

Breve Resumo Sobre
Sistemas
Especialistas:
Utilização Prática dos
Sistemas Dedutivos
da Lógica na
Inteligência Artificial

Prof^a Dr^a Rita Maria da Silva Julia

1. Agentes Inteligente Baseados na Lógica

➤ Definição:

Os agentes inteligentes baseados na Lógica, também conhecidos como Sistemas Especialistas (SEs), são sistemas computacionais que resolvem problemas com base na Lógica Matemática [Artificial Intelligence: A Modern Approach, Russel S., Norvig P., terceira edição].

➤ Como Resolvem Problemas? Onde são Aplicados?

Os SEs resolvem problemas representando um conhecimento disponível em uma Base de Conhecimento (BC) e tentando encontrar a solução para o problema para o qual foi projetado (Recuperação da Informação) a partir de novos conhecimentos extraídos dessa BC. Eles são extremamente utilizados para automatizar e otimizar diversas rotinas que, normalmente, são executadas com limitações pelos seres humanos em virtude de características que lhe são inerentes, tais como: limitação de memória, o fato de não estarem “plugados” na dinâmica intensa da WEB e, conseqüentemente, não receberem em tempo real informações de novos conhecimentos relevantes que surgem a todo momento, exaustão mental etc. Dentre os inúmeros domínios de aplicação dos SEs como “conselheiros especialistas”, citam-se: a área médica (produzindo diagnóstico de doenças, indicando medicação apropriada etc), a área de investimentos (indicando bons investimentos, boas escolhas de ações a serem compradas etc), o comércio eletrônico (traçando perfis de consumo de compradores nos inúmeros sites de venda digital) , a prospecção de petróleo (indicando probabilidade de se encontrar petróleo em uma dada região em função de suas condições geológicas), os jogos eletrônicos etc.

2. Representação do Conhecimento nos Sistemas Especialistas:

Os SEs representam o conhecimento por meio de fórmulas Lógicas armazenadas em uma BC. Tais fórmulas exprimem regras (implicações lógicas) ou fatos (conhecimentos expressos de forma incondicional correspondentes a hipóteses aceitas como sendo verdadeiras). As fórmulas usadas para representar o conhecimento nos SEs são regras “se-então “ expressas por meio de implicações lógicas. Apesar de os SEs reais implementados na Inteligência Artificial se basearem em formalismos de representação do conhecimento bem poderosos, tais como o Cálculo dos Predicados ou a Lógica Nebulosa, o exemplo introdutório a ser apresentado neste capítulo, para fins de didática, será baseado na Lógica Proposicional. Em um exemplo posterior será mostrado como a representação do conhecimento e o processo de inferência obtidos por meio do Cálculo de Predicados de Primeira Ordem aumentam a capacidade dedutiva dos SEs.

3. Métodos de Resolução de Problemas nos Sistemas Especialistas:

Há duas maneira distintas de operação dos SEs com o objetivo de resolver problemas:

- **Encadeamento Progressivo:** ocorre quando o SE processa toda a BC com o objetivo de extrair todos os novos conhecimentos que podem ser inferidos a partir dela. Para tanto, ele checa na base de fatos todos os literais dos antecedentes de cada regra que são verdadeiros. Sempre que todos os literais de uma determinada regra forem verdadeiros, o SE infere seu literal conseqüente como novo conhecimento e o insere como novo fato na BC. Teoricamente, tal estratégia consiste em se efetuar deduções lógicas com base na regra de inferência do Modus Ponens, conforme resumido na seção 4.
- **Encadeamento Regressivo:** ocorre quando o SE responde perguntas do usuário a partir do conhecimento disponível na BC por meio de prova por absurdo (já estudamos a dinâmica de tais sistemas no contexto da Lógica Proposicional. Posteriormente veremos como incrementar o poder de cálculo dos SEs com encadeamento regressivo no contexto do Cálculo de Predicados de Primeira Ordem).

No exemplo de utilização prática da Lógica na Inteligência Artificial a ser apresentado na seção 5, o foco será concentrado nos Sistemas Especialistas com Encadeamento Progressivo, ou seja, aqueles baseados nas deduções lógicas.

4. Usando a Regra de Inferência do Modus Ponens para resolver problemas (descobrir novos conhecimentos a partir de conhecimentos de base fornecidos) nos Sistemas Especialistas com Encadeamento Progressivo

Os SEs com encadeamento progressivo operam processando iterativamente as regras da BC. A cada iteração j , o SE trata cada uma das regras R_i da base de regras da BC, checando, na base de fatos, se todos literais do antecedente de R_i são verdadeiros. Se não forem, o SE abandona R_i e prossegue na j -ésima iteração tratando as regras subsequentes a R_i . Se forem, os seguintes procedimentos são executados: 1) Caso o conhecimento expresso no conseqüente de R_i não pertença à base de fatos, o SE o insere como novo conhecimento na base de fatos da BC e vai para o procedimento 2 descrito a seguir; caso contrário, o SE vai diretamente para o mesmo procedimento 2; 2) o SE prossegue na j -ésima iteração tratando as regras subsequentes a R_i (considerando a base de fatos atualizada).

A cada vez que em uma iteração j é inferido pelo menos um fato novo, após o término do processamento de todas as regras na j -ésima iteração, faz-se necessária a execução de uma nova iteração $j+1$. Por outro lado, tão logo uma dada iteração não infere fato novo algum, interrompem-se as iterações (ou o processamento) do SE.

Teoricamente, tal estratégia consiste em se efetuar deduções lógicas com base na regra de inferência do Modus Ponens, a saber: quaisquer que sejam as fórmulas A e B da Lógica Proposicional:

$$\frac{A, A \rightarrow B}{B}$$

5. Exemplo de SE com encadeamento Progressivo:

Conforme argumentado anteriormente, é importante salientar que o exemplo apresentado a seguir foi elaborado no contexto da Lógica Proposicional, o que traz grandes limitações práticas devido aos modestos recursos de tal lógica no contexto da representação do conhecimento. O objetivo, no caso, é usar uma situação didaticamente simples para introduzir o uso dos sistemas dedutivos em situações práticas (os SEs com encadeamento progressivo REAIS implementados na Inteligência Artificial se baseiam em formalismos de representação do conhecimento bem mais poderosos, tais como o Cálculo dos Predicados ou a Lógica Nebulosa, conforme será apresentado em momento oportuno).

BASE DE FATOS (hipóteses não dependentes de condicionais) da BC:

F1: Bozo é um cachorro (P)

F2: Deede é um cavalo (Q)

F3: Deede é pai de Suggar (R)

F4: Deede é pai de Silver(S)

BASE DE REGRAS (hipóteses dependentes de condicionais) da BC:

R1: Se Bozo é um cachorro e é pai de Rintintin, então Rintintin é um cachorro.

Chamando as proposições “Bozo é pai de Rintintin” de Q_1 , e “Rintintin” é um cachorro de Q_2 ,

$$R1: (P \wedge Q_1) \rightarrow Q_2$$

R2: Se Deede é um cavalo e é pai de sugar, então Sugar é um cavalo.

Chamando a proposição “Sugar é um cavalo” de Q_3 , temos que:

$$R2: (Q \wedge R) \rightarrow Q_3$$

R3: Se Deede é um cavalo e é pai de Silver, então Silver é um cavalo;

Chamando a proposição “Silver é um cavalo” de Q_4 , temos que:

$$R3: (Q \wedge S) \rightarrow Q_4$$

R4: Se Silver gosta de Zorro, então ele é meu amigo.

Chamando as proposições “Silver gosta de Zorro” e “Silver é meu amigo” de Q_5 e Q_6 , respectivamente:

$$R4: Q_5 \rightarrow Q_6$$

R5: Se Silver é um cavalo, então ele gosta do Zorro.

Chamando a proposição “Silver gosta de Zorro” de Q_5 ,

$$R5: Q_4 \rightarrow Q_5$$

➤ **ITERAÇÃO 1:**

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 1 ($R1: (P \wedge Q_1) \rightarrow Q_2$) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da primeira regra na primeira iteração? Não, pois somente a restrição P do antecedente da regra foi satisfeita pela base de fatos (a restrição Q_1 não foi atendida!). Logo, nenhum fato novo é inserido à base de fatos (que continua inalterada) e a primeira iteração passa a tratar a segunda regra (R2).

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 2 ($R2: (Q \wedge R) \rightarrow Q_3$) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da segunda regra na primeira iteração? Sim, pois todas as restrições do antecedente da segunda regra (Q e R) foram satisfeitas pela base de fatos. Logo, o SE insere o consequente Q_3 como um novo fato da base de fatos, que passa a ser, então, a seguinte:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)

O SE prossegue na primeira iteração tratando, agora, a terceira regra:

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 3 ($R3: (Q \wedge S) \rightarrow Q_4$) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da terceira regra na primeira iteração? Sim, pois todas as restrições do antecedente da terceira regra (Q e S) foram satisfeitas pela base de fatos. Logo, o SE insere o consequente Q_4 como um novo fato da base de fatos, que passa a ser, então, a seguinte:

- F1: Bozo é um cachorro (P)
- F2: Deede é um cavalo (Q)
- F3: Deede é pai de Sugar (R)
- F4: Deede é pai de Silver(S)
- F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
- F6: Silver é um cavalo (Q_4)

O SE passa a analisar a quarta regra na primeira iteração:

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 4 (**$R_4: Q_5 \rightarrow Q_6$**) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

- F1: Bozo é um cachorro (P)
- F2: Deede é um cavalo (Q)
- F3: Deede é pai de Sugar (R)
- F4: Deede é pai de Silver(S)
- F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
- F6: Silver é um cavalo (Q_4)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da quarta regra na primeira iteração? Não, pois sua restrição Q_5 não foi atendida! Logo, nenhum fato novo é inserido à base de fatos (que continua inalterada) e a primeira iteração passa a tratar a quinta regra (R_5).

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 5 (**$R_5: Q_4 \rightarrow Q_5$**) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

- F1: Bozo é um cachorro (P)
- F2: Deede é um cavalo (Q)
- F3: Deede é pai de Sugar (R)
- F4: Deede é pai de Silver(S)
- F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
- F6: Silver é um cavalo (Q_4)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da quinta regra na primeira iteração? Sim, pois a restrição Q_4 do antecedente da regra foi satisfeita pela base de fatos. Logo, o SE insere o consequente Q_5 como um novo fato da base de fatos, que passa a ser, então, a seguinte:

- F1: Bozo é um cachorro (P)
- F2: Deede é um cavalo (Q)
- F3: Deede é pai de Sugar (R)
- F4: Deede é pai de Silver(S)
- F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
- F6: Silver é um cavalo (Q_4)
- F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)

Como foram tratadas todas as 5 regras do SE, acaba a primeira iteração. Uma vez que em tal iteração foi inserido pelo menos um novo fato na base de fatos (exatamente, foram inseridos 3!), deve ser executada mais uma iteração do SE, pois esses novos fatos podem permitir, agora, novas deduções:

➤ **ITERAÇÃO 2:**

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 1 ($R1: (P \wedge Q_1) \rightarrow Q_2$) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

- F1: Bozo é um cachorro (P)
- F2: Deede é um cavalo (Q)
- F3: Deede é pai de Sugar (R)
- F4: Deede é pai de Silver(S)
- F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
- F6: Silver é um cavalo (Q_4)
- F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da primeira regra na segunda iteração? Não, pois somente a restrição P do antecedente da regra foi satisfeita pela base de fatos (a restrição Q_1 continua não sendo atendida!). Logo, nenhum fato novo é inserido à base de fatos (que continua inalterada) e a segunda iteração passa a tratar agora a segunda regra (R2).

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 2 (**$R2: (Q \wedge R) \rightarrow Q_3$**) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
F6: Silver é um cavalo (Q_4)
F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)

Houve algum NOVO Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da segunda regra na segunda iteração? Não, pois apesar de todas as restrições do antecedente da segunda regra (Q e R) terem sido satisfeitas pela base de fatos, o consequente Q_3 que ele infere na segunda iteração já pertence à base de fatos, não sendo inserido novamente nela.

O SE prossegue na segunda iteração tratando, agora, a terceira regra:

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 3 (**$R3: (Q \wedge S) \rightarrow Q_4$**) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
F6: Silver é um cavalo (Q_4)
F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)

Houve algum NOVO Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da terceira regra na segunda iteração? Não, pois apesar de todas as restrições do antecedente da terceira regra (Q e S) terem sido satisfeitas pela base de fatos, o consequente Q_4 que ele infere na segunda iteração já pertence à base de fatos, não sendo inserido novamente nela.

O SE passa a analisar a quarta regra na segunda iteração:

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 4 (**R4: $Q_5 \rightarrow Q_6$**) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
F6: Silver é um cavalo (Q_4)
F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da quarta regra na segunda iteração? Sim, pois sua restrição Q_5 agora foi atendida! Logo, o novo fato Q_6 é adicionado à base de fatos, que passa a ser agora:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
F6: Silver é um cavalo (Q_4)
F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)
F8: Silver é meu amigo (Q_6)

O SE passa a analisar a quinta regra na segunda iteração:

- ✓ ANTECEDENTE DA REGRA 5 (**R5: $Q_4 \rightarrow Q_5$**) X BASE DE FATOS, onde a base de fatos corrente é:

F1: Bozo é um cachorro (P)
F2: Deede é um cavalo (Q)
F3: Deede é pai de Sugar (R)
F4: Deede é pai de Silver(S)
F5: Sugar é um cavalo (Q_3)
F6: Silver é um cavalo (Q_4)
F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)
F8: Silver é meu amigo (Q_6)

Houve um novo Fato Inferido (deduzido) pelo SE após o tratamento da quinta regra na segunda iteração? Não, pois apesar de a restrição Q_4 da regra ter saindo atendida pela base de fatos, o conhecimento Q_5 que ele infere na

segunda iteração já pertence à base de fatos, não sendo inserido novamente nela.

Após processada a quinta regra, conclui-se a segunda iteração. Como ela gerou pelo menos um novo fato (no caso, Q_6), desencadeia-se a terceira iteração.

➤ **ITERAÇÃO 3:**

Tal iteração é executada de modo análogo às anteriores e não será detalhada aqui. Em uma análise resumida, observa-se que esta terceira iteração não gerará fato novo algum, pois o único fato novo gerado na iteração anterior (Q_6) não é requisito único de nenhuma das 5 regras do SE. Logo, o SE encerrará sua execução após processar a quinta regra na terceira iteração, produzindo como resposta a seguinte base de fatos final (composta de 8 fatos, sendo os 4 primeiros integrantes do conhecimento de base fornecido ao SE e, os 4 últimos, integrantes dos novos conhecimentos inferidos (deduzidos) pelo SE):

F1: Bozo é um cachorro (P)

F2: Deede é um cavalo (Q)

F3: Deede é pai de Sugar (R)

F4: Deede é pai de Silver(S)

F5: Sugar é um cavalo (Q_3)

F6: Silver é um cavalo (Q_4)

F7: Silver gosta de Zorro (Q_5)

F8: Silver é meu amigo (Q_6)