



Сошников Дмитрий Валерьевич

к.ф.-м.н., доцент

dmitryso@microsoft.com

Логическое программирование



Факультет Прикладной математики и физики

Кафедра Вычислительной математики и программирования

Московский авиационный институт (государственный технический университет)

Лекция 5

Языки логического программирования
Пролог и Mercury

Пролог-программа



```
speciality(X,tech_translator) :-
studied_languages(X),studied_technical(X).
speciality(X,programmer) :-
    studied(X,mathematics),studied(X, compscience).
speciality(X,lit_translator) :-
studied_languages(X),studied(X,literature).

studied_technical(X) :- studied(X,mathematics).
studied_technical(X) :- studied(X,compscience).
studied_languages(X) :- studied(X,english).
studied_languages(X) :- studied(X,german).

studied(petya,mathematics).    studied(vasya,german).
studied(petya,compscience).    studied(vasya,literature).
studied(petya,english).
```

```
?- specialty(petya,X).
```

Правила

Факты

Запрос

Объекты программы



- Алфавит = ASCII



Атомы и числа



- Константы, соответствующие объектам предметной области
- Во всей программе одинаковые атомы соответствуют одному и тому же объекту
- Синтаксис:
 - Слово со строчной буквы `petya`
 - Последовательность спецсимволов `<=`
 - Символы в кавычках `'Petya Ivanov'`

Переменные



- Синтаксис:
 - Начинаются с заглавной буквы или _
 - _ - анонимная переменная
- Область действия – одно правило
 - Две переменные с одним и тем же именем в разных правилах – разные

```
has_child(X) :- parents(X,Y,Z).  
has_child(X) :- parents(Y,X,Z).
```

```
has_child(_123) :- parents(_123,_124,_125).  
has_child(_126) :- parents(_127,_126,_128).
```

- _ - означает все время разные переменные

```
has_child(X) :- parents(X,_,_).  
has_child(X) :- parents(_,X,_).
```

Квантификация переменных



```
has_child(X) :- parents(X,Y,Z) .
```

- Переменные, входящие в заключение правила, квантифицированы универсально
- Переменные, входящие только в посылку, квантифицированы экзистенциально

$$(\forall X) \text{ has_child}(X) \subset (\exists Y)(\exists Z) \text{ parents}(X, Y, Z)$$
$$(\forall X)(\forall Y)(\forall Z) \text{ has_child}(X) \vee \neg \text{parents}(X, Y, Z)$$

Свободные и связанные переменные



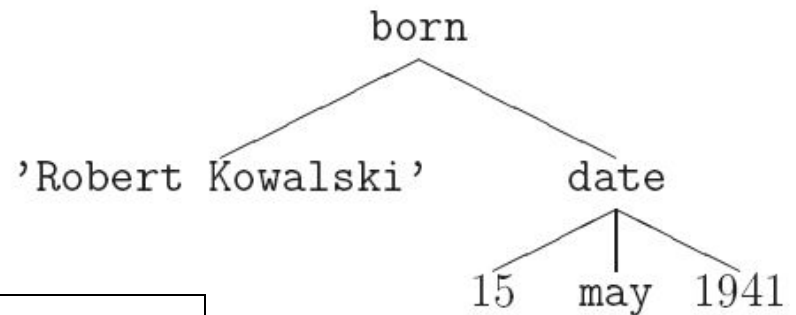
- В каждый момент времени переменная может быть свободной или связанной
- Переменная связывается в процессе унификации
- Повторная унификация не изменяет значения переменной
- Переменная может изменить значение (перестать быть связанной) в процессе возврата (backtracking)

Структурные термины



- функтор(терм_1,...,терм_n)
 - функтор/n – арность=n

```
born('Robert Kowalski',15,may,1941).
```



```
born('Robert Kowalski',date(15,may,1941)).
```

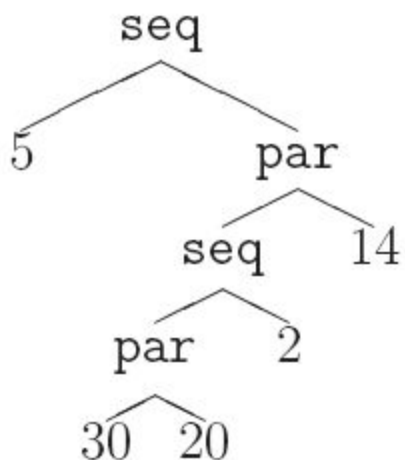
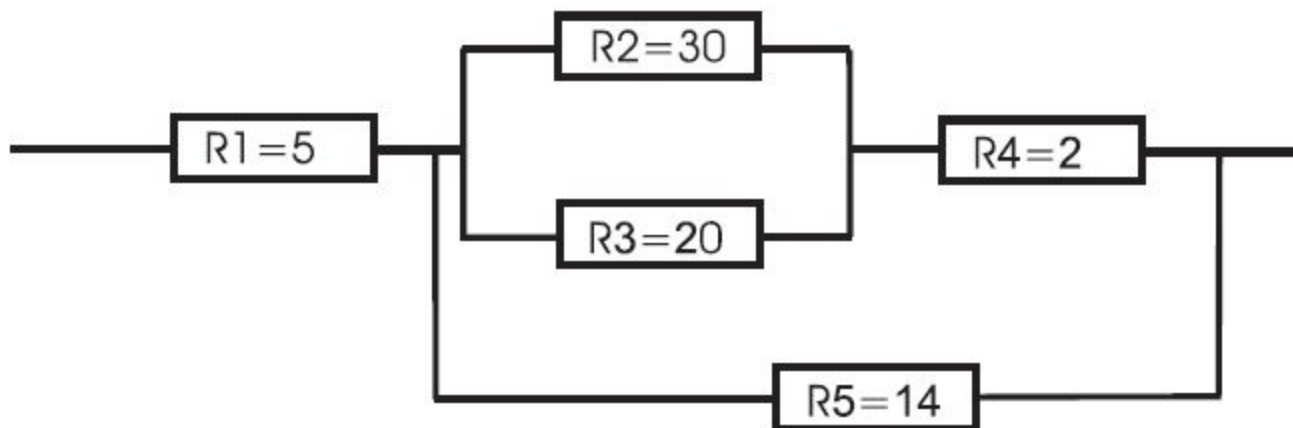
```
pension_age(X) :- born(X,Date),  
    addyears(Date,60,Date1),  
    current_date(Date2),date_less(Date1,Date2).
```

Унификация структурных термов



- Унификация в Прологе
 - Явная $f(X,a) = f(b,Y)$
 - Неявная в процессе поиска правил
 - $\text{pred}(f(X,a)) :- \dots \Leftrightarrow f(Z) :- Z=f(X,A), \dots$
- Правила унификации
 - Константа унифицируется с такой же константой, разные константы не унифицируются
 - Свободная переменная унифицируется с чем угодно и связывается
 - Связанная переменная унифицируется как значение, с которым она связана
 - Структурные термы унифицируются, если
 - У них одинаковый функтор и арность
 - Все аргументы попарно унифицируются

Структурные термы для представления бесконечных объектов

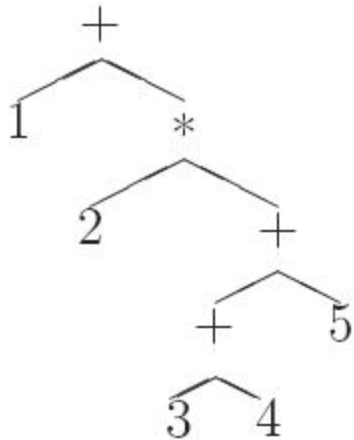


$C = \text{seq}(5, \text{par}(\text{seq}(\text{par}(30, 20), 2), 14)) .$

Операторная нотация



- С помощью структурных термов можно записывать арифметические выражения



`Expr=+(1,*(2,(+(3,4),5)))`.
`Expr= 1+2*(3+4+5)`.

?- `X is 1+2*(3+4+5)`.
`X = 25`
?- `X = +(1,*(2,(+(3,4),5)))`, `Y is X`.
`X = 1+2*(3+4+5)`
`Y = 25`

Характеристики операторов



- Арность
 - одноместный $\text{not } x$
 - двухместный $x + y$
- Позициональность
 - инфиксный $x + y$
 - префиксный $\text{not } x$
 - постфиксный $x!$
- Ассоциативность
 - Левоассоциативный $x \diamond y \diamond z = (x \diamond y) \diamond z$
 - Правоассоциативный $x \diamond y \diamond z = x \diamond (y \diamond z)$
- Приоритет
 - $1 + 2 * 3 = 1 + (2 * 3)$

Пример



```
?- C = seq(5,par(seq(par(30,20),2),14)), resistance(C,X).
```

```
resistance(seq(X,Y),R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY), R is RX + RY.  
resistance(par(X,Y),R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY),  
    R is RX*RY/(RX + RY).  
resistance(R,R).
```

```
resistance(seq(X,Y),R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY), R = RX + RY.  
resistance(par(X,Y),R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY),  
    R = RX*RY/(RX + RY).  
resistance(R,R).
```

Пример символьной обработки



```
resistance(seq(X,Y),R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY), R = RX + RY.  
resistance(par(X,Y),R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY),  
    R = RX*RY/(RX + RY).  
resistance(R,R).
```

```
?- resistance(seq(5,par(seq(par(30,20),2),14)),X).  
X = 5+(30*20/(30+20)+2)*14/(30*20/(30+20)+2+14)  
?- resistance(seq(5,par(seq(par(30,20),2),14)),X), Y is X.  
X = 5+(30*20/(30+20)+2)*14/(30*20/(30+20)+2+14),Y = 12
```

```
?- resistance(seq(r1,par(seq(par(r2,r3),r4),r5)),X).  
X = r1+(r2*r3/(r2+r3)+r4)*r5/(r2*r3/(r2+r3)+r4+r5)
```

Использование + и *



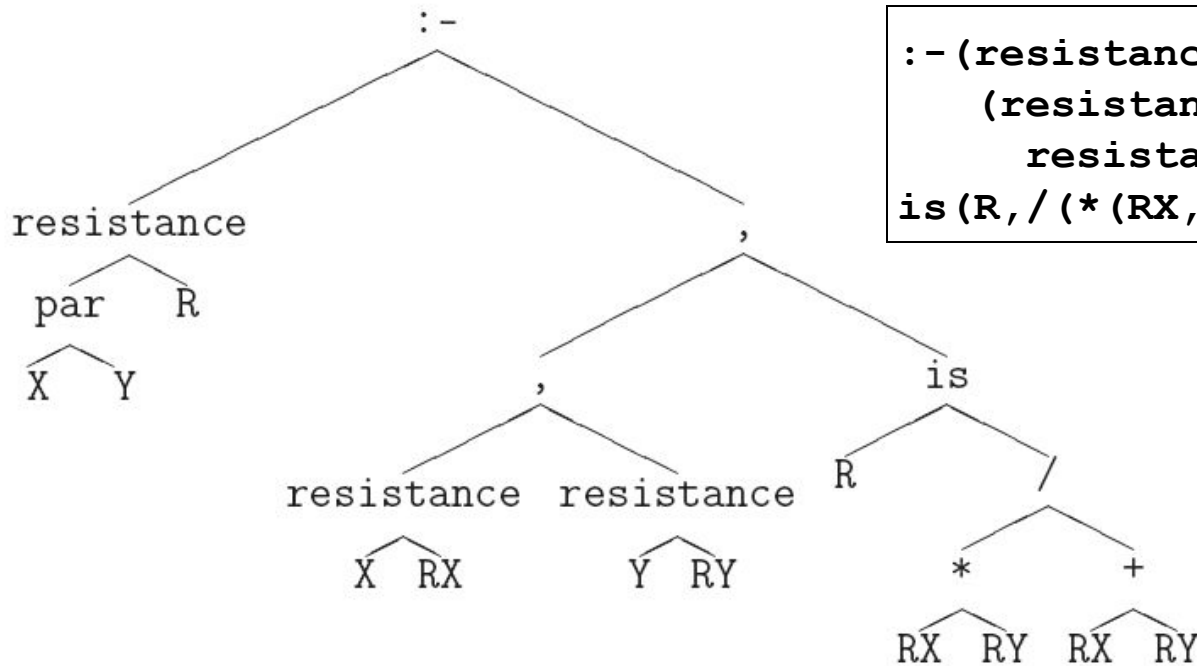
```
resistance(X+Y,R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY), R is RX + RY.  
resistance(X*Y,R) :-  
    resistance(X,RX), resistance(Y,RY),  
    R is RX*RY/(RX + RY).  
resistance(R,R).
```

```
?- resistance(5+(30*20+2)*14,X).  
X = 12.
```


В начале было дерево...



```
resistance (par (X,Y) ,R) :-  
    resistance (X,RX) , resistance (Y,RY) ,  
    R is RX*RY/(RX + RY) .
```



```
:- (resistance (par (X,Y) ,R) , , (,  
    (resistance (X,RX) ,  
        resistance (Y,RY) ) ,  
    is (R, / (* (RX,RY) ,+ (RX,RY) )))
```

Пользовательские операторы



`:- op (<приоритет> , <шаблон> , <оператор>) .`

- Приоритет – от 1 (высший) до 255 (низший)
- Оператор – послед. спецсимволов или функтор
- Шаблон – задает арифметичность, позициональность и ассоциативность

| Шаблон | Вид оператора | Ассоциативность |
|--------|---------------|--------------------|
| fx | унарный | неассоциативный |
| fy | префиксный | ассоциативный |
| xfx | бинарный | неассоциативный |
| xfy | инфиксный | правоассоциативный |
| yfx | | левоассоциативный |
| xf | унарный | неассоциативный |
| yf | постфиксный | ассоциативный |

Пример



```
:- op(210, xfx, ==>) .  
:- op(200, yfx, !) .  
:- op(205, yfx, -) .
```

```
X-Y ==> R :-  
    X ==> RX, Y ==> RY, R is RX + RY.  
X!Y ==> R :-  
    X ==> RX, Y ==> RY, R is RX*RY/(RX + RY) .  
R ==> R.
```

```
?- 5-(30!20-2)!14 ==> X.  
X = 12.
```

- Таким образом, мы определили Domain-Specific Language (DSL) для задания конфигурации цепи резисторов и операцию вычисления сопротивления.

Встроенные предикаты



- true – всегда завершается успешно
- fail – всегда завершается неуспешно

- Вопрос: как можно определить предикаты true и fail?

- true :- 1=1.
- fail :- 1=2.

ВВОД-ВЫВОД



```
?- specialty(petya, X) .
```

```
main :-  
    specialty(petya, X) ,  
    write(X) ,  
    nl, fail.
```

```
main :-  
    write('Имя студента?') ,  
    read(Name) ,  
    specialty(Name, Spec) ,  
    write(Spec) ,  
    nl.
```

- write(X) – печать на текущий файл вывода
- read(X) – чтение терма (заканчивающегося .) из текущего файла ввода
- nl – newline, печать возврата строки
- see(filename), tell(filename) – открытие файла на ввод/вывод
- seeing(X), telling(X) – проверка в какие файлы идет ввод/вывод

Язык Mercury



- Разрабатывается университетом Мельбурна
- <http://www.cs.mu.oz.au/research/mercury/>
- Функционально-логический язык программирования
- Строгая типизация
- Компилятор
 - UNIX-платформы, .NET, C
- Если программа компилируется, она скорее всего будет работать правильно!

Пример программы



```
:- module factorial.  
:- interface.  
:- pred main(io__state,io__state).  
:- mode main(di,uo) is cc_multi.  
  
:- implementation.  
  
:- import_module io.  
:- import_module int.  
  
:- pred fact(int,int).  
:- mode fact(in,out) is cc_multi.  
  
fact(1,1).  
fact(N,R) :- N1 is N-1, fact(N1,R1), R is R1*N.  
  
main(IN,OUT) :-  
    fact(5,X), print(X,IN,I1), nl(I1,OUT).
```

Пример с цепью резисторов



```
:- type resistance == int.  
:- type circuit -->  
    r(resistance);  
    seq(circuit,circuit);  
    par(circuit,circuit).
```

```
:- pred res(circuit,resistance).  
:- mode res(in,out) is det.
```

```
res(seq(C1,C2),R) :-  
    res(C1,R1), res(C2,R2),  
    R is R1+R2.  
res(par(C1,C2),R) :-  
    res(C1,R1), res(C2,R2),  
    R is (R1*R2)/(R1+R2).  
res(r(X),X).
```


Режимы предикатов (mode)



- Предикаты могут допускать различные конкретизации входных переменных
 - **speciality(in,out), speciality(out,in), speciality(in,in), speciality(out,out)**
 - **resistance(in,out), resistance(in,in)**
- Некоторые режимы являются частным случаем других
- Основные режимы определяют процесс доказательства
- Несколько вариантов детерминизма в каждом из режимов:
 - det – ровно одно решение (fact, ...)
 - nondet – 0 и более решений (speciality(in,out),...)
 - multi – 1 и более решений (speciality(out,out),...)
 - ...
- Mercury проверяет соответствие определения предиката и его режима и детерминизма

Пример



```
:- pred fact(int,int).  
:- mode fact(in,out) is multi.  
fact(1,1).  
fact(N,R) :- N1 is N-1, fact(N1,R1), R is R1*N.
```

```
:- func fact(int) = int.  
:- mode fact(in) = out is det.  
fact(N) = R :- (N=<0 -> R=1 ; R is fact(N-1)*N).
```

ВВОД-ВЫВОД



```
:- pred main(io__state,io__state).  
:- mode main(di,uo) is det.
```

```
main(I,O) :-  
res(seq(r(5),par(seq(par(r(30),r(20)),r(2)),r(14))),X),  
write(X,I,I1), nl(I1,O).
```

```
main -->  
{ res(seq(r(5),par(seq(par(r(30),r(20)),r(2)),r(14))),X) },  
write(X), nl.
```

DCG-нотация



- Часто в задачах грамматического разбора встречается ситуация, когда приходится использовать конструкции вида:

$$P(X, A, D) :- Q(X, A, B), R(B, C), S(X, C, D).$$
$$P(X) --> Q(X), R, S(X).$$
$$P(X, A, D) :- Q(X, A, B), R(B, C), T(X), S(X, C, D).$$
$$P(X) --> Q(X), R, \{T(X)\}, S(X).$$

Функциональная нотация



```
:- func fact(int) = int is det.  
fact(N) = R :- (N=<0 -> R=1 ; R is fact(N-1)*N) .
```

```
:- pred main(io__state,io__state).  
:- mode main(di,uo) is det.  
main -->  
  {X=fact(5)},  
  print(X),  
  nl.
```

```
:- func res(circuit) = resistance is det.  
  
res(seq(C1,C2)) = res(C1)+res(C2) .  
res(par(C1,C2)) = (res(C1)*res(C2)) / (res(C1)+res(C2)) .  
res(r(X)) = X.  
  
main --> write(res(par(r(20),seq(r(10),r(20))))), nl.
```

Операторная нотация



```
:- func res(circuit) = resistance is det.  
  
res(C1 `seq` C2) = res(C1)+res(C2).  
res(C1 `par` C2) = (res(C1)*res(C2))/(res(C1)+res(C2)).  
res(r(X)) = X.  
  
main --> write(res(r(20) `par` (r(10) `seq` r(20)))), nl.
```



Мораль



- Пролог – классический язык логического программирования, удобный для изучения благодаря режиму интерпретации и широкой распространенности и доступности на всех платформах
- Mercury – современный исследовательский язык функционально-логического программирования, воплощающий последние идеи и использующийся в коммерческом программировании