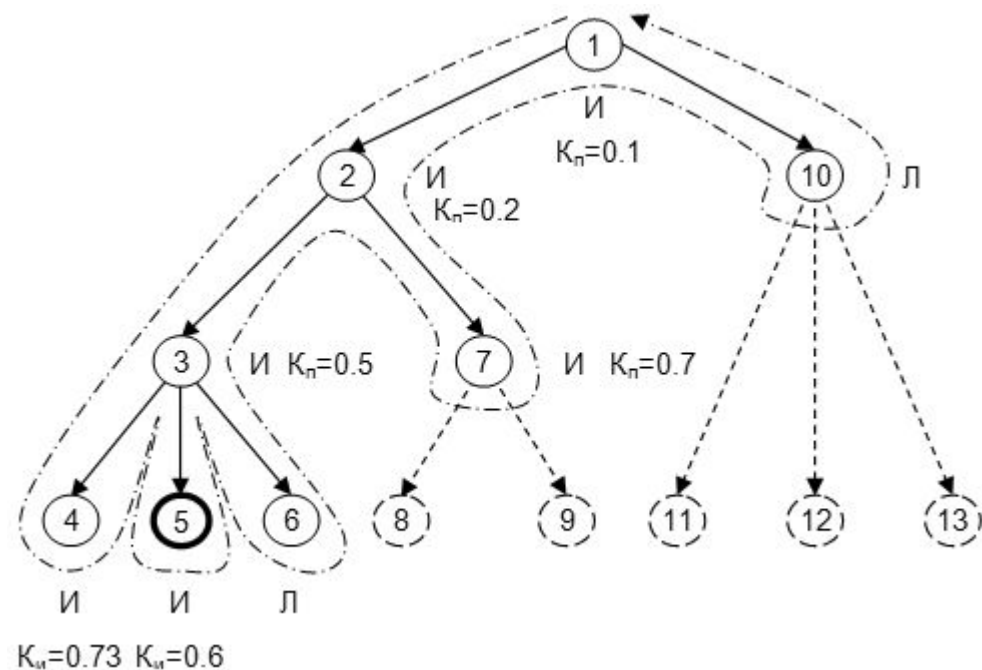
⑨

узел, непопавший в маршрут обхода

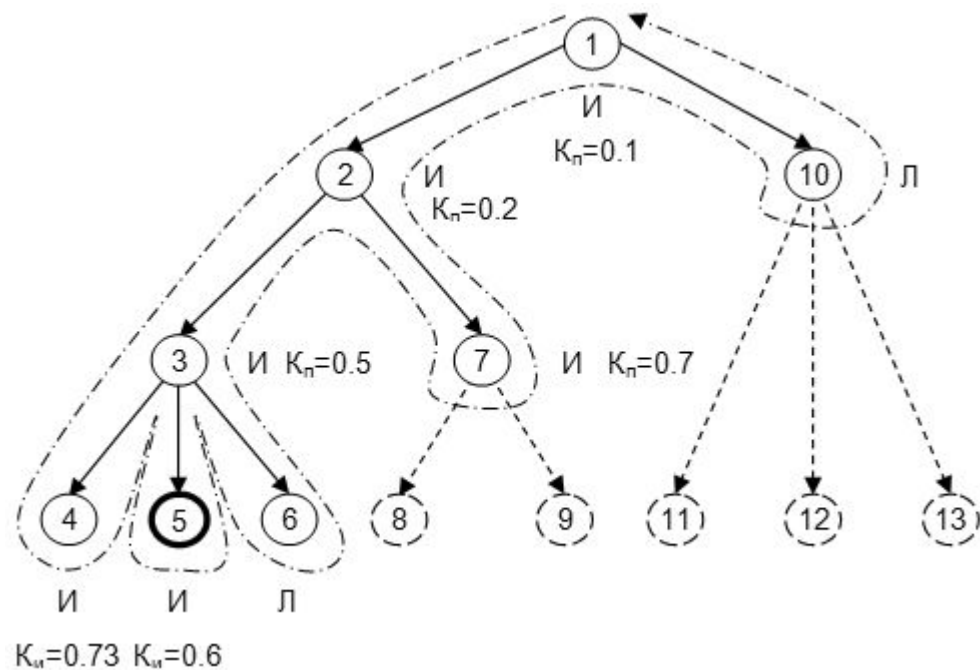


# метод частичного (неявного) перебора

- \* в узлах помимо проверки допустимости (соответствия ограничениям) считается и проверяется значение выбранного критерия.
- \* Если значение этого критерия (при минимизации целевой функции) в некотором узле  $J$  больше, чем значение, полученное в другом итоговом узле  $I$  (представляющем допустимое решение задачи), то дальнейший поиск из узла  $J$  не ведется (т.к. значение критерия не станет лучше)

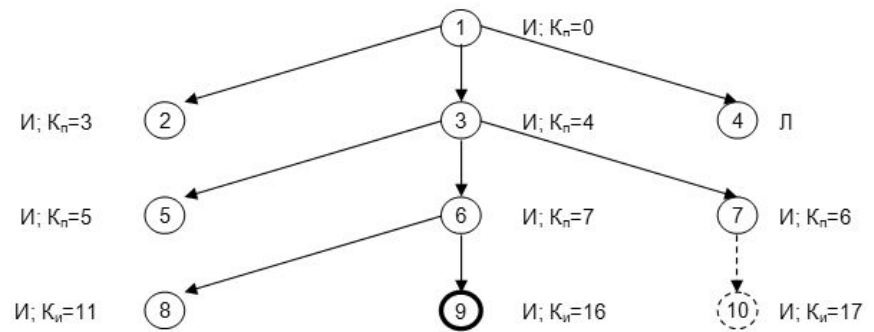


- \* Оптимальным решением в рассмотренном примере является решение в узле 5.
- \* Поиск решения из узла 7 не выполнялся, т.к. решения в узлах 8 и 9 дадут заведомо худшее решение по сравнению с узлом 5.
- \* Ограничением использования этого метода является как монотонность выводов, так и монотонность критерия (целевой функции).
- \* значение критерия в узле, из которого ведется поиск, не может быть больше значения критерия в нижележащих узлах. В случаях, когда надо максимизировать целевую функцию, считают величину обратную критерию  $1/K$ .

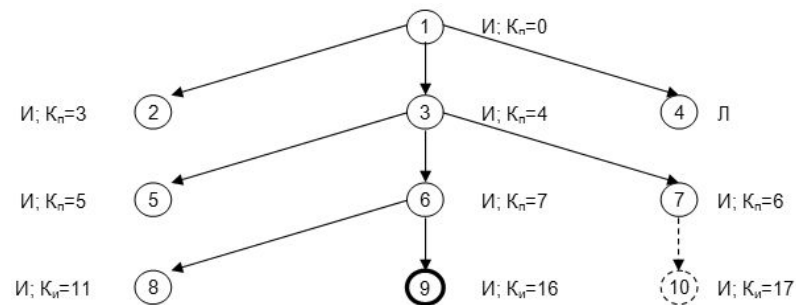


# алгоритмом A\*

- \* Этот эвристический алгоритм используют в тех случаях, когда даже частичный обход полного дерева выполнить нереально.
- \* Для всех узлов, удовлетворяющих ограничениям и в которые можно попасть из корневого узла, вычисляется значение критерия.
- \* Дальнейший процесс поиска выполняется только из узла, в котором значение критерия максимально (минимально), остальные ветви поиска не рассматриваются.



- \* Недостатком данного алгоритма является возможный пропуск оптимального решения (в примере узел 10), но найденное итоговое решение очень часто является оптимальным или, по крайней мере, эффективным.



# Устранение многозначности

- \* Вопросами устранения многозначности смысла слов, фраз и предложений занимается **теория формальных грамматик**.
- \* Развитием классической логики является **многозначная логика**. Помимо значений истинности **true** и **false** в рассуждениях используется другие значения, например, **unknown**. Такой подход может обеспечить отделение ложных утверждений от утверждений, истинность которых просто неизвестна.



- \* - коэффициенты уверенности;
- \* - нечеткие множества и нечеткая логика;
- \* - вероятностный подход на основе теоремы Байеса;
- \* - модифицированный байесовский подход;
- \* - теория доказательства (обоснования) Демпстера-Шафера.
- \*

# Коэффициенты уверенности

- \* **Коэффициент уверенности (КУ)** – это неформальная оценка, которую эксперт добавляет к заключению. КУ вычисляется по формуле
- \*  $KU(H | E) = MD(H | E) - MND(H | E)$ ,
- \* где  $KU(H | E)$  - уверенность в гипотезе  $H$  с учетом свидетельств  $E$ ;
- \*  $MD(H | E)$  и  $MND(H | E)$  — мера доверия и недоверия к гипотезе  $H$  при свидетельствах  $E$ .
- \*
- \*  $MD$  и  $MND$  измеряются от 0 (абсолютная ложь) до 1 (абсолютная истина), включая промежуточные значения. Соответственно,  $KU$  может изменяться от -1 (абсолютная ложь) до +1 (абсолютная истина), причем 0 означает полное незнание.
- \* Формула не позволяет отличить случай противоречащих свидетельств ( $MD$  и  $MND$  обе велики) от случая недостаточной информации ( $MD$  и  $MND$  обе малы), что иногда бывает полезно.