Programação Prolog

- Programas Prolog são representados por *cláusulas de Horn*, um subconjunto de *lógica de primeira ordem*, onde cada cláusula só pode conter no máximo um literal positivo na cabeça da cláusula (máximo um consequente positivo).
- Prolog: linguagem declarativa.
- Programa: conjunto de *fatos* e/ou *regras* que definem relações entre objetos.
- Computação de um programa em lógica é a dedução dos consequentes do programa.
- *Fatos*: relações consideradas sempre verdadeiras (axiomas).
- *Regras*: Relações que são verdadeiras ou falsas dependendo de outras relações.

Programação Prolog

- Exemplos:

```
Fatos:                  Regras:
valioso(ouro).          gosta(john,X) :- gosta(X,vinho).
sexo_feminino(jane).    passaro(X) :- animal(X),
                                      tem_penas(X).
pai(john,mary).         irma(X,Y) :- sexo_feminino(X),
                                     pais(M,F,X),
                                     pais(M,F,Y).
humano(socrates).
ateniense(socrates).
```

- Atenção à sintaxe!

Programação Prolog: A Linguagem – Sintaxe

- Termos:
  - Variáveis: `X`, `Y`, `C1`, `_ABC`, `Input`
  - Constantes: `prolog`, `a`, `123`, `'rio de janeiro'`
  - Estruturas (termos compostos):

    `dono(john,livro(ulysses,autor(james,joyce)))`
- Caracteres: letras maiúsculas, letras minúsculas, dígitos, sinais do teclado.
- Símbolos especiais: `:-` `;` `,` `.`
- Comentários:
  - linha: `% isto e' um comentario`.
  - texto: `/* este tambem e' um comentário */`

Programação Prolog: A Linguagem – Sintaxe

- Operadores: +, `-`, *, / etc.
- Igualdade e "matching":

  `a(b,c,d(e,F,g(h,i,j))) = a(B,C,d(E,f,g(H,i,j)))`
- Aritmética números: `=`, `=`, <, >, `=`<, >`=`
- Aritmética strings/termos: `==`, `==` `@`<, `@`>
- Observação: Prolog **não avalia** expressões que não apareçam explicitamente no corpo da cláusula no contexto do operador especial **is**.
  - `p(2+3,4*5).`
  - Estas operações não são avaliadas!!!
  - Para obrigar a avaliação: `p(X,Y) :- X is 2+3, Y is 4*5.`

Programação Prolog: Exemplo simples

```
parent(C,M,F) :- mother(C,M),father(C,F).

mother(john,ann).
mother(mary,ann).
father(mary,fred).
father(john,fred).    female(mary).
```

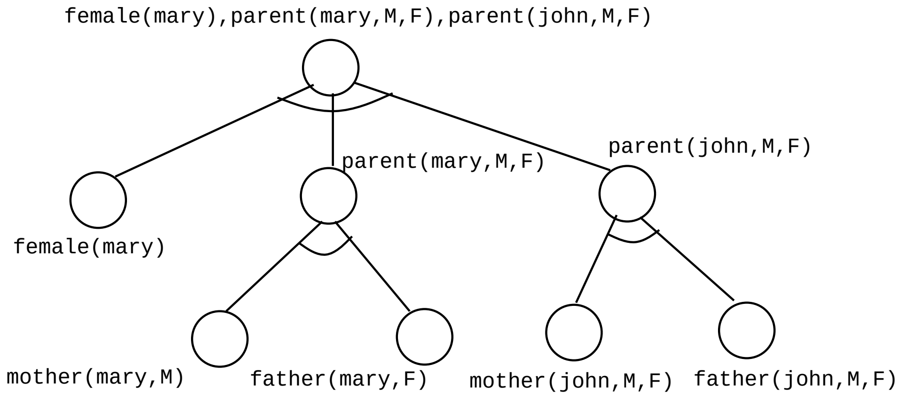
Consulta:

```
?- female(mary),parent(mary,M,F),parent(john,M,F).
```

Programação Prolog: Exemplo simples – observações

- Interpretação declarativa da consulta: "dado que `mary` é do sexo feminino, `mary` e `john` são irmãos"?
- Interpretação procedural: "Para resolver `parent/3`, precisamos resolver `mother/2 & father/2`". (nb: pred/2 é uma notação sintática para representar um predicado e sua aridade – número de argumentos).
- Mecanismo procedural de execução constrói uma *árvore de execução*.

Árvore de Execução para exemplo simples



Programação Prolog: Outras estruturas de Dados

- Listas: estrutura de dados especial em Prolog.
- Exs:
  - []: lista vazia.
  - [the,men,[like,to,fish]]
  - [a,V1,b,[X,Y]]
- Estrutura geral de lista não vazia: **[Head|Tail]**
- Head: primeiro elemento da lista (pode ser de qualquer tipo).
- Tail: lista restante (tipo é **obrigatoriamente** uma lista).

- Exemplos:

Lista	Head	Tail
`[a,b,c]`	`a`	`[b,c]`
`[a]`	`a`	`[]`
`[[the,cat],sat]`	`[the,cat]`	`[sat]`
`[the,[cat,sat]]`	`the`	`[[cat,sat]]`
`[X+Y,x+y]`	`X+Y`	`[x+y]`
`[]`	no head	no tail

Programação Prolog: igualdades de listas

`[X,Y,Z]`	=	`[john,likes,fish]`	`X=john, Y=likes, Z=fish`
`[cat]`	=	`[X|Y]`	`X=cat, Y=[]`
`[]`	=	`[X|Y]`	sempre falha!!!

Programação Prolog: Árvores

- **a+b*c, +(a,*(b,c))**

```
      +
     / \
    a   *
       / \
      b   c
```

- sentence(noun(john),verb_phrase(verb(likes),noun(mary)))

```
      sentence
        /  \
     noun  verb_phrase
      /       /   \
    john   verb  noun
             |     |
          likes  mary
```

Programação Prolog: obtenção de múltiplas soluções

- *Backtracking* (retrocesso) é utilizado em Prolog na presença de falhas ou para obtenção de múltiplas soluções.
- Quando tenta satisfazer um objetivo, Prolog marca aquele objetivo como sendo um ponto de escolha.
- Se o objetivo falhar, Prolog desfaz todo o trabalho feito até o ponto em que criou o ponto de escolha.
- A partir daí, começa novamente procurando outra alternativa para o objetivo.

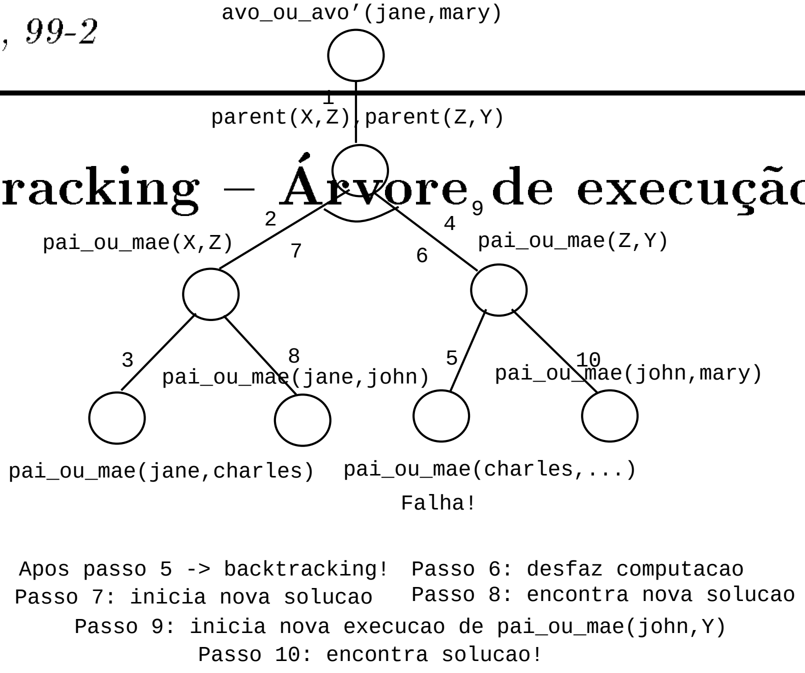
Backtracking – Exemplo

```
avo_ou_avo'(X,Y) :- pai_ou_mae(X,Z), pai_ou_mae(Z,Y).

pai_ou_mae(jane,charles).
pai_ou_mae(john,mary).
pai_ou_mae(fred,jane).
pai_ou_mae(jane,john).

consulta: ?- avo_ou_avo'(jane,mary).
```

Backtracking – Árvore de execução do Exemplo



O Operador de Corte – ! (*cut*)

- Controlado pelo programador.
- Reduz o espaço de busca.
- Implementa exceções.
- Em combinação com **fail**.
- Exemplos:

```
append([],X,X) :- !.
append([A|B],C,[A|D]) :- append(B,C,D).

not(P) :- call(P),!,fail.
not(P).
```

O Operador de Corte – comentários sobre exemplos

- No primeiro exemplo: redução do espaço de busca.
- Utilizado quando o usuário entra com consulta do tipo: `append(L1,L2,[a,b,c])`, onde há várias soluções (há várias sublistas `L1` e `L2` que quando concatenadas resultam em `[a,b,c]`).
- Segundo exemplo implementa combinação cut-fail. Implementa *negação por falha finita.* Se `P` for verdadeiro, isto é, Prolog consegue satisfazer P, então `not(P)` retorna falha (falso). Se Prolog não conseguir satisfazer `P`, então `not(P)` retorna verdadeiro através da segunda cláusula.

Alguns Predicados Pré-definidos

- Entrada/Saída.
  - Abrindo e fechando arquivos em disco: `open(Fd,name,rwa)`, `close(Fd)`.
  - Lendo arquivos: `see, seeing, seen`
  - Escrevendo em arquivos: `tell, telling, told`
  - Escrevendo termos e caracteres: `nl, tab, write, put, display, format`
  - Lendo termos e caracteres: `get, get0, read, skip`
  - Consultando (carregando) programas: `[ListOfFiles], consult, reconsult`
  - Compilando programas: `compile(file)` (nb. predicados dinâmicos e estáticos – `:-dynamic pred/n`, `static pred/n`)

Alguns Predicados Pré-definidos

- Declaração de operadores.
  - posição
  - classe de precedência
  - associatividade
- Operadores possíveis: ('f' é a posição do operador, 'y' representa expressões que podem conter operadores com ordem de precedência maior ou igual do que a precedência do operador definido, 'x' representa expressões que podem contem operadores com ordem de precedência menor do que a precedência do operador definido)
  - binários: `xfx`, `xfy`, `yfx`, `yfy`
  - unários: `fx`, `fy`, `xf`, `yf`
- Exemplos:

```
:- op(255,xfx,':-').
:- op(40,xfx,'=').
:- op(31,yfx,'-').
```

Entrada de Novas cláusulas

- Forma 1: consultar arquivo editado off-line.
- Forma 2: `[user]`. No modo consulta, o sistema coloca outro 'prompt' e espera o usuário entrar com definições de novas cláusulas. Para sair do modo de entrada de cláusulas: `Ctrl-D` em unix e `Ctrl-Z` em DOS.
- Forma 3: utilização de predicado pré-definido: `assert`.
- `asserta(p(a,b))` insere no início do procedimento `p`, uma nova cláusula `p(a,b).`.
- `assertz(p(a,b))` insere no final do procedimento `p`, uma nova cláusula `p(a,b).`.

Outros predicados pré-definidos

- Sucesso e falha: `true` e `fail`.
- Classificação de termos: `var(X)`, `atom(X)`, `nonvar(X)`, `integer(X)`, `atomic(X)`.
- Meta-programação: `clause(X,Y)`, `listing(A)`, `retract(X)`, `abolish(X)`, `setof`, `bagof`, `findall`.
- Mais meta-programação: `functor(T,F,N)`, `arg(N,T,A)`, `name(A,L)`, `X =.. L`.
- Afetando backtracking: `repeat`.
- Conjunção, Disjunção e execução de predicados: `X, Y`, `X; Y`, `call(X)`, `not(X)`.
- Depurando programas: `trace`, `notrace`, `spy`.

Manipulação de Listas

- Relação de pertinência a conjuntos: relação `pertence`, número de argumentos necessários: 2, o elemento que se procura e a lista (conjunto de elementos).

```
/* X foi encontrado, portanto pertence ‘a lista */
pertence(X,[X|_]).
/* X ainda nao foi encontrado, portanto
   pode pertencer ao resto da lista */
pertence(X,[Y|L]) :- pertence(X,L).
```

Manipulação de Listas

- Concatenação de duas listas: relação `concat`, número de argumentos necessários: 3, duas listas de entrada e a lista resultante da concatenação.

```
/* a concatenacao de uma lista com a
   lista vazia e' a propria lista */
concat([],L,L).
/* o resultado da concatenacao de uma lista
   nao vazia L (representada por [H|L1] com
   outra lista qualquer L2 e' uma lista que
   contem o primeiro elemento da primeira lista (H)
   e cuja cauda e' o resultado da concatenacao da
   cauda da primeira lista com a segunda lista.
*/
concat([H|L1],L2,[H|L3]) :- concat(L1,L2,L3).
```

Manipulação de Listas

- Encontrar o último elemento de uma lista: relação `last`, número de argumentos necessários: 2, o elemento que se procura e a lista (conjunto de elementos). Semelhante ao programa `pertence`.

```
/* X e' o ultimo elemento, pois
   a lista contem um unico elemento */
last(X,[X]).
/* X nao e' o ultimo, pois a lista contem
   mais elementos, para ser ultimo tem que estar
   na cauda da lista */
last(X,[_|L]) :- last(X,L).
```

Manipulação de Listas

- Reverso de uma lista: relação `rev`, número de argumentos necessários: 2, uma lista de entrada e a lista resultante reversa.

```
/* o reverso de uma lista vazia e' a lista vazia */
rev([],[]).
/* o reverso de uma lista nao vazia [H|L1] e' obtido
   atraves da concatenacao do reverso da cauda desta
   lista (L1) com o primeiro elemento da lista (H)
*/
rev([H|L1],R) :- rev(L1,L2), concat(L2,[H],R).
```

Manipulação de Listas

- Tamanho de uma lista: relação `tamanho`, número de argumentos: 2, a lista e o argumento de saída correspondente ao tamanho da lista. Idéia: o tamanho de uma lista L é obtido através do tamanho da lista menor L' sem o primeiro elemento mais 1.

```
/* o tamanho da lista vazia e' zero */
tam([],0).
/* o tamanho da lista nao vazia L ([H|L1]) e' obtido
   atraves do tamanho da lista menor L1 (sem o primeiro
   elemento) mais 1.
*/
tam([H|L1],N) :- tam(L1,N1), N is N1 + 1.
```

Manipulação de Listas

- Remoção de um elemento X de uma lista L: relação `remove`, número de argumentos: 3, a lista de entrada, o elemento a ser removido, e a lista de saída.

```
/* remove X de lista vazia e' lista vazia */
remove([],X,[]).
/* remove X de lista que contem X e' a lista
   sem X
*/
remove([X|L],X,L).
/* ainda nao encontrou X. Continua procurando */
remove([Y|L],X,[Y|L1]) :- remove(L,X,L1).
```

Manipulação de Listas

- Como modificar este programa para remover **todos** os elementos X de uma lista qualquer?
- Posso alterar a ordem das cláusulas?

Árvore Binária: Busca e Inserção

- Dicionário ordenado binário:
  - relação `lookup`,
  - número de argumentos: 3
    - a chave a ser inserida ou procurada,
    - o dicionário,
    - a informação resultante sobre a chave consultada.
  - estrutura de dados para o dicionário: `arvbin(K,E,D,I)`
    - `K`: chave.
    - `E`: sub-árvore da esquerda.
    - `D`: sub-árvore da direita.
    - `I`: informação sobre a chave consultada.

Dicionário binário ordenado

```
/* chave foi encontrada ou e' inserida */
lookup(K,arvbin(K,_,_,I),I).
/* chave ainda nao foi encontrada, pode estar na
   sub-arvore da esquerda, se for menor do que
   a chave corrente, ou na sub-arvore da direita,
   se for maior do que a chave corrente.
*/
lookup(K,arvbin(K1,E,_,I1),I) :-
     K < K1, lookup(K,E,I).
lookup(K,arvbin(K1,_,D,I1),I) :-
     K > K1, lookup(K,D,I).
```

Meta-interpretador Prolog para Prolog

- Um meta-interpretador é um programa que executa outros programas.
- O nosso exemplo implementa um interpretador de Prolog escrito em Prolog.
- Relação: `interp`, número de argumentos: 1, termo Prolog a ser interpretado.

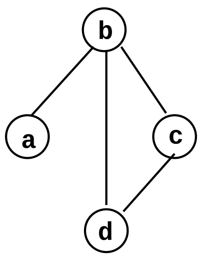
Meta-interpretador Prolog para Prolog

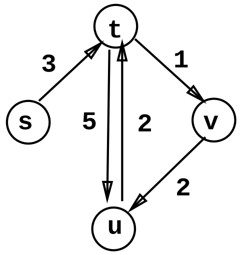
```
/* a interpretacao do termo basico true
   deve ser sempre satisfeita (axioma)
*/
interp(true).
/* a interpretacao de uma conjuncao e'
   satisfeita, se a interpretacao de cada
   termo/literal da conjuncao for satisfeita
*/
interp((G1,G2)) :-
      interp(G1),
      interp(G2).
/* a interpretacao de uma disjuncao e'
   satisfeita, se pelo menos uma interpretacao
   de alguma disjuncao for satisfeita
*/
```

```
interp((G1;G2)) :-
      interp(G1);
      interp(G2).
/* a interpretacao de um literal simples
   e' satisfeita, se o literal existir no
   programa e seu antecedente for satisfeito
*/
interp(G) :-
      clause(G,B),
      interp(B).
```

Busca em Grafos

- Representação de grafos: conjunto de nós e conjunto de ramos/arestas/conexões/arcos. Arcos são geralmente representados por pares ordenados.
- Exemplos:





- Formas de representação de um grafo em Prolog:
  - Forma 1:

```
% Grafo nao direcionado     Grafo direcionado
        conectado(a,b).     arco(s,t,3).
        conectado(b,c).     arco(t,v,1).
        conectado(c,d).     arco(u,t,2).
            ...                 ...
```

– Forma 2:

```
grafo([a,b,c,d],[e(a,b),e(b,d),e(b,c),e(c,d)])
digrafo([s,t,u,v],
[a(s,t,3),a(t,v,1),a(t,u,5),a(u,t,2),a(v,u,2)])
```

– Forma 3:

```
[a->[b], b->[a,c,d], c->[b,d], d->[b,c]]
[s->[t/3], t->[u/5,v/1], u->[t/2],v->[u/2]]
```

- Atenção à utilização dos símbolos `->` e `/`.

Busca em Grafos

- Operações típicas em grafos:
  - encontrar um caminho entre dois nós do grafo,
  - encontrar um sub-grafo de um grafo com certas propriedades.
- Programa exemplo: encontrar um caminho entre dois nós do grafo.

Busca em Grafos

- `G`: grafo representado com forma 1.
- `A` e `Z`: dois nós do grafo.
- `P`: caminho **acíclico** entre `A` e `Z`.
- `P` representado como uma lista de nós no caminho.
- Relação `path`, número de argumentos: 4, nó fonte (`A`), nó destino (`Z`), caminho parcial percorrido (`L`) e caminho total percorrido (`P`).
- um nó só pode aparecer uma única vez no caminho percorrido (não há ciclos).

Busca em Grafos

- Método para encontrar um caminho acíclico `P`, entre `A` e `Z`, num grafo `G`.
- Se `A = Z`, então `P = [A]`,
- senão, encontre um caminho parcial de `A` a `Y` e encontre um caminho acíclico `P1` do nó `Y` ao nó `Z`, evitando passar por nós já visitados em `L` (caminho parcial).

Busca em Grafos: Programa

```
/* Chegar de A a Z, retornando caminho percorrido P,
   comecando de um caminho vazio
*/
path(A,Z,P) :- path1(A,Z,[],P).

/* Se ja' cheguei ao destino, parar a busca e incluir
   destino na lista contendo o caminho percorrido */
path1(Z,Z,L,[Z|L]).

/* Se ainda nao cheguei no destino, encontrar caminho
   parcial de A para Y, verificar se este caminho
   e' valido (isto e', ja' passei por Y antes?). Se for
   um caminho valido, adicionar `a lista contendo o
   caminho parcial e continuar a busca a partir de Y
*/
```

```
path1(A,Z,L,P) :-
      (conectado(A,Y);     /* encontra caminho parcial */
       conectado(Y,A)),    /* de A para Y ou de Y para A */
      \+ member(Y,L),      /* verifica se ja passei por Y */
      path1(Y,Z,[Y|L],P). /* encontra caminho parcial de */
                           /* Y a Z */
```