# Conceitos Avançados de Prolog

- Neta aula serão vistos conceitos avançados em Prolog, tais como
  - *Backtracking*
  - Corte
  - Negação por falha
  - Entrada e saída
  - Operações da manipulação da base de dados/base de conhecimento
  - Predicados Adicionais

**Inteligência Artificial**

José Augusto Baranauskas
Departamento de Física e Matemática – FFCLRP-USP
E-mail: augusto@usp.br
URL: http://dfm.fmrp.usp.br/~augusto

# Backtracking

- Normalmente Prolog efetua um retrocesso (*backtrack*) sempre que necessário na tentativa de satisfazer um cláusula
- O *backtracking* automático é um conceito muito útil já que ele libera o programador de implementá-lo explicitamente
- Por outro lado, o uso indiscriminado de *backtracking* pode causar ineficiência em um programa



# Backtracking

gosta(maria,comida).
gosta(maria,vinho).
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).



# Backtracking

gosta(maria,comida).←
gosta(maria,vinho).
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

comida comida

1. A primeira cláusula tem sucesso, e X é instanciado com "comida"
2. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula...



# Backtracking

gosta(maria,comida).← ←×
gosta(maria,vinho).
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

comida comida

1. A primeira cláusula tem sucesso, e X é instanciado com "comida"
2. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula...



# Backtracking

gosta(maria,comida).←
gosta(maria,vinho). ←×
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

comida comida

1. A primeira cláusula tem sucesso, e X é instanciado com "comida"
2. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula...

# Backtracking

gosta(maria,comida).←
gosta(maria,vinho).
gosta(joao,vinho). ←×
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

comida comida

1. A primeira cláusula tem sucesso, e X é instanciado com "comida"
2. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula...



# Backtracking

gosta(maria,comida).←
gosta(maria,vinho).
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria). ←×

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

comida comida

1. A primeira cláusula tem sucesso, e X é instanciado com "comida"
2. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula
3. A segunda cláusula falha



# Backtracking

gosta(maria,comida).←
gosta(maria,vinho).
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

1. A primeira cláusula tem sucesso, e X é instanciado com "comida"
2. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula
3. A segunda cláusula falha
4. Ocorre backtrack, Prolog desinstancia X e tenta satisfazer novamente a primeira cláusula



# Backtracking

gosta(maria,comida).
gosta(maria,vinho). ←
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

vinho vinho

5. A primeira cláusula tem sucesso novamente e X é instanciado com "vinho"



# Backtracking

gosta(maria,comida). ←×
gosta(maria,vinho). ←
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

vinho vinho

5. A primeira cláusula tem sucesso novamente e X é instanciado com "vinho"
6. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula...



# Backtracking

gosta(maria,comida).
gosta(maria,vinho). ←←×
gosta(joao,vinho).
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

vinho vinho

5. A primeira cláusula tem sucesso novamente e X é instanciado com "vinho"
6. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula...

# Backtracking

gosta(maria,comida).
gosta(maria,vinho). ←
gosta(joao,vinho). ←
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

vinho vinho

5. A primeira cláusula tem sucesso novamente e X é instanciado com "vinho"
6. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula
7. A segunda cláusula tem sucesso
8. Prolog notifica o usuário e aguarda

X = vinho



# Backtracking

gosta(maria,comida).
gosta(maria,vinho). ←
gosta(joao,vinho). ←
gosta(joao,maria).

?- gosta(maria,X), gosta(joao,X).

vinho vinho

5. A primeira cláusula tem sucesso novamente e X é instanciado com "vinho"
6. A seguir, Prolog tenta provar a segunda cláusula
7. A segunda cláusula tem sucesso
8. Prolog notifica o usuário e aguarda

X = vinho ;

9. Usuário deseja outra solução: fica como exercício

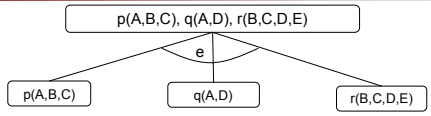


# Importante

- Sempre que uma cláusula falha (conseqüentemente ocorre um *backtrack*), as variáveis que se tornaram instanciadas naquela cláusula tornam-se variáveis livres novamente
- As variáveis instanciadas em cláusulas anteriores permanecem instanciadas
- Quando uma solução é encontrada e o usuário solicita outra solução (digitando **;**), as variáveis instanciadas na cláusula atual tornam-se variáveis livres e o processo de prova reinicia a partir da situação corrente



# Backtracking

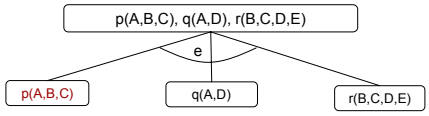



p(1,2,3). q(5,10). r(1,2,3,4).
p(3,5,7). q(1,20). r(5,7,7,9).
p(2,4,6). q(3,7). r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: A, B, C, D, E



# Backtracking



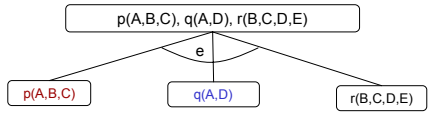

A=1, B=2, C=3

→ p(1,2,3). q(5,10). r(1,2,3,4).
p(3,5,7). q(1,20). r(5,7,7,9).
p(2,4,6). q(3,7). r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking

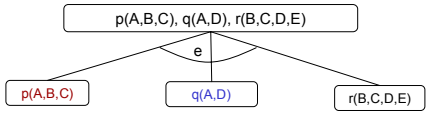



A=1, B=2, C=3

→ p(1,2,3). ×→ q(5,10). r(1,2,3,4).
p(3,5,7). q(1,20). r(5,7,7,9).
p(2,4,6). q(3,7). r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: D, E

# Backtracking

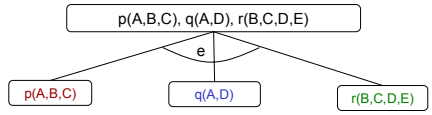



| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | → q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: E



# Backtracking

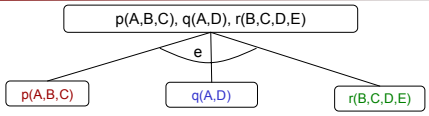



| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | ×→ r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | → q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: E



# Backtracking

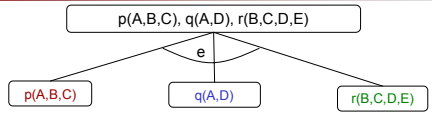



| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | → q(1,20). | ×→ r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: E



# Backtracking



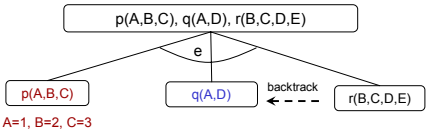

| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | → q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | ×→ r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: E

Como não há outras formas de provar a relação **r/4**, a única forma de encontrar uma solução consiste em retroceder (backtracking) para a cláusula anterior



# Backtracking



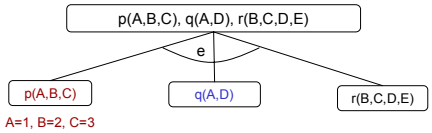

| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | → q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E

No backtracking, as variáveis instanciadas cláusula q/2 tornam-se variáveis livres e Prolog tenta encontrar uma outra solução para q(1,D)



# Backtracking

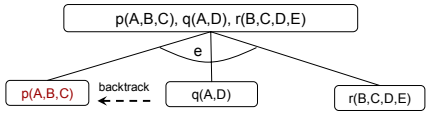



| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | ×→ q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E

Como não há outras formas de provar a relação **q/2**, a única forma de encontrar uma solução consiste em retroceder (backtracking) para a cláusula anterior

# Backtracking



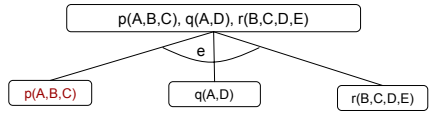

| | | |
|---|---|---|
| → p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: A, B, C, D, E

No backtracking, as variáveis instanciadas cláusula p/3 tornam-se variáveis livres e Prolog tenta encontrar uma outra solução para p(A,B,C)



# Backtracking



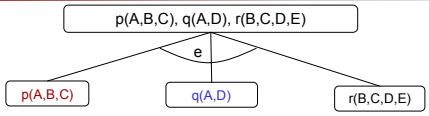

A=3, B=5, C=7

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| → p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking



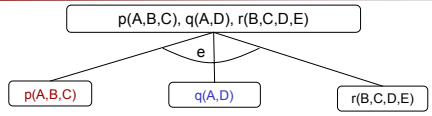

A=3, B=5, C=7

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | ✗→ q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| → p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking



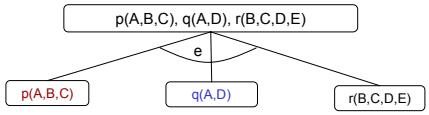

A=3, B=5, C=7

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| → p(3,5,7). | ✗→ q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking



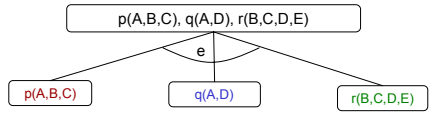

A=3, B=5, C=7 D=7

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| → p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | → q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: E



# Backtracking

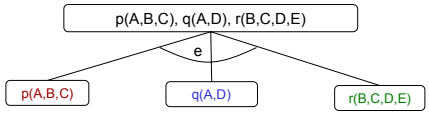



A=3, B=5, C=7 D=7

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | ✗→ r(1,2,3,4). |
| → p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | → q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: E

# Backtracking




p(1,2,3).
→ p(3,5,7).
p(2,4,6).

q(5,10).
q(1,20).
→ q(3,7).

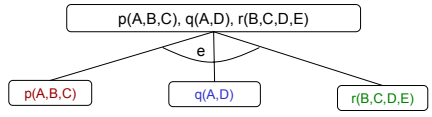
r(1,2,3,4).
→ r(5,7,7,9).
r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: nenhuma

Neste caso, uma solução foi encontrada: A=3, B=5, C=7, D=7, E=9



# Backtracking




p(1,2,3).
→ p(3,5,7).
p(2,4,6).

q(5,10).
q(1,20).
→ q(3,7).

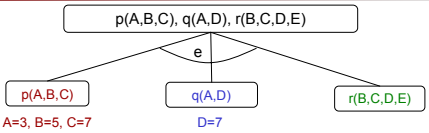
r(1,2,3,4).
→ r(5,7,7,9).
r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: E

Caso o usuário solicite outra resposta (digitando ;), o processo de prova reinicia a partir da situação atual: As variáveis instanciadas na cláusula atual (E) tornam-se variáveis livres novamente



# Backtracking




p(1,2,3).
→ p(3,5,7).
p(2,4,6).

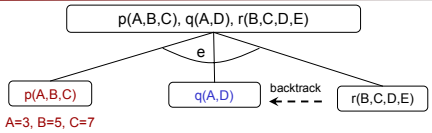
q(5,10).
q(1,20).
→ q(3,7).

r(1,2,3,4).
r(5,7,7,9).
× → r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: E



# Backtracking




p(1,2,3).
→ p(3,5,7).
p(2,4,6).

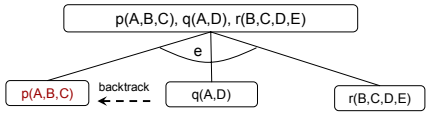
q(5,10).
q(1,20).
→ q(3,7).

r(1,2,3,4).
r(5,7,7,9).
r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking




p(1,2,3).
→ p(3,5,7).
p(2,4,6).

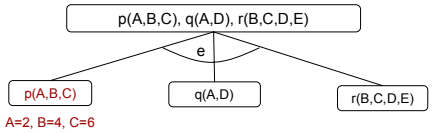
q(5,10).
q(1,20).
q(3,7).

r(1,2,3,4).
r(5,7,7,9).
r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: A, B, C, D, E



# Backtracking



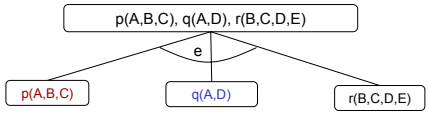

p(1,2,3).
p(3,5,7).
→ p(2,4,6).

q(5,10).
q(1,20).
q(3,7).

r(1,2,3,4).
r(5,7,7,9).
r(2,4,6,8).

Variáveis Livres: D, E

# Backtracking



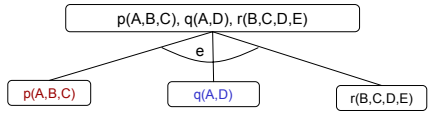

A=2, B=4, C=6

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | ×→ q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| → p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking



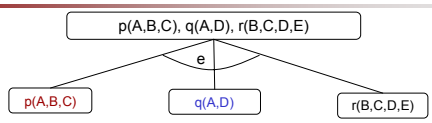

A=2, B=4, C=6

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | ×→ q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| → p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking



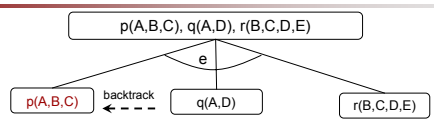

A=2, B=4, C=6

| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| → p(2,4,6). | ×→ q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: D, E



# Backtracking

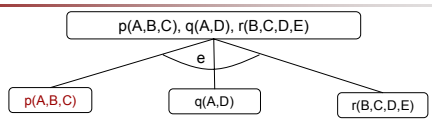



| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| → p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Variáveis Livres: A, B, C, D, E



# Backtracking




| | | |
|---|---|---|
| p(1,2,3). | q(5,10). | r(1,2,3,4). |
| p(3,5,7). | q(1,20). | r(5,7,7,9). |
| p(2,4,6). | q(3,7). | r(2,4,6,8). |

Término do processo de prova

Variáveis Livres: A, B, C, D, E



# Controlando Backtracking

- Existe um mecanismo especial que permite informar Prolog que soluções anteriores não precisam ser reconsideradas quando ele volta (*backtrack*) através de uma lista de condições satisfeitas: o **corte** (*cut*)
- Há duas razões para o uso do corte:
  - O programa torna-se mais rápido, já que Prolog não gasta tempo tentando satisfazer metas que o programador sabe previamente que nunca vão contribuir para uma solução
  - O programa ocupa menos memória, uma vez que pontos de *backtracking* não precisam ser mantidos para avaliação futura
- Há dois tipos de cortes
  - **Verde**: caso removido, as soluções encontradas não se alteram (corte foi utilizado apenas por motivos de eficiência)
  - **Vermelho**: caso removido, o programa não apresenta as mesmas soluções; pelo contrário, passa a apresentar um comportamento anormal

# Controlando Backtracking

- Considere a função escada
  - Regra 1: se X < 3 então Y = 0
  - Regra 2: se 3 ≤ X < 6 então Y = 2
  - Regra 3: se X ≥ 6 então Y = 4
- Podemos escrever em Prolog como f(X,Y)

```
f(X,0) :- X < 3.          % Regra 1
f(X,2) :- 3 =< X, X < 6.  % Regra 2
f(X,4) :- X >= 6.         % Regra 3
```

- O programa assume, logicamente, que X esteja instanciado antes que f(X,Y) seja executado



# Controlando Backtracking

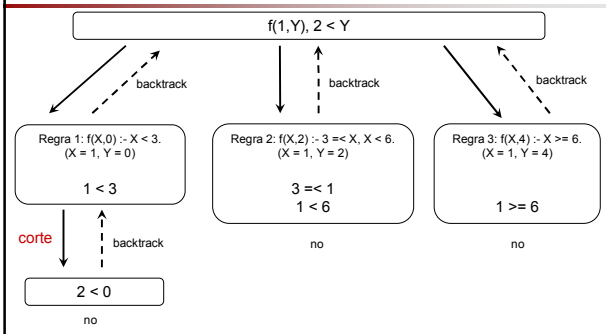
- Vamos analisar o que ocorre quando se pergunta

```
?- f(1,Y), 2<Y.
```

  - `f(X,0) :- X < 3.  % Regra 1`
  - `f(X,2) :- 3 =< X, X < 6.  % Regra 2`
  - `f(X,4) :- X >= 6.  % Regra 3`
- Ao executar a primeira meta, f(1,Y), Y instancia com 0
- Assim a segunda meta torna-se: 2<0 que falha, assim a pergunta falha
- Mas antes de admitir que a pergunta falhou, Prolog tentou, através de *backtracking* duas alternativas improdutivas



# Controlando Backtracking






# Controlando Backtracking

- As 3 regras sobre a relação **f** são mutuamente exclusivas, assim, no máximo, uma delas será verdadeira
- Portanto, o programador (não Prolog) sabe que tão logo uma das regras tenha sucesso, não há razão para continuar tentando utilizar as demais regras, pois vão falhar
- No exemplo, sabe-se que a Regra 1 teve sucesso no ponto indicado pela palavra 'corte'
- De modo a evitar *backtracking* inútil o programador deve informar explicitamente para Prolog não realizar *backtrack*, através do corte
- O corte é escrito como **!** e inserido entre as metas



# Controlando Backtracking

- O programa com corte **verde** fica assim:

```
f(X,0) :- X < 3, !.       % Regra 1
f(X,2) :- 3 =< X, X < 6, !. % Regra 2
f(X,4) :- X >= 6.         % Regra 3
```

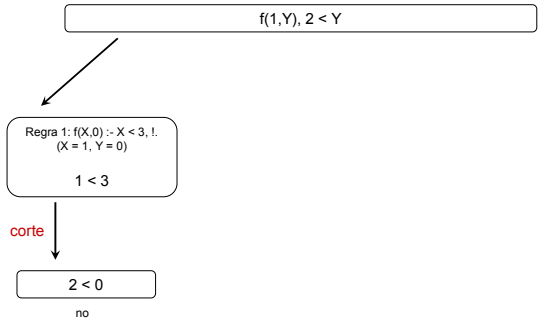
- O símbolo **!** evita *backtracking* nos pontos indicados
- Se fizermos a mesma pergunta

```
?- f(1,Y), 2<Y.
```

  - Com os cortes, os ramos alternativos que correspondem às Regras 2 e 3 não serão gerados
  - Este programa com corte é mais eficiente que a versão original: quando a execução falha, este programa irá reconhecer este fato, em geral, mais cedo que o programa original
- Os cortes são verdes neste exemplo, pois se eles forem removidos o programa ainda produzirá os mesmos resultados (ele apenas gastará mais tempo)



# Controlando Backtracking

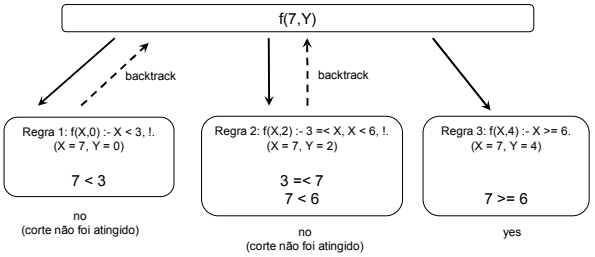


# Controlando Backtracking

- Ainda considerando:
  - `f(X,0) :- X < 3, !.  % Regra 1`
  - `f(X,2) :- 3 =< X, X < 6, !. % Regra 2`
  - `f(X,4) :- X >= 6.  % Regra 3`
- Suponha agora a seguinte pergunta
  - `?- f(7,Y).`
  - **`Y = 4`**
- Note que todas as 3 regras são avaliadas antes que uma resposta seja encontrada
  - Tente Regra 1: 7 < 3 falha, *backtrack* e tente Regra 2 (corte não foi atingido)
  - Tente Regra 2: 3 ≤ 7 é satisfeita mas 7 < 6 falha, *backtrack* e tente Regra 3 (corte não foi atingido)
  - Tente Regra 3: 7 ≥ 6 é satisfeita



# Controlando Backtracking






# Controlando Backtracking

- Isto mostra outra fonte de ineficiência:
  - Primeiro é estabelecido que X<3 não é verdadeiro (7<3 falha)
  - A seguir, 3=<X (3=<7) é satisfeita, mas sabemos que uma vez que o primeiro teste falhou, o segundo teste será satisfeito, pois ele é a negação do primeiro
  - Portanto, o segundo teste é redundante e pode ser omitido
  - O mesmo ocorre com X >= 6 na Regra 3
- Isto leva à seguinte formulação:
  - Se X < 3 então Y = 0
  - Senão Se X < 6 então Y = 2 Senão Y = 4
- Podemos omitir as condições que são sempre verdadeiras quando executadas



# Controlando Backtracking

- Isto nos leva à terceira versão, com corte **vermelho**:
  - `f(X,0) :- X < 3, !.  % Regra 1`
  - `f(X,2) :- X < 6, !.  % Regra 2`
  - `f(X,4).  % Regra 3`
- O programa com corte vermelho produz as mesmas soluções que a versão original, mas é mais eficiente que as duas versões anteriores
- Entretanto, o que ocorre se agora removermos os cortes?
  - `f(X,0) :- X < 3.  % Regra 1`
  - `f(X,2) :- X < 6.  % Regra 2`
  - `f(X,4).  % Regra 3`
- O programa agora produz várias soluções, algumas das quais incorretas, por exemplo:
  - `?- f(1,Y).`
  - **`Y = 0;`**
  - **`Y = 2;`**
  - **`Y = 4`**



# Controlando Backtracking

- O mecanismo de corte funciona da seguinte forma
  - Seja meta-pai a meta que unificou com a cabeça da cláusula contendo o corte
  - Quando o corte é encontrado, como uma meta ele é satisfeito imediatamente mas ele estabelece um compromisso de manter todas as escolhas efetuadas entre o momento em que a meta-pai foi invocada e o momento no qual o corte foi encontrado
  - Todas as alternativas restantes entre a meta-pai e o corte são descartadas

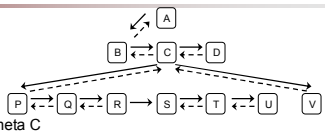


# Controlando Backtracking

- Considere a cláusula
  - `H :- B1, B2, ..., Bm, !, ..., Bn.`
- Suponha que uma meta G unificou com H (nesse caso, G é a meta pai)
- No momento em que o corte é encontrado, o sistema já encontrou alguma solução para as metas `B1, ..., Bm`.
- Quando o corte é executado, esta solução atual `B1, ..., Bm` é congelada e todas alternativas possíveis são descartadas
- Além disso, a meta G fica comprometida a esta cláusula: qualquer tentativa de unificar G com a cabeça de uma outra cláusula é excluída

# Controlando Backtracking

- Por exemplo
  - `C :- P, Q, R, !, S, T, U.`
  - `C :- V.`
  - `A :- B, C, D.`
  - `?- A.`




- O corte afetará a execução da meta C
- *Backtracking* será possível dentro da lista de metas P, Q, R; entretanto, tão logo o corte seja encontrado, todas as soluções alternativas de P, Q, R são descartadas
- Também será descartada a cláusula alternativa para a meta C
  - `C :- V.`
- Entretanto, *backtracking* ainda será possível entre a lista de metas S, T, U
- A meta-pai da cláusula contendo o corte é a meta C na cláusula
  - `A :- B, C, D.`
- Portanto, o corte afetará apenas a execução da meta C; mas será 'invisível' de dentro da meta A: *backtracking* automático continuará a existir entre a lista de metas B, C, D apesar do corte dentro da cláusula usada para satisfazer C



# Negação por Falha

- Exemplo 1: Suponha os seguintes fatos (BC):

gosta(joao, peixe).
gosta(joao,maria).
gosta(maria,livro).
gosta(pedro,livro).

```
?- gosta(joao,dinheiro).
no
?- gosta(maria,joao).
no
?- gosta(maria,livro).
yes
?- rei(joao,inglaterra).
no
```



# Negação por Falha

```
?- rei(joao,inglaterra).
no
```

- Como não existe nenhum fato na base sobre a relação "rei", Prolog responde "no" significando que nada foi encontrado que pudesse provar o que foi pedido
- "no" não é a mesma coisa que "falso"
- "no" significa "não foi possível provar"



# Negação por Falha

- Exemplo 2:

```
?- humana(maria).
no
?- \+ humana(maria).
yes
```

- A segunda resposta não deve ser entendida como 'Maria não é humana'
- O que Prolog quer dizer é: 'Não há informação suficiente no programa para provar que Maria é humana'
- Isto ocorre porque Prolog não tenta provar diretamente `\+humana(maria)`, mas sim o seu oposto `humana(maria)`. Se o oposto não pode ser provado, Prolog assume que a negação `\+humana(maria)` é verdadeira



# Negação por Falha

- O predicado \+ é definido como:

```
\+(X) :- X, !, fail.
\+(X).
```

- Ou, alternativamente, como:

```
\+(X) :- X, !, fail; true.
```

- Que é equivalente a:

```
\+(X) :- (X, !, fail); true.
```



# Negação por Falha

- Prolog trabalha com o conceito de mundo fechado
- O mundo é fechado no sentido que tudo o que existe está declarado no programa ou pode ser derivado do programa
- Assim, se algo não está no programa (ou não pode ser derivado dele) então ele é falso e, conseqüentemente, sua negação é verdadeira

# Negação por Falha

- Exemplo 3:

```
bom_padrao(jeanluis).
caro(jeanluis).
bom_padrao(francesco).
razoavel(Restaurante) :-
    \+ caro(Restaurante).

?- bom_padrao(X),
   razoavel(X)
X = francesco
?- razoavel(X),
   bom_padrao(X).
no
```

- A diferença entre ambas perguntas é que a variável X está, no primeiro caso, já instanciada quando razoavel(X) é executado, ao passo que X não está instanciada no segundo caso
- A dica geral é `\+ Meta` funciona com segurança se as variáveis em `Meta` estão todas instanciadas no momento em que `\+Meta` é chamada; caso contrário pode-se obter resultados inesperados



# Negação por Falha

- Há diferença entre?
  - `?- pertence(X,[a,b,c]).`
  - `?- \+ \+ pertence(X,[a,b,c]).`



# Negação por Falha

- Há diferença entre?
  - `?- pertence(X,[a,b,c]).`
  - `?- \+ \+ pertence(X,[a,b,c]).`
- Há uma tendência a dizer que não, por pensar da seguinte forma:
  - `pertence(X,[a,b,c])` tem sucesso então
  - `\+ pertence(X,[a,b,c])` falha, portanto
  - `\+ \+ pertence(X,[a,b,c])` tem sucesso
- Isto está apenas em parte correto



# Negação por Falha

- Isto é o que ocorre:
  - `?- \+ \+ pertence(X,[a,b,c]).`
  - `pertence(X,[a,b,c])` tem sucesso instanciando X=a
  - Prolog tenta provar `\+ pertence(X,[a,b,c])` e falha (pois conseguiu provar o oposto)
  - Quando uma cláusula falha, qualquer variável que se tornou instanciada através daquela cláusula torna-se livre
  - Assim X torna-se uma variável livre
  - Prolog tenta provar `\+ \+ pertence(X,[a,b,c])` e tem sucesso, X é uma variável livre
  - Prolog escreve a variável livre

```
?- pertence(X,[a,b,c]).
X = a;
X = b;
X = c
?- \+ \+ pertence(X,[a,b,c]).
X = _G390
```



# Predicados de Entrada e Saída

- Estes predicados têm sucesso (são verdadeiros) uma única vez (não podem ser re-satisfeitos através de *backtracking*)
  - **get_char(X)**: é verdadeiro se X unifica com o próximo caractere encontrado na entrada atual
  - **put_char(X)**: escreve o caractere X na saída atual (um erro ocorre se X está livre)
  - **read(X)**: lê um termo da entrada e é verdadeiro se o termo lido unifica com X; o termo deve ser terminado por um ponto-final '.' que não faz parte do termo lido
  - **write(X)**: escreve o termo X na saída; variáveis livres são numeradas de forma única e geralmente inicial com um *underscore* '_'
  - **write_canonical(X)**: escreve o termo X sem considerar a definição de operadores
  - **nl**: escreve um caractere de nova linha (*new line*)
  - **tab(N)**: escreve N espaços em branco



# Exemplo

- Usando o programa pertence/1, suponha que desejamos imprimir todas as soluções encontradas, sem precisar digitar '**;**'
- Podemos estender o programa da seguinte forma:

```
pertence(E, [E|_]).
pertence(E, [_|T]) :-
      pertence(E,T).
mostra_todos(Lista) :-
     pertence(X,Lista),
     write('elemento '),
     write(X),
     nl,
     fail.

?- mostra_todos([a,b,c]).
elemento a
elemento b
elemento c
no
```

# Exemplo

- Embora o programa tenha impresso todos os elementos da lista, ele falha
- Uma forma de garantir que o programa tenha sucesso ao terminar é dada na versão ao lado

```
pertence(E, [E|_]).
pertence(E, [_|T]) :-
        pertence(E,T).
mostra_todos(Lista) :-
     pertence(X,Lista),
     write('elemento '),
     write(X),
     nl,
     fail.
mostra_todos(_).

?- mostra_todos([a,b,c]).
elemento a
elemento b
elemento c
yes
```



# Predicados Adicionais

- **repeat** é uma meta que sempre é satisfeita e é definida como:
  - `repeat.`
  - `repeat :- repeat.`
- Exemplo

```
quadrado :-
  repeat,
  read(X),
  ( X = stop, !;
    Y is X*X, write(Y), nl, fail
  ).
```



# Predicados Adicionais

- **findall(X,G,L)** constrói uma lista L consistindo de todos os objetos X tais que a meta G é satisfeita
- Exemplo

```
idade(pedro,7).
idade(ana,5).
idade(alice,8).
idade(tomaz,5).
?- findall(Crianca,idade(Crianca,Idade),L).
L = [pedro,ana,alice,tomaz]
?- findall(Crianca/Idade,idade(Crianca,Idade),L).
L = [pedro/7, ana/5, alice/8, tomaz/5]
?-findall(Crianca/Idade,
          (idade(Crianca,Idade),Idade>5),L).
L = [pedro/7, alice/8]
```



# Manipulação da BD/BC

| Predicado | Significado |
|---|---|
| listing/0 | Lista todos os predicados |
| listing(A) | Lista os predicados que têm A como functor principal |
| asserta(C) | Insere a cláusula C no início da base de dados; sempre tem sucesso. |
| assertz(C) | Insere a cláusula C no final da base de dados; sempre tem sucesso (assert(C) na sintaxe de Edinburgh) |
| retract(C) | Remove todas cláusulas que podem ser instanciadas com o fato C (C deve estar instanciado o suficiente) |
| retract(H :- B) | Remove todas cláusulas que podem ser instanciadas com a regra H:-B (H deve estar instanciado o suficiente) |
| clause(X,Y) | É verdade se X e Y unificam com a cabeça e o corpo de alguma cláusula no programa (X deve estar instanciado o suficiente) |



# Manipulação da BD/BC

- Em algumas implementações Prolog **asserta/1**, **assertz/1** e **retract/1** só funcionam em predicados que tenham sido declarados dinâmicos, que deve aparecer antes da definição ou uso do predicado dinâmico:
  - `:- dynamic Nome/Aridade.`
- A intenção é evitar a alteração acidental das definições
- Por exemplo:
  - `:- dynamic gosta/2.`
  - `:- dynamic gosta/2, pertence/2.`



# Manipulação da BD/BC

```
?- gosta(vivian,vinicius).
no
?- asserta(gosta(vivian,vinicius)).
yes
?- gosta(vivian,vinicius).
yes
?- rectract(gosta(vivian,vinicius)).
yes
?- gosta(vivian,vinicius).
no
```

# Manipulação da BD/BC

```
:- dynamic legal/0,
   ensolarado/0,
   chovendo/0,
   neblina/0.

legal :-
  ensolarado,
  \+ chovendo.
divertido :-
  ensolarado,
  chovendo.
chato :-
  chovendo,
  neblina.
chovendo.
neblina.
```

```
?- legal.
no
?- chato.
yes
?- retract(neblina).
yes
?- chato.
no
?- assertz(ensolarado).
yes
?- divertido.
yes
?- retract(chovendo).
yes
?- legal.
yes
?- retract(legal :- _).
yes
?- legal.
no
```



# Manipulação da BD/BC

- Podemos definir um predicado que remove todas cláusulas (fatos e regras) de uma determinada relação

```
retractall(X) :- retract(X), fail.
retractall(X) :- retract(X :- Y), fail.
retractall(_).
```

- Em algumas implementações Prolog, **retractall/1** é um predicado pré-definido



Slides baseados em:

Bratko, I.;
*Prolog Programming for Artificial Intelligence*,
3rd Edition, Pearson Education, 2001.

Clocksin, W.F.; Mellish, C.S.;
*Programming in Prolog*,
5th Edition, Springer-Verlag, 2003.

Programas Prolog para o
Processamento de Listas e Aplicações,
Monard, M.C & Nicoletti, M.C., ICMC-USP, 1993

Material elaborado por
José Augusto Baranauskas
Revisão 2007