Логическое программирование
Анализ и понимание текста

Е. А. Черкашин

ИДСТУ им. В. М. Матросова СО РАН

26 ноября 2021, Иркутск

Парадигмы программирования

Парадигма программирования (ПП.) – совокупность идей и понятий, определяющих стиль проектирования компьютерных программ (П.) (подход к программированию); способ концептуализации, определяющий организацию вычислений и структурирование работы, выполняемой компьютером (Wikipedia).

- **Императивная** П. – последовательность операторов (C, Pascal).
  - **Низкоуровневая** П. – (1:1) – управляет непосредственно процессором (Assembler).
  - **Конкатенационная** ПП.: операторы (слова) можно “склеить” в машинный код (Forth).
  - **Структурное** П.: П. и структуры данных представляются *иерархически* (Pascal, C, ...).
  - **Switch**-П.меняет стратегию поведения при возникновении определенных событий (прием).
- **Функциональная** П. – суперпозиция функций $prog(x, y) = f(x, g(y, 5))$ (LISP, ML, Haskell, OCaML,...).
- **Логическая** П. – набор высказываний, необходимо доказать истинность (Prolog).

Парадигмы программирования (продолжение)

- П. **Переписывания** – набор правил замены “одной строки” (шаблона) на другую (Рефал).
  - **Макро**-П. – “раскрытие” структур (прием).
  - **BDD**[1]: “Раскрытие” поддеревьев (TEX, LATEX, ...).
- **Объектно**-ориентированная П. – набор объектов, посылающих друг другу сообщения.
  - **Компонентно**-ориентированная – система состоит из модулей, *интерфейсы* которых доступны во время выполнения ... (COM+, CORBA, ZCA).
  - **Прототипно**-ориентированная: объекты и классы порождаются клонированием (JavaScript, Lua).
  - **Агентно**-ориентированная П. – набор взаимодействующих *агентов*, поведение которых программируется независимо (прием).
  - **Аспектно**-ориентированные инструменты разработки позволяют порождать объекты ООП “послойно” (прием, AspectJ).
- **Порождающее** П. – часть программного кода генерируется из абстрактной модели (прием).
- **Грамотное** П.[2] – Документация и П. проектируются одновременно (статья в журнале).

[1] Binary Decision Diagrams

[2] Literate Programming © D. Knuth

Логическое программирование

– ПП., основанная на *автоматическом доказательстве теорем*, а также раздел дискретной математики, изучающий принципы логического вывода *суждений* на основе заданных *фактов* и *правил* вывода.

- “%” – комментарий, простирающийся до конца строки,
- Программа – набор фраз (clause):
  - факты
    ```
    works(mario,plumber).
    likes(mary,apple).
    contains(sedan,wheel,4).
    color(apple,red).
    color(orange,orange).
    ```
  - правила
    ```
    likes(kate,X) :-   % ':-' - Если
        likes(mary,X), % ',' - И
        color(X,red).  % X-переменная
    ```
  - запросы (суждения)
    ```
    ?- likes(kate, X).
    X=apple.
    ```

QR-код презентации

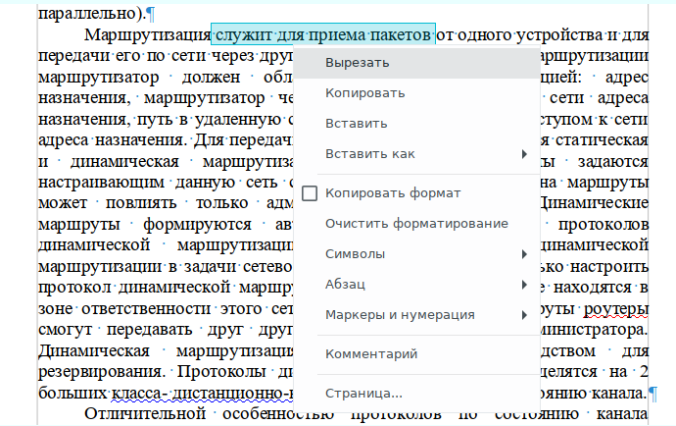
Актуальность понимания естественного языка

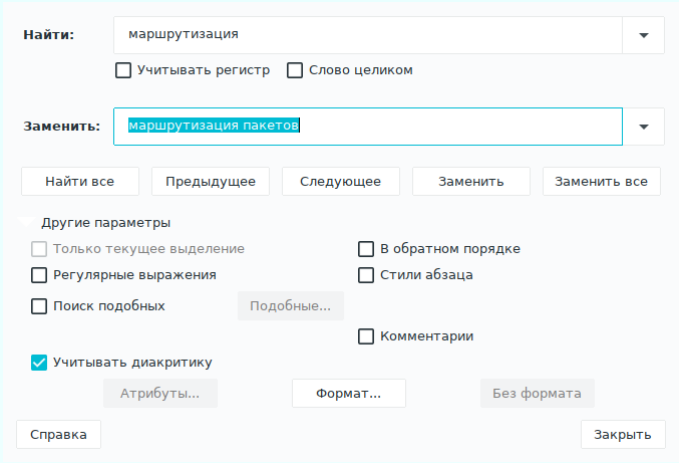
Понимание естественного языка (ЕЯ), перевод из одного ЕЯ на другой – **Направление ИИ**. Решаются следующие задачи:

1. Анализ текстов, помещение изъятой информации в базу данных:
   - изготовление шаблонов документов, отчетов;
   - синтез структур данных для ИС;
   - заполнение баз данных ИС и т.п.;
2. Ведение диалога с пользователем:
   - идентификация моделей и планирование действий (интеллектные пользовательские интерфейсы);
   - приобретение знаний (оболочки экспертных систем);
3. Управление приложением:
   - запросы на естественном языке к базам данных;
   - внесение изменений в данные;
   - командное управление («Проветрить квартиру»).

Графический пользовательский интерфейс

Специализирован на **унарных операциях над отдельными частями** информационного объекта.

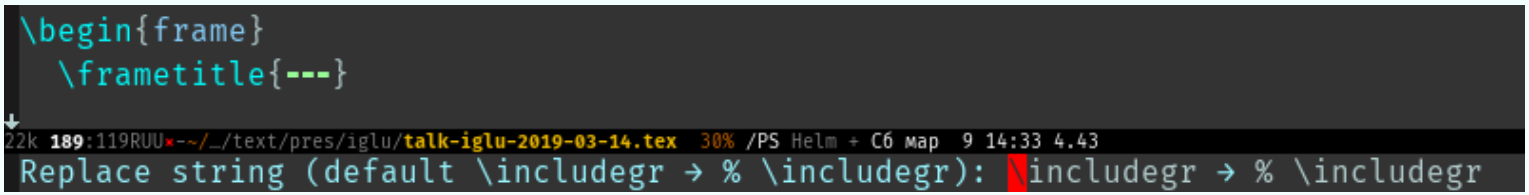




В операциях аргументы вводится в диалоговом окне (для операций с аргументами).

Более «умные» редакторы не используют контекстные операции (EMACS, VI, Visual Studio Code, Sublime, AutoCAD).

`Alt-X replace-string`, *Набирается как «Alt-X repl str»*



Язык

Семиотика (наука о знаках) делится на три раздела (Моррис)

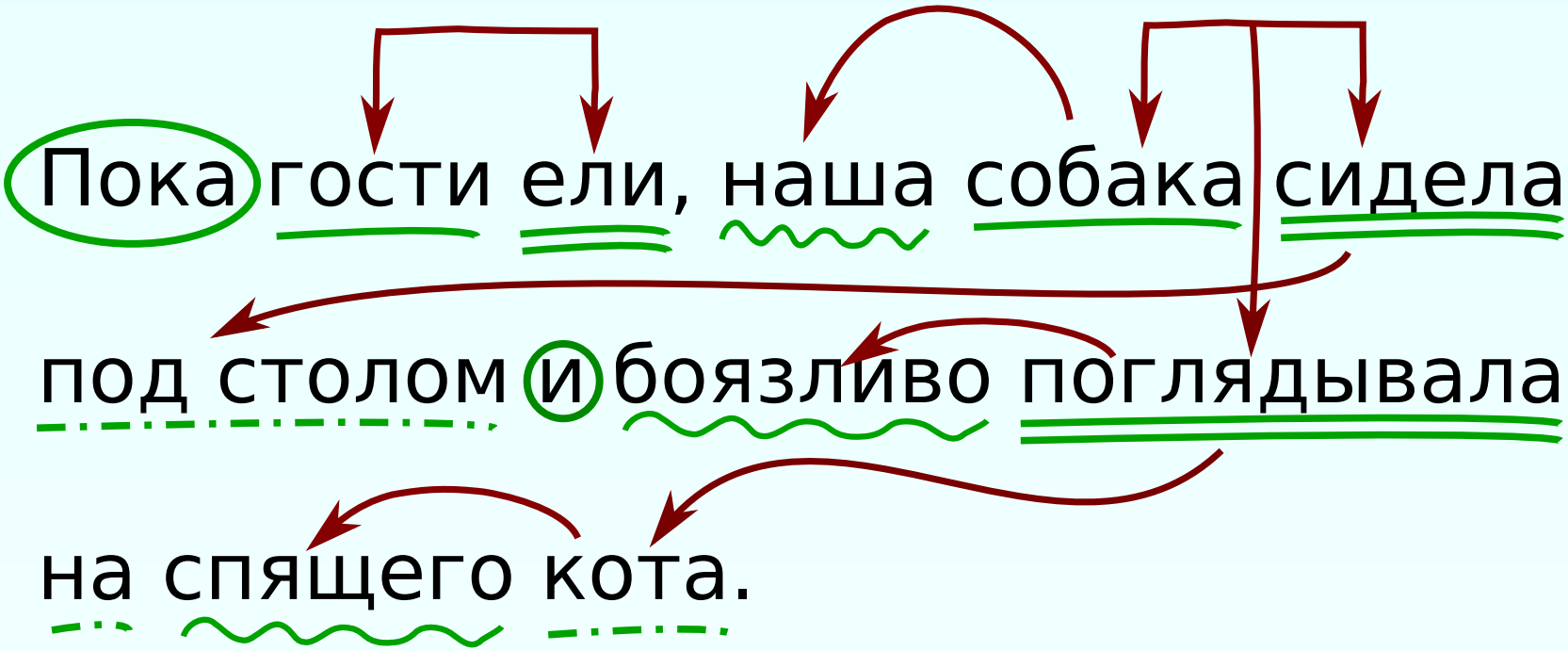
- **Семантика** — отношение знака к объекту:
  Что значит *знак*?
- **Синтаксис** — отношение знаков между собой –
  как создаются *новые смыслы* (термины, суждения)
  комбинированием *знаков*.
- **Прагматика** — отношение знака к субъекту:
  Что *обозначает предложение*, что надо дальше делать? На какой конкретно вопрос и как надо отвечать?

Язык программирования

Синтаксис на уровне грамматики определяет корректные последовательности символов (операторы, структуры). Но синтаксическая правильность не гарантирует даже осмысленности программы.
Семантика — это соответствие между синтаксически правильными программами и [вариантами] действий абстрактного исполнителя, то есть это смысл синтаксических конструкций.
Прагматика задает конкретизацию абстрактного вычислителя (конкретный процессор и др. ресурсы) для вычислительной системы. Стандарт языка программирования задаёт поведение вычислителя не полностью, конкретный транслятор языка переводит программу в конкретной машинный код на конкретную программно-аппаратную платформу.
Реализованный язык является прагматическим опосредованием абстрактной модели вычислений и ее реализацией на конкретном компьютере.

Цель программиста — получить нужный ему эффект в результате исполнения программы на конкретном оборудовании: трансляция и исполнение осуществляется на конкретных вычислителях.

Синтаксический разбор предложения



Грамматика

$$G = \langle T, N, \Sigma, R \rangle$$

T – множество терминальных символов (слова, буквы, IF, ELSE),
N – множество нетерминальных символов (обозначения, A, B, <noun>, <verb>), $T \cap N = \emptyset$,
Σ – стартовый символ (<программа>, <предложение>), $\Sigma \in N$,
R – множество правил грамматики
$\mathrm{A} \to \mathrm{B}$,
$R \subset ((T \cup N)^* N (T \cup N)^*) \times (T \cup N)^*$.

Язык $L(G) = \{\Omega \in T^* | \Sigma \to^* \Omega\}$.

Вывод $\Sigma \to^* \Omega$

$$\Sigma \to \Sigma\mathrm{A} \quad \Sigma \to \mathrm{A}$$

$$\mathrm{A} \to b\Sigma e \quad \mathrm{A} \to be$$

Пример: $a =$ ‘ $($’, $\quad b =$ ‘ $)$’.

Σ	Σ
A	A
$b\Sigma e$	(Σ)
$b\Sigma\mathrm{A}e$	$(\Sigma\mathrm{A})$
$b\mathrm{A}\mathrm{A}e$	(AA)
$bbe\mathrm{A}e$	$(()\mathrm{A})$
$bbebee$	$(()())$

Типы грамматик

По иерархии Ноама Хомского, грамматики делятся на **четыре** типа, каждый последующий является более ограниченным подмножеством предыдущего (но и легче поддающимся анализу):

- Тип 0. Неограниченные грамматики — возможны любые правила;
- Тип 1. Контекстно-зависимые грамматики — левая часть может содержать один нетерминал, окруженный «контекстом»; сам нетерминал заменяется непустой последовательностью символов в правой части;
- Тип 2. Контекстно-свободные грамматики — левая часть состоит из одного нетерминала;
- Тип 3. Регулярные грамматики — более простые, распознаются конечными автоматами.

Грамматика языка программирования C

```
<translation-unit> ::= {<external-declaration>}*

<external-declaration> ::= <function-definition>
                    | <declaration>

<function-definition> ::= {<declaration-specifier>}* <declarator> {<declaration>}* <compound-statement>
                    | union

<struct-declaration> ::= {<specifier-qualifier>}* <struct-declarator-list>
. . . . . .
<specifier-qualifier> ::= <type-specifier>
                    | <type-qualifier>

<struct-declarator-list> ::= <struct-declarator>
                    | <struct-declarator-list> , <struct-declarator>

<struct-declarator> ::= <declarator>
                    | <declarator> : <constant-expression>
                    | : <constant-expression>
. . . . . .
<selection-statement> ::= if ( <expression> ) <statement>
                    | if ( <expression> ) <statement> else <statement>
                    | switch ( <expression> ) <statement>

<iteration-statement> ::= while ( <expression> ) <statement>
                    | do <statement> while ( <expression> ) ;
                    | for ( {<expression>}? ; {<expression>}? ; {<expression>}? ) <statement>

<jump-statement> ::= goto <identifier> ;
                    | continue ;
                    | break ;
                    | return {<expression>}? ;
```

Пример трансляции

```c
#include <stdio.h>

typedef unsigned long int ulint;

ulint fact (ulint n) {
  if (n==0) return 1;
  if (n==1) return 1;
  return n*fact(n-1);
}

int main() {
  ulint n = 10;
  printf("Factorial of %lu = %lu.\n",
    n, fact(n));
  return 0;
}
```

```
        .file   "fact.c"
        .text
        .globl  fact
        .type   fact, @function
fact:
.LFB11:
        movl    $1, %eax
        cmpq    $1, %rdi
        jbe     .L4
.L3:
        imulq   %rdi, %rax
        subq    $1, %rdi
        cmpq    $1, %rdi
        jne    .L3
.L4:
        ret
.LFE11:
        .section    .rodata.str1.1,"aMS",@progbits,1
.LC0:
        .string     "Factorial of %lu = %lu.\n"
        .section    .text.startup,"ax",@progbits
        .globl  main
        .type   main, @function
main:
.LFB12:
        ;; . . . . . .
        ret
        .cfi_endproc
.LFE12:
        .size   main,  -main
        .ident  "GCC: (GNU) 8.2.1 20181127"
        .section    .note.GNU-stack,"",@progbits
```

Синтаксический разбор предложения

Корова трясет хвостом.

A cow shakes the tail.

```
% [a, cow, shakes, the, tail]
```

Грамматика:

- Множество **терминальных** символов – {a,b,c,...,z}. На самом деле, $\Sigma = \{a, cow, shakes, walks, ...\}$.
- Множество **нетерминальных** символов – `<sentence>`, `<noun>`, `<verb>`, …
- Стартовый символ – `<sentence>`.
- **Правила** упрощенного английского языка:

$$\langle sentence \rangle \rightarrow \langle noungroup \rangle \langle verbgroup \rangle \quad (1)$$

$$\langle noungroup \rangle \rightarrow \langle determinant \rangle \langle noun \rangle \quad (2)$$

$$\langle verbgroup \rangle \rightarrow \langle verb \rangle \langle noungroup \rangle \quad (3)$$

$$\langle noun \rangle \rightarrow cow \mid tail \mid \ ... \quad (4)$$

$$\langle verb \rangle \rightarrow walks \mid shakes \mid \ ... \quad (5)$$

$$\langle determinant \rangle \rightarrow a \mid the \mid \varepsilon \mid my \mid \ ... \quad (6)$$

Реализация программы–транслятора

Пишем программу!

Информационная система GeoBase. База данных

GeoBase – программа, позволяющая делать запросы на ЕЯ к базе данных по географии США, Borland, 1988.

```
state('alabama','al','montgomery',3894e3,51.7e3,22,'birmingham','mobile','montgomery','huntsville').
state('alaska','ak','juneau',401.8e3,591e3,49,'anchorage','fairbanks','juneau','sitka').

city('alabama','al','birmingham',284413).
city('alabama','al','mobile',200452).

border('florida','fl',['georgia','alabama']).

highlow('alabama','al','cheaha mountain',734,'gulf of mexico',0).

mountain('alaska','ak','mckinley',6194).
mountain('alaska','ak','st. elias',5489).

road('66',['district of columbia','virginia']).

lake('huron',59570,['michigan']).
```

```
  The database contains the following information:

Information about states:
  Area of the state in square kilometers
  Population of the state in citizens
  Capital of the state
  Which states border a given state
  Rivers in the state
  Cities in the state
  Highest and lowest point in the state in meters

Information about rivers:
  Length of river in kilometers

Information about cities:
  Population of the city in citizens
```

Примеры запросов

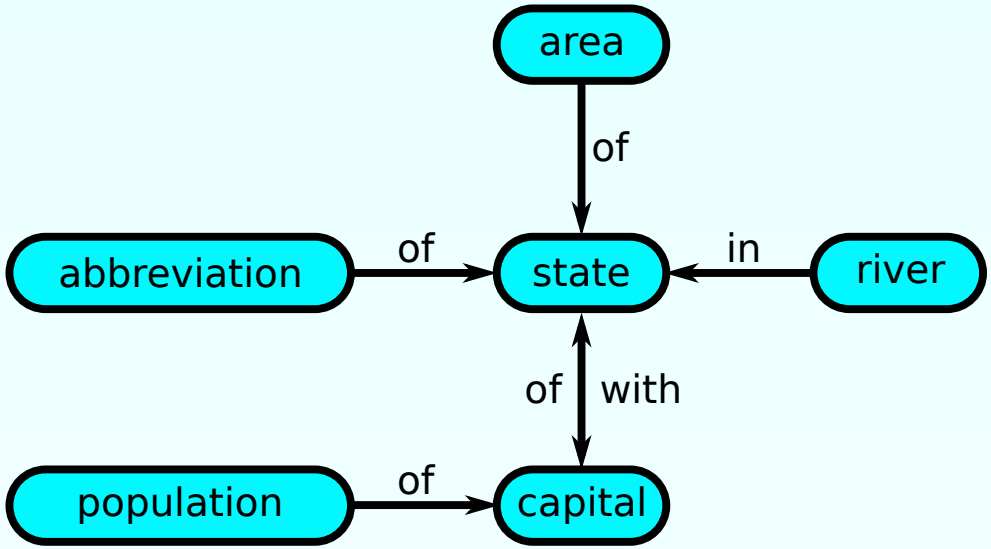
Some sample queries:

- states
- give me the cities in california.
- what is the biggest city in california ?
- what is the longest river in the usa?
- which rivers are longer than 1 thousand kilometers?
- what is the name of the state with the lowest point?
- which states border alabama?
- which rivers do not run through texas?
- which rivers run through states that border the state with the capital austin?

Смотрим работу GeoBase!

Схемы (спецификации) интерпретации

```
schema('abbreviation','of','state').
schema('state','with','abbreviation').
schema('capital','of','state').
schema('state','with','capital').
schema('population','of','state').

schema('area','of','state').
schema('city','in','state').

schema('length','of','river').
schema('state','with','river').
schema('river','in','state').

schema('capital','with','population').
schema('point','in','state').

schema('height','of','point').
schema('mountain','in','state').

schema('height','of','mountain').
schema('lake','in','state').

schema('name','of','river').
schema('name','of','capital').

schema('road','in','continent').
```



Программа

Основной цикл программы

```
geobase(STR, X, E):-
        STR \= "",
        atom_string(ATOM,STR),
        tokenize_atom(ATOM,LIST),      /* Returns a list of words(symbols)           */
        filter(LIST,LIST1),            /* Removes punctuation and words to be ignored*/
        pars(LIST1,E,Q),               /* Parses queries                             */
        findall(A,eval_interp(Q,A),L),
        unik(L,L1),
        % unit(E,U),
        member(X,L1).
```

Синтаксический анализатор (часть)

```
  pars(LIST,E,Q):-s_attr(LIST,OL,E,Q),check(OL),!.
  pars(LIST,_,_):-error(LIST),fail.
% . . . . . .
  /* How big is the biggest city – BIG QUERY */
  s_attr([BIG|S1],S2,E1,q_eaq(E1,A,E2,Q)):-
                size(_,BIG),s_minmax(S1,S2,E2,Q),
                size(E2,BIG),entitysize(E2,E1),
                schema(E1,A,E2),!.

  s_attr(S1,S2,E,Q):-s_minmax(S1,S2,E,Q).
% . . . . . .

/*  ... the shortest river in texas – MIN QUERY */
  s_assoc1([MIN|S1],S2,E1,A,q_eaq(E1,A,E2,q_min(E2,Q))):-minn(MIN),!,
                s_nest(S1,S2,E2,Q),schema(E1,A,E2).

/*  ... the longest river in texas – MAX QUERY */
  s_assoc1([MAX|S1],S2,E1,A,q_eaq(E1,A,E2,q_max(E2,Q))):-maxx(MAX),!,
                s_nest(S1,S2,E2,Q),schema(E1,A,E2).
```

Корпус, источник данных

`population of Washington`

Население штата или города?

```
?- schema('population','of','city').
?- schema('population','of','state').
```

Корпус реализован при помощи реструктуризации базы данных.

```
% . . . . . .
/* Relationships about states */
db(abbreviation,of,state,ABBREVIATION,STATE):-  state(STATE,ABBREVIATION,_,_,_,_,_,_,_,_).
db(state,with,abbreviation,STATE,ABBREVIATION):-state(STATE,ABBREVIATION,_,_,_,_,_,_,_,_).
db(area,of,state,AREA,STATE):-        state(STATE,_,_,_,AREA1,_,_,_,_,_),str_real(AREA,AREA1).
db(capital,of,state,CAPITAL,STATE):-  state(STATE,_,CAPITAL,_,_,_,_,_,_,_).
db(state,with,capital,STATE,CAPITAL):-state(STATE,_,CAPITAL,_,_,_,_,_,_,_).
db(population,of,state,POPULATION,STATE):-state(STATE,_,_,POPUL,_,_,_,_,_,_),str_real(POPULATION,POPUL).
db(state,border,state,STATE1,STATE2):-border(STATE2,_,LIST),member(STATE1,LIST).

/* Relationships about rivers */
db(length,of,river,LENGTH,RIVER):-    river(RIVER,LENGTH1,_),str_real(LENGTH,LENGTH1).
db(state,with,river,STATE,RIVER):-    river(RIVER,_,LIST),member(STATE,LIST).
db(river,in,state,RIVER,STATE):-      river(RIVER,_,LIST),member(STATE,LIST).

/* Relationships about points */
db(point,in,state,POINT,STATE):-      highlow(STATE,_,POINT,_,_,_).
db(point,in,state,POINT,STATE):-      highlow(STATE,_,_,_,POINT,_).
db(state,with,point,STATE,POINT):-    highlow(STATE,_,POINT,_,_,_).
db(state,with,point,STATE,POINT):-    highlow(STATE,_,_,_,POINT,_).
db(height,of,point,HEIGHT,POINT):-    highlow(_,_,_,_,POINT,H),str_real(HEIGHT,H),!.
db(height,of,point,HEIGHT,POINT):-    highlow(_,_,POINT,H,_,_),str_real(HEIGHT,H),!.
% . . . . . .
```

Программа

Интерпретация запроса …`findall(A,eval_interp(Q,A),L),`

…

```
  eval_interp(Q,IAns):-
                eval(Q,A),
                e_i(A,IAns).

  eval(q_min(ENT,TREE),ANS):-
                findall(X,eval(TREE,X),L),
                entitysize(ENT,ATTR),
                sel_min(ENT,ATTR,99e99,'',ANS,L).

  eval(q_max(ENT,TREE),ANS):-
                findall(X,eval(TREE,X),L),
                entitysize(ENT,ATTR),
                sel_max(ENT,ATTR,-1,'',ANS,L).

  eval(q_sel(E,gt,ATTR,VAL),ANS):-
                schema(ATTR,ASSOC,E),
                db(ATTR,ASSOC,E,SVAL2,ANS),
                str_real(SVAL2,VAL2),
                VAL2>VAL.
% . . . . . .
  eval(q_eaq(E1,A,E2,TREE),ANS):-
                eval(TREE,VAL),db(E1,A,E2,ANS,VAL).

  eval(q_eaec(E1,A,E2,C),ANS):-db(E1,A,E2,ANS,C).

  eval(q_e(E),ANS):-        ent(E,ANS). % EVAL "ATOM"

  eval(q_or(TREE,_),ANS):- eval(TREE,ANS).

  eval(q_or(_,TREE),ANS):- eval(TREE,ANS).

  eval(q_and(T1,T2),ANS):- eval(T1,ANS1),eval(T2,ANS),ANS=ANS1.
```

Заключение

Чтобы компьютер понимал, что хочет пользователь надо реализовать следующие модели:

1. Грамматику языка (синтаксис),
2. Семантику его элементов,
3. Прагматику:
   - Соответствие предложений языка смыслам и действиям, для этого всегда требуется,
   - Модель предметной области.

Актуальные (хайповые) проекты по теме – программирование **навыков** голосовых помощников (Алиса, Маруся, Сири, G-Hoy, Алекса, Робин, Сяо-Ай, Олег, Дуся, Горыныч, Тайп, Агрегат).

Умный дом.

Спасибо за внимание!

QR-код презентации