

Inteligência Artificial

IA

Prof. João Luís Garcia Rosa

IV. RACIOCÍNIO BASEADO EM REGRAS

Parte 2
2004

Um Sistema de Dedução Regressivo

- Uma propriedade importante da lógica é a dualidade entre asserções e metas em sistemas de prova de teoremas. Já foi visto uma instância deste princípio de dualidade nos sistemas de refutação por resolução. Lá a fórmula meta era negada, convertida na forma de cláusula, e adicionada às asserções em forma de cláusulas também. A dualidade entre asserções e metas permite que a meta negada seja tratada como se fosse uma asserção. Os sistemas de refutação por resolução aplicam resolução ao conjunto de cláusulas combinadas até que a cláusula vazia (denotando F) seja produzida.



Um Sistema de Dedução Regressivo

- Pode-se também imaginar sistemas mistos nos quais três formas diferentes de resolução são usadas, a resolução entre asserções, a resolução entre expressões metas e a resolução entre uma asserção e uma meta. O sistema progressivo descrito no último item deveria ser apontado como um destes sistemas mistos porque ele envolve a unificação de um literal fato no grafo E/OU com um literal meta. O sistema de produção regressivo, descrito aqui, é também um sistema misto que é, de alguma forma, dual ao sistema progressivo. Sua operação envolve os mesmos tipos de representações e mecanismos que são usados no sistema progressivo.

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 3



Expressões Metas na Forma E/OU

- O sistema regressivo é capaz de tratar de expressões metas de forma arbitrária. Primeiro, converte-se a fórmula meta na forma E/OU pelo mesmo tipo de processo usado para converter uma expressão fato. Elimina-se os símbolos \rightarrow , move-se os símbolos de negação para dentro, Skolemiza-se as variáveis *universais*, e no final elimina-se os quantificadores existenciais. As variáveis restantes na forma E/OU de uma expressão meta têm assumida a quantificação existencial.

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 4

Expressões Metas na Forma E/OU

- Por exemplo, a expressão meta:

$$\exists Y \forall X (p(X) \rightarrow (q(X, Y) \wedge \neg(r(X) \wedge s(Y))))$$

é convertida para

$$\neg p(f(Y)) \vee (q(f(Y), Y) \wedge (\neg r(f(Y)) \vee \neg s(Y))),$$

onde $f(Y)$ é uma função de Skolem.

- A padronização das variáveis nas disjunções (principais) da meta leva a:

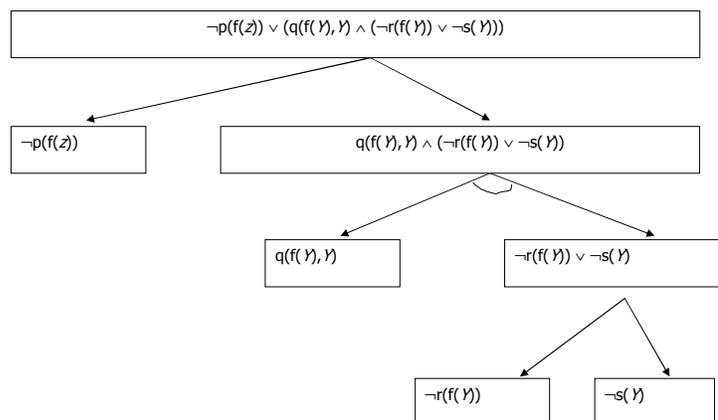
$$\neg p(f(Z)) \vee (q(f(Y), Y) \wedge (\neg r(f(Y)) \vee \neg s(Y))).$$

(Note que a variável Y não pode ser renomeada *dentro* da subexpressão disjuntiva.)

Expressões Metas na Forma E/OU

- As fórmulas metas na forma E/OU podem ser representadas como grafos E/OU. Mas com expressões metas, os conectores-k nestes grafos são usados para separar *conjuntivamente* subexpressões relacionadas. A representação do grafo E/OU para a fórmula meta exemplo acima é mostrada na próxima figura. Os nós folhas deste grafo são rotulados pelos literais da expressão meta. Nos grafos metas E/OU, chama-se qualquer descendente do nó raiz de *nó submeta*. As expressões que rotulam tais nós descendentes são chamadas de *submetas*.

Expressões Metas na Forma E/OU



João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 7

Expressões Metas na Forma E/OU

- O conjunto de cláusulas na representação de forma de cláusula desta fórmula meta pode ser lida a partir do conjunto de grafos solução terminando em nós folhas:

$\neg p(f(z))$

$q(f(Y), Y) \wedge \neg r(f(Y))$

$q(f(Y), Y) \wedge \neg s(Y)$

- As cláusulas metas são *conjunções* de literais e a disjunção destas cláusulas é a forma de cláusula da fórmula meta.

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 8

Aplicando Regras num Sistema Regressivo

- As regras-R para este sistema são baseadas em implicações assercionais. Elas são asserções assim como são as regras-P no sistema progressivo. Agora, entretanto, vai-se restringir as regras-R a expressões da forma

$$W \rightarrow L,$$

- onde W é qualquer fórmula (assumida estar na forma E/OU), L é um literal, e o escopo da quantificação de quaisquer variáveis na implicação é a implicação inteira. (Novamente, a restrição de regras-R a implicações desta forma simplifica a unificação e não causa dificuldades práticas importantes. Também, uma implicação tal como $W \rightarrow (L1 \wedge L2)$ pode ser convertida a duas regras $W \rightarrow L1$ e $W \rightarrow L2$.

Aplicando Regras num Sistema Regressivo

- Tal regra-R é aplicável a um grafo E/OU representando uma fórmula meta se esse grafo contém um nó literal rotulado por L' que unifica com L . O resultado da aplicação da regra é adicionar um arco de *matching* a partir do nó rotulado por L' para um nó do novo descendente rotulado por L . Este novo nó é o nó raiz da representação do grafo E/OU de Wu onde u é o u.m.g. de L e L' . Este u.m.g. rotula o arco de *matching* no grafo transformado.

A Condição de Terminação

- As expressões fatos usadas pelo sistema regressivo são limitadas àquelas na forma de uma conjunção de literais. Tais expressões podem ser representadas como um conjunto de literais. Análogo ao sistema progressivo, quando um literal fato unifica com um literal rotulando um nó literal do grafo, um descendente correspondente *nó fato* pode ser adicionado ao grafo. Este nó fato é ligado ao nó literal da submeta unificada por um arco de *matching* rotulado pelo u.m.g.. O mesmo literal fato pode ser usado várias vezes (com variáveis diferentes em cada uso) para criar nós fatos múltiplos.
- A condição para terminação bem sucedida para o sistema regressivo é que o grafo E/OU contenha um grafo de solução *consistente* terminando em nós fatos. Novamente, um grafo de solução consistente é aquele onde as substituições do arco de *matching* têm uma composição unificadora.

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 11

Receita para resolução por encadeamento regressivo

- Para resolver um problema através do encadeamento regressivo, é necessária a execução de alguns passos:
 1. Verificar se os elementos estão no formato adequado: a meta deve estar na forma E/OU; as regras devem ter apenas um literal como conseqüente e o fato deve ser uma conjunção de literais. Se o fato não obedecer a esta exigência, não é possível resolver através do encadeamento regressivo;
 2. Construir o grafo E/OU para a expressão meta;
 3. Construir o grafo do conhecimento para a expressão meta, aplicando as regras no grafo E/OU;
 4. Obter as cláusulas-R a partir do grafo do conhecimento;
 5. Verificar se o fato pode ser verificado a partir do conjunto de cláusulas obtidas. Lembre-se de que este conjunto é uma disjunção de cláusulas-R, ou seja, uma disjunção de conjunções.

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 12

“Resolvendo” dentro dos Grafos E/OU

- O sistema regressivo descrito não é capaz de provar expressões de metas válidas ou tautológicas como $(\neg p \vee p)$ a menos que ele possa provar $\neg p$ ou p separadamente. O sistema progressivo não pode reconhecer expressões fatos contraditórias como $(\neg p \wedge p)$. Com a finalidade de superar estas deficiências, os sistemas devem ser capazes de realizar inferências intrameta ou intrafato.
- Vai-se descrever como certas inferências intrameta podem ser realizadas. Considere, por exemplo, as seguintes expressões usadas num sistema regressivo:

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 13

“Resolvendo” dentro dos Grafos E/OU

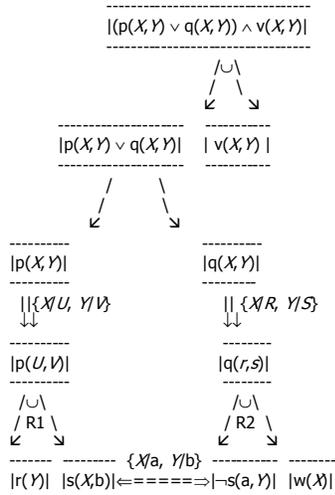
- *Meta*
 $(p(X, Y) \vee q(X, Y)) \wedge v(X, Y)$
- *Regras*
R1: $(r(V) \wedge s(U, b)) \rightarrow p(U, V)$
R2: $(\neg s(a, S) \wedge w(R)) \rightarrow q(R, S)$
- *Fatos*
 $r(b) \wedge w(b) \wedge v(a, b) \wedge v(b, b)$
- Depois de aplicar as regras R1 e R2, tem-se o grafo E/OU mostrado na próxima figura. Este grafo tem dois literais complementares cujos predicados unificam com u.m.g. $\{X/a, Y/b\}$. O procedimento *Resolução de Meta Restrita* (“RGR” - *Restricted Goal Resolution*) permite eliminar nós folha complementares numa disjunção, para efeito de simplificação do grafo E/OU. Um outro procedimento possível, caso o grafo gerado não resolva o problema, é gerar um outro grafo, partindo da expressão obtida através da aplicação da propriedade distributiva.

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 14

“Resolvendo” dentro dos Grafos E/OU



João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 15

Uma Combinação de Sistemas Progressivo e Regressivo

- Ambos os sistemas de dedução baseados em regras, progressivo e regressivo, têm limitações. O sistema regressivo pode manipular expressões metas de forma arbitrária mas está restrito a expressões fatos consistindo de conjunções de literais. O sistema progressivo pode manipular expressões fatos de forma arbitrária mas está restrito a expressões metas consistindo de disjunções de literais. Pode-se combinar os dois sistemas e tirar vantagens de cada um sem as limitações de ambos?

João Luís G. Rosa

<http://docentes.puc-campinas.edu.br/ceatec/joaoluis/ia.html>

IA-2004-IV-2 slide 16

Uma Combinação de Sistemas Progressivo e Regressivo

- Na verdade, quatro fatores influenciam a razão de se escolher raciocinar progressivamente ou regressivamente (Rich e Knight, 1994):
 1. Existem mais estados iniciais ou metas? É preferível mover de um conjunto de estados menor para um maior (e portanto mais fácil de achar).
 2. Em qual direção o fator de ramificação é maior? (fator de ramificação é o número médio de nós que podem ser alcançados diretamente de um único nó.) É preferível mover na direção com o fator de ramificação menor.
 3. O programa terá que justificar seu processo de raciocínio para o usuário? Se tiver, é importante mover na direção que corresponde à forma como o usuário está pensando.
 4. Que tipo de evento irá iniciar um episódio de resolução de problema? Se for a chegada de um novo fato, o raciocínio progressivo faz sentido. Se for desejada a resposta de uma pergunta, o raciocínio regressivo é mais natural.