Linguagem de Programação
Introdução à Linguagem Prolog

Turma A

Prof. Marcelo Ladeira
CIC/UnB

Slides montados a partir de slides preparados para a JAI96 e de slides obtidos na Internet.

Introdução à Linguagem Prolog

- Referência
  - SWI-Prolog versão 5.6.52
- Autor
  - Jan Wielemaker (jan@swi-prolog.org)
    - Universidade de Amsterdam
- Distribuição e informações
  - http://www.swi-prolog.org/

O que é Prolog?

- Linguagem declarativa
  - Não tem instruções
- Primeira e mais usada linguagem do paradigma programação em lógica
  - Proposta em 1970 como provador de teoremas especializado
    - Alain Colmerauer e Phillipe Roussel (Universidade de Aix-Marseille)
    - Robert Kowalski (Universidade de Edinburgh)
    - Outras pessoas importantes ... Helder Coelho, Universidade de Lisboa.
- Não usada extensivamente na prática de engenharia de software
  - Seriamente avaliada nos 80s como linguagem de propósito geral
    - linguagem do Projeto V Geração do Japão
  - Hoje é usada em contextos específicos
    - maioria relacionados a IA
      - mais utilizada na Europa
      - nos EUA a linguagem LISP é mais utilizada em IA

3

O que é Prolog?
Metáfora da programação em lógica

- Teoria Lógica (TL) = programa = BD dedutivo = BC
- Programar é *declarar* axiomas e regras
- Axiomas da TL
  - fatos da BC
  - parte *extensional* do BD dedutivo
  - dados *explícitos* de um BD tradicional
- Regras da TL (e da BC):
  - parte *intencional* do BD dedutivo
- Teoremas da TL
  - deduzidos a partir dos axiomas e das regras
  - dados *implícitos* do BD dedutivo

O que é Prolog?

- Uma linguagem de programação para computação simbólica não numérica
  - interpretador
  - base de conhecimentos, memória de trabalho e máquina de inferência
- Com o que se parece programar em Prolog?
  - Definir relações e formular perguntas sobre as relações.
- O que é o SWI-PROLOG?
  - um interpretador

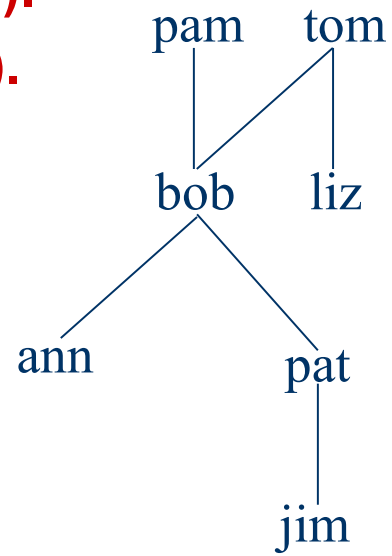
    ?- prompt principal

    | prompt secundario

O que é Prolog?
Exemplo de Programa em Prolog

- **Fatos**

```
parent(pam,bob).
parent(tom,bob).
parent(tom,liz).
parent(bob,ann).
parent(bob,pat).
parent(pat,jim).
```



- **Perguntas (queries)**

```
?- parent(bob,pat).
     true.
?- parent(liz,pat).
     fail.
?- parent(X,liz).
     X = tom
?- parent(bob, X).
     X = ann ;
     X = pat.
```


Ao digitar ";" após uma resposta, o Prolog procura por outra respos

O que é Prolog?
Exemplo de Programa em Prolog

- **Quem é pai ou mãe de quem?**

  ?- parent(X,Y).

  X = pam,

  Y = bob ;

  X = tom,

  Y = bob ;

  X = tom,

  Y = liz …..

- **Conectivo AND**
  - **Quem é um pai ou mãe X de Ann? Também o é de Pat?**
    - **?- parent(X,ann),parent(X,pat).**
      - **X = bob**

http://www.zibin.net/ucl/TechnionProlog.pdf

O que é Prolog?
Exemplo de Programa em Prolog com Regras

- **Para todo X e Y, Y é filho de X se X é um pai ou mãe de Y**

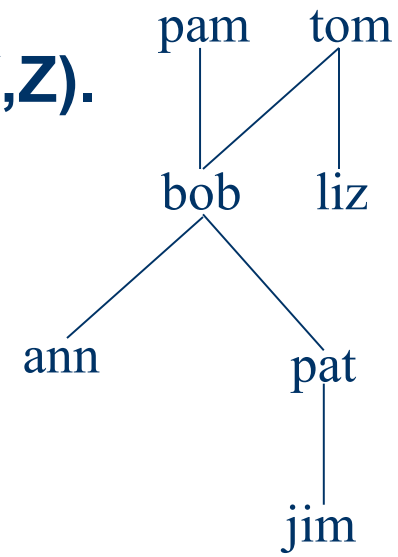
  offspring(Y,X) :- parent(X,Y).

  - **Semântica: se parent(X,Y) então offspring(Y,X).**
- **Definição recursiva**
  - **Para todo X e Z, X é um antepassado de Z se X é pai ou mãe de Z.**
  - **Para todo X e Z, X é um antepassado de Z se existe Y tal que:**
    - **X é pai ou mãe de Y e**
    - **Y é um antepassado de Z.**

http://www.zibin.net/ucl/TechnionProlog.pdf

O que é Prolog?
Exemplo de Programa em Prolog com Regras

```
predecessor(X,Z) :-
    parent(X,Z).
predecessor(X,Z) :-
    parent(X,Y),
    predecessor(Y,Z).
```



- **Perguntas (queries)**

```
?- predecessor(pam,X).
    X = bob ;
    X = ann ;
    X = pat ;
    X = jim ;
    fail.
```


http://www.zibin.net/ucl/TechnionProlog.pdf

Regras de Produção

- Esquema de representação no qual o conhecimento é representado por regras situação-ação

  SE <*condição*> ENTÃO <*ação*>.

- Especialistas tendem a expressar técnicas de solução de problemas em termos destas regras
  - A *condição* estabelece o contexto para aplicação da regra.
  - A *ação* corresponde ao procedimento que acarreta uma conclusão ou mudança (no estado corrente)

Regras de Produção

- Descrevem relações entre objetos do domínio de acordo com os valores que os atributos podem ter
  - incorporam conhecimento prático (heurístico).
- Cada regra aproxima um fragmento independente do conhecimento
  - o conhecimento existente pode ser refinado com a adição de regras, permitindo um crescimento incremental da base de conhecimentos.
- A performance do sistema cresce proporcionalmente ao crescimento da base de conhecimentos

Regras de Produção

- As definições lógicas do problema são vistas como uma representação de conhecimento procedimental
  - aquela em que as informações de controle necessárias ao uso do conhecimento estão embutidas no próprio conhecimento
- Exemplo

  SE animal de estimação $\wedge$ pequeno ENTÃO bicho de apartamento.

  SE gato $\vee$ cachorro ENTÃO animal de estimação.

  SE poodle ENTÃO cachorro $\wedge$ pequeno.

  Fido é poodle.

Regras de Produção

- É necessário ampliar a representação de conhecimento procedimental com um interpretador que siga instruções (de controle) embutidas
- Um sistema típico de regras consiste de uma base de conhecimentos (BC), uma memória de trabalho (MT) e uma máquina de inferências
  - A BC é composta de fatos e regras
    - Regras: declarações sobre classes de objetos
      - Definem a lógica de processamento.
        - SE condição (antecedente) ENTÃO ação (conseqüente)
    - Fatos: declarações sobre objetos específicos

Regras de Produção
Memória de Trabalho

- Representa o estado do problema em um dado instante.
  - Permite a comunicação entre regras.
- Possui dados dinâmicos de curta duração que existem enquanto uma regra estiver sendo interpretada
  - Variáveis da regra não são estáticas
    - o escopo é a própria regra.
- Ação da regra implica modificações na memória de trabalho ou efeitos colaterais eventuais

Regras de Produção
Máquina de inferências

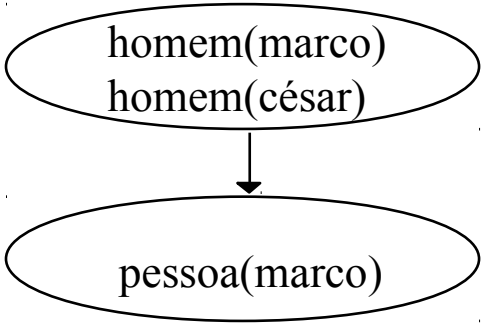
- Ativada com a especificação da meta (problema a resolver).
- Responsável pela
  - execução das regras.
  - determinação de quais são relevantes, dada uma configuração da memória de trabalho.
  - escolha de quais regras aplicar.
- Ciclo de execução
  - seleção das regras
  - resolução de conflitos
    - na existência de mais de uma regra a aplicar.
  - ação
    - execução da(s) regra(s) selecionada(s) com as conseqüentes alterações na MT ou efeitos colaterais.

Regras de Produção
Máquina de Inferências: Ciclo de Execução

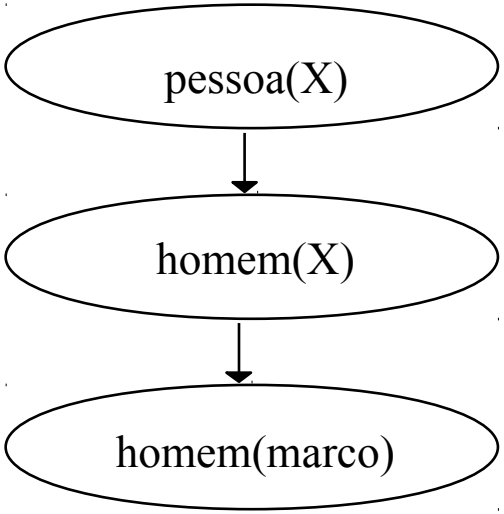
- SELEÇÃO DAS REGRAS (matching)
  - Casamento das regras com dados da MT
  - Conjunto de conflito (regras casadas)
- ESTRATÉGIAS UTILIZADAS
    - guiada por dados (forward-chaining)
    - guiada por metas (backward-chaining)
- ESTADO INICIAL (dados da MT)
- RACIOCÍNIO PARA FRENTE
  - Casamento: MT com *condições* das regras.
  - Estados: gerados com o disparo das *ações*.
  - Meta: permanece a mesma.
  - Parada : casamento com meta.
- RACIOCÍNIO PARA TRÁS
  - Início: configuração objetivo final (meta).
  - Casamento: MT com *ação* da meta (mesmo em parte).
  - Estados: gerados com as *condições*.
  - Meta: estado atual
  - Parada: casamento com estado inicial.

Máquina de Inferências
Exemplo de Raciocínio

- **Fatos**
  - marco é homem.
  - césar é homem.
- **Regra 1:**
  - SE X é homem ENTÃO X é pessoa
- **Meta**
  - Existe pessoa?
- **Solução**
  - estado inicial: fatos
  - forward-chaining: Figura (a)
  - backward-chaining: Figura (b)



(a)

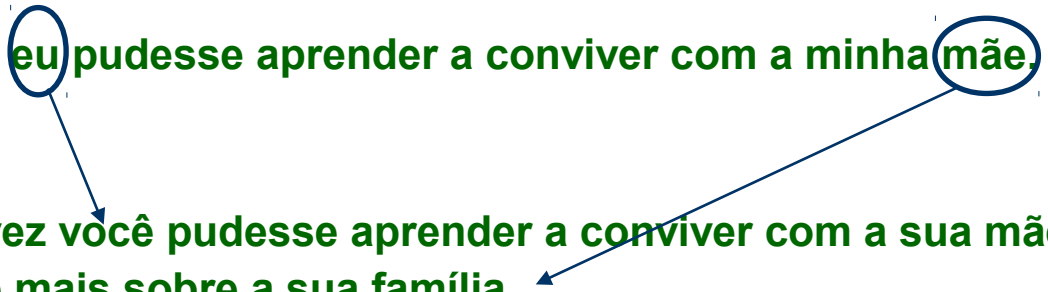


(b)

Regras de Produção
Máquina de Inferências Ciclo de execução

- Resolução de conflitos
- Seleção da ordem de aplicação das regras do conjunto de conflito. Preferência baseada na:
  - ordem em que as regras aparecem (Prolog)
  - importância dos objetos que foram casadas (ELIZA, Weizenbaum, 1966)

    Talvez eu pudesse aprender a conviver com a minha mãe.

    - Talvez você pudesse aprender a conviver com a sua mãe.
    - Fale mais sobre a sua família.
  - em estados
    - Consiste em, temporariamente, disparar todas as regras selecionadas e utilizar uma função heurística para avaliar os resultados de cada uma delas, e priorizá-las segundo o seu mérito.

Linguagem Prolog

- Programação em lógica
  - definições lógicas são vistas como programas.
    - Em Prolog definições lógicas são cláusulas de Horn.
- É praxe representar apenas o conhecimento positivo
  - asserções afirmativas
- Hipótese do Mundo Fechado
  - as declarações relevantes e verdadeiras estão contidas na BC ou podem ser derivadas a partir de fatos, regras e a BC.
- Negação
  - ausência da declaração.
    - Não é uma negação lógica.
- Resolução por refutação

  P é consistente se falhar a prova de $\neg$P.

Linguagem Prolog
Implicação

- Representação da implicação
- Tabela verdade

A	B	A→B	¬A	B	¬A∨B
V	V	V	F	V	V
V	F	F	F	F	F
F	V	V	V	V	V
F	F	V	V	F	V

$A \rightarrow B \Leftrightarrow \neg A \vee B$

Linguagem Prolog
Cláusulas de Horn

- **Cláusula que tem, no máximo, um literal positivo**

  fbf em forma conjuntiva normal e sem conectivo ∧

  - **prefixo quantificadores universais (∀) aplicado a predicados conectados por ∨**

- **Lógica decidível**

Notação Lógica	Cláusulas de Horn
∀x(estimação(x) ∧ pequeno(x) → bichoapt(x))	¬ estimação(x) ∨ ¬pequeno(x) ∨ bichoapt(x)
∀x(gato(x) ∨ cachorro(x) → estimação(x))	¬ gato(x) ∨ estimação(x) ¬cachorro(x) ∨ estimação(x)
∀x(poodle(x) → cachorro(x) ∧ pequeno(x)	¬ poodle(x) ∨ cachorro(x) ¬ poodle(x) ∨ pequeno(x)
poodle(fido)	poodle(fido)

Linguagem Prolog
Características

- Quantificadores universais não explicitados.
- Conectivos ‘,’ e ‘;’ (respectivamente $\wedge$ e $\vee$)
- A regra p $\rightarrow$ q é representada como q :- p.

  cabeça :- lista de predicados.

Cláusulas de Horn

$\neg$ estimação(x) $\vee$ $\neg$pequeno(x) $\vee$ bichoapt(x)

$\neg$ gato(x) $\vee$ estimação(x)
$\neg$cachorro(x) $\vee$ estimação(x)

$\neg$ poodle(x) $\vee$ cachorro(x)
$\neg$ poodle(x) $\vee$ pequeno(x)

poodle(fido)

Notação Prolog

bichoapt(X):- estimação(X), pequeno(X).

estimação(X):-gato(X).

estimação(X):-cachorro(X).

cachorro(X):-poodle(X).

pequeno(X):-poodle(X).

poodle(fido).

Linguagem Prolog
Cláusulas de Horn

- **Fatos Prolog**
  - **cláusulas de Horn com premissa única True implícita**
    - **C. ⇔ True → C**
- **Regras Prolog**
  - **cláusulas de Horn**
    - **C :- P1, ... ,Pn. ⇔ P1 & ... & Pn → C**
- **Premissas de cláusulas com a mesma conclusão são implicitamente disjuntivas:**

  C :- P1, ... ,Pn.

  C :- Q1, ... ,Qm.

  ⇔ (P1& ... & Pn) v (Q1 & ... & Qm) → C

Linguagem Prolog
Máquina de Inferências

- **Inferência**
  - **resolução por refutação**
- **Seleção das regras**
  - **raciocínio para trás com indexação das regras pelo predicado e casamento (*matching*) precedido pelas instanciações das variáveis das regras (unificação)**
- **Resolução de conflitos**
  - **preferência baseada em regras (ordem)**

Interpretador Prolog
Controle e busca

- Aplica regra de resolução
  - com estratégia *linear (*sempre tenta unificar *ultimo fato* a provar com a *conclusão de uma cláusula do programa),*
  - na *ordem de escrita* das cláusulas *no programa,*
  - *com encadeamento* de regras *para trás,*
  - *busca em profundidade* e
  - *da esquerda para direita* das premissas das cláusulas,
  - e com *backtracking sistemático e linear* quando a unificação falha,
  - e *sem occur-check* na unificação.
- Estratégia eficiente mas incompleta.

Interpretador Prolog
Verificação de ocorrência

- unificação de Prolog é sem *occur-check*, quando chamado com uma variável X e um literal l, instancia X com l, *sem verificar* antes se X ocorre em l.
- Junto com a busca em profundidade:
  - faz que Prolog possa entrar em loop com regras recursivas,
    - c(X) :- c(p(X)). gera lista infinita de objetivos:
      - c(p(U)), c(p(p(U))), c(p(p(p(U)))), ...
  - cabe ao programador não escrever tais regras,
  - torna a unificação linear no lugar de quadrática no tamanho dos termos a unificar

Vantagens

- Ampla expressividade
- Representação de associações empíricas (heurísticas) em domínios não estruturados
- Codificação da experiência de especialistas na resolução de problemas
- Possui sintaxe e semântica simples
- Aplicação
  - sistemas especialistas, em especial, de diagnóstico
- Prototipação
  - crescimento incremental da BC.

Desvantagens

- **Falta de estruturação da BC dificulta**
  - **introduzir modificações na BC.**
  - **localizar informações desejadas.**
  - **representar estruturas inerentes ao domínio tais como:**
    - **taxonomia de classes**
    - **relações temporais**
    - **relações estruturais**
    - **herança de atributos**
  - ⇨ **Regras podem ser modularizadas de forma a se obter subconjuntos independentes e complementares, o que facilita o processo de resolução de conflitos**
- **Não facilita a distinção semântica entre propriedades essenciais e propriedades complementares dos objetos**