



- Um produto da Engenharia de Conhecimento, um sistema especialista **representa o conhecimento de uma área específica e o utiliza para resolver problemas simulando o raciocínio de um especialista humano, podendo ser desenvolvido para substituir ou aconselhar este.**
- A sua principal característica é a manipulação de conhecimento, diferentemente do que é feito por sistemas convencionais.



Sistemas especialistas possuem algumas vantagens sobre um especialista humano, tais como:

- a durabilidade de seu conhecimento: não há esquecimento ou necessidade de praticá-lo;
- a consistência de suas respostas: os resultados são reproduzidos com maior regularidade por não sofrerem influência do meio externo;



- são mais fáceis para documentar e reproduzir seu conhecimento: não há dificuldades de expressão uma vez definida a linguagem de representação de conhecimento;
- são menos caros e facilmente multiplicados: não há altos salários a serem pagos nem necessidade de contratação de mais profissionais.



Sistemas especialistas baseados em regra

- As **regras de produção**, propostas na década de 40, são a forma mais popular de se representar o conhecimento em um sistema especialista.
- Regras como redes semânticas e os quadros, também são utilizadas em menor escala e, por não serem o objetivo deste texto, não serão vistas.

Sistemas especialistas baseados em regra

- É importante mencionar que um sistema especialista pode utilizar uma ou mais formas de representação.
- A representação por regras é baseada nas implicações lógicas e constitui uma das formas mais naturais do homem expor seu conhecimento. Uma regra possui a seguinte estrutura:

Sistemas especialistas baseados em regra

- Uma regra possui a seguinte estrutura:

SE premissas/condições **ENTÃO** conclusões/ações

antecedente – que descreve as suas condições é formada por condições agrupadas por operadores lógicos (*e, ou, não*), gerando uma expressão lógica.

consequente – que realiza as conclusões a partir das condições

Sistemas especialistas baseados em regra – Exemplo:

- **r1.** Se a renda tributável anual é igual ou superior a 10800 ou renda não-tributável anual é igual ou superior a 40000, então é obrigado a declarar rendimentos.
- **r2.** Se é obrigado a declarar rendimentos e não declarar, então sofrerá punições.
- **r3.** Se é obrigado a declarar rendimentos, então escolha modelo simplificado ou completo.
- **r4.** Se sofrerá punições, então pagará multa e será processado.
- **r5.** Se não é obrigado a declarar rendimentos, então fazer a declaração anual de isentos.
- **r6.** Se for processado, então poderá ser preso.

Sistemas especialistas baseados em regra

- Estas informações são traduzidas em afirmações feitas na linguagem de representação do sistema especialista, assim sendo consideradas verdadeiras, e são chamadas de **fatos**.
- Fatos podem ser obtidos através da entrada de dados pelo usuário, de registros em banco de dados ou de sensores ligados ao sistema.

Desta forma, a base de conhecimento de um sistema especialista é composta por regras e fatos.

Sistemas especialistas baseados em regra

- A partir dos fatos, o mecanismo de inferência de um sistema especialista é ativado para determinar uma ação a ser realizada ou verificar a possibilidade de um fato ocorrer.
- O mecanismo de inferência irá selecionar as regras que poderão ser aplicadas segundo alguma ordem arbitrária – regras originadas de profissionais mais experientes, regras de menor custo, regras de maior ou menor aplicação, etc. Para cada configuração de um problema, uma ou mais regras podem ser escolhidas.

Sistemas especialistas baseados em regra

- Antes de realizar a escolha, o mecanismo de inferência deve definir a estratégia de inferência a ser realizada. A estratégia chamada de **encadeamento progressivo**, baseada na inferência *modus ponens*, parte das condições para obter a parte consequente

Lembrando...

modus ponens
Se P, então Q.
P.
Portanto Q.



Sistemas especialistas baseados em regra

- As ações efetuadas por uma regra podem modificar a base de conhecimento, incluindo mais informações.
- Novas regras podem ter suas condições satisfeitas, sendo assim aplicadas.
- O processo pode parar segundo algum critério ou quando não for mais possível aplicar alguma regra.



Sistemas especialistas baseados em regra – Exemplo:

- **f1.** Juca possui renda tributável anual de 12000.
- **f2.** Juca não irá declarar rendimentos.

A estratégia de encadeamento progressivo será utilizada de modo que, para cada fato, todas as regras aplicáveis serão executadas na ordem em que estão colocadas.

O processo será interrompido quando não for mais possível aplicar alguma regra



Sistemas especialistas baseados em regra – Exemplo:

- **f3** ← $f1 \wedge r1$: Juca é obrigado a declarar rendimentos.
- **f4** ← $f2 \wedge f3 \wedge r2$: Juca sofrerá punições.
- **f5** ← $f3 \wedge r3$: Juca escolherá modelo simplificado ou completo.
- **f6** ← $f4 \wedge r4$: Juca pagará multa.
- **f7** ← $f4 \wedge r4$: Juca será processado.
- **f8** ← $f7 \wedge r6$: Juca poderá ser preso.



Sistemas especialistas baseados em regra

- Resposta do sistema especialista pode ser, por exemplo, a última conclusão ou todas as novas informações geradas.
- Como um sistema especialista é desenvolvido para um fim específico, algumas regras terão a responsabilidade de fornecer a saída do programa e serão construídas de modo a serem as últimas aplicadas.

Sistemas especialistas baseados em regra - Exemplo:

Considere que um sistema especialista:

- com a base de conhecimento anterior;
- com a estratégia já estipulada.

Seja executado para verificar se Juca poderá ser preso.


Sistemas especialistas baseados em regra – Exemplo:

- r1. Se a renda tributável anual é igual ou superior a 10800 ou renda não-tributável anual é igual ou superior a 40000, então é obrigado a declarar rendimentos.
- r2. Se é obrigado a declarar rendimentos e não declarar, então sofrerá punições.
- r3. Se é obrigado a declarar rendimentos, então escolha modelo simplificado ou completo. (IRRELEVANTE, pois a mesma resposta seria obtida independente do modelo)
- r4. Se sofrerá punições, então pagará multa e será processado.
- r5. Se não é obrigado a declarar rendimentos, então fazer a declaração anual de isentos.
- r6. Se for processado, então poderá ser preso.


Sistemas especialistas baseados em regra – Exemplo:

- Esta situação (r3) pode ser muito grave em sistemas especialistas reais com centenas ou milhares de regras, cada uma com diversas condições a serem verificadas.
- Pode-se desperdiçar recursos realizando inferências desnecessárias a um objetivo em especial, chamado de **meta**. Assim, é desejável que se apliquem apenas as regras indispensáveis à verificação de uma meta.

Sistemas especialistas baseados em regra – Estratégias:

- **encadeamento regressivo** obtém este intuito identificando as regras relevantes para verificar uma meta estipulada.
- 

Sistemas especialistas baseados em regra – Estratégias:

- **encadeamento progressivo**, uma regra é selecionada pela sua parte consequente e o mecanismo de inferência procura mostrar a verdade da parte antecedente por meio de fatos e regras da base conhecimento. Se uma condição não puder ser verificada utilizando-se os fatos, então procura-se uma regra em que ela seja parte da conclusão e assim por diante.
- 

Sistemas especialistas baseados em regra - encad. progressivo:

Exemplo:

- Considere as seis regras anteriores e os fatos $f1$ e $f2$ e que seja desejado verificar se Juca poderá ser preso. Na primeira etapa, o sistema procura um fato que faça esta afirmação.
- Como não há, então uma regra que conclua esta afirmação é procurada e identificada: a regra $r6$.



Sistemas especialistas baseados em regra - encad. progressivo:

Exemplo:

- Para que a conclusão de $r6$ seja verdadeira é necessário que a sua parte antecedente também seja verdadeira. Como não há fato afirmando que Juca será processado, então procura-se uma outra regra em que se conclua esta informação, sendo localizada a regra $r4$.



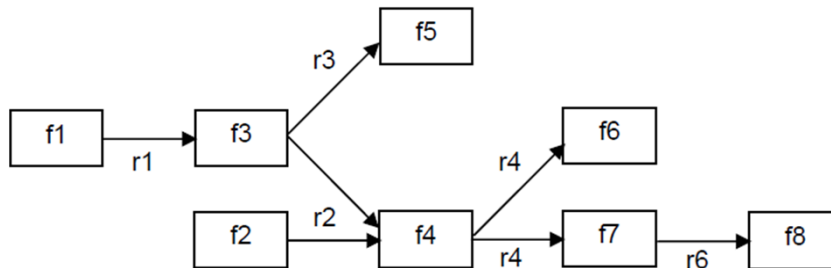
Sistemas especialistas baseados em regra - encad. progressivo:

- A única condição desta regra é a conclusão da regra $r2$. Esta regra possui duas condições, sendo a segunda delas satisfeita pelo fato $f2$.
- A primeira condição de $r2$ é a conclusão de $r1$. Observa-se que a parte antecedente de $r1$ é uma disjunção e, portanto, basta que apenas uma das condições seja satisfeita. Isto ocorre com a primeira condição, que é satisfeita pelo fato $f1$.

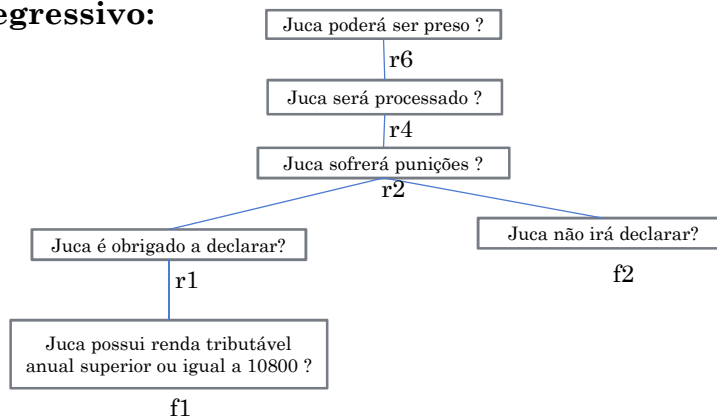
Sistemas especialistas baseados em regra - encad. progressivo:

- Assim, $r1$, $r2$, $r4$ e $r6$ são aplicadas sucessivamente até que o sistema exiba a resposta positiva, isto é, Juca poderá ser preso.
- Pode-se observar que $r3$ não foi utilizada por não ser relevante para a decisão. Esta estratégia frequentemente é vantajosa em ocasiões em que se deseja verificar a validade de algum fato.

Sistemas especialistas baseados em regra - encad. progressivo:



Sistemas especialistas baseados em regra - encad. regressivo:



Sistemas especialistas baseados em regra - Exemplo 2:

Base de conhecimento:

- r1. $a \wedge b \wedge \sim c \rightarrow \sim e \wedge g$
- r2. $a \wedge \sim c \rightarrow h \vee i$
- r3. $a \wedge b \rightarrow j \wedge l$
- r4. $a \wedge b \rightarrow n \wedge p$
- r5. $\sim a \wedge \sim f \rightarrow \sim m \vee l$
- r6. $a \vee \sim s \rightarrow p \wedge q \wedge \sim r \wedge b$
- r7. $p \vee s \rightarrow a \wedge t \wedge \sim c$
- r8. $s \wedge t \wedge j \rightarrow a \wedge d \wedge \sim m$
- f1. s

Sistemas especialistas baseados em regra - Exemplo 2:

META:

- m1. $g \wedge \sim m$

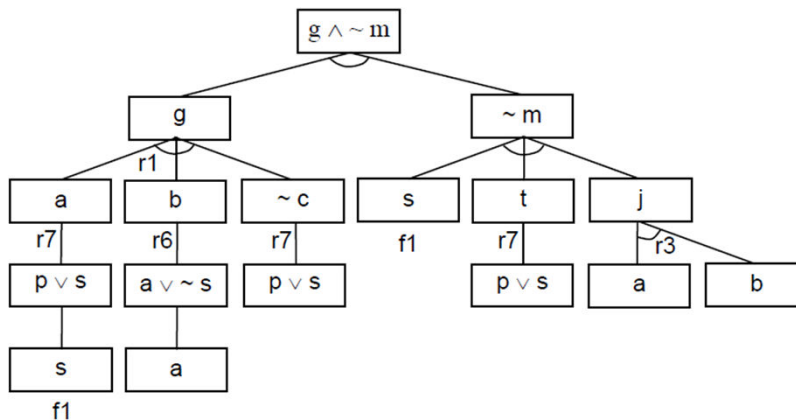
Para verificar a validade da meta $m1$, é relevante observar que ela é uma conjunção de dois sub-objetivos. Então, cada um deles deverá ser concluído.

Sistemas especialistas baseados em regra - Exemplo 2:


encadeamento progressivo

$f2 \leftarrow f1 \wedge r7 : a$
 $f3 \leftarrow f1 \wedge r7 : t$
 $f4 \leftarrow f1 \wedge r7 : \sim c$
 $f5 \leftarrow f2 \wedge f4 \wedge r2 : h \vee i$
 $f6 \leftarrow f2 \wedge r6 : p$
 $f7 \leftarrow f2 \wedge r6 : q$
 $f8 \leftarrow f2 \wedge r6 : \sim r$
 $f9 \leftarrow f2 \wedge r6 : b$
 $f10 \leftarrow f2 \wedge f4 \wedge f8 \wedge r1 : \sim e$
 $f11 \leftarrow f2 \wedge f4 \wedge f8 \wedge r1 : g$
 $f12 \leftarrow f2 \wedge f8 \wedge r3 : j$
 $f13 \leftarrow f2 \wedge f8 \wedge r3 : l$
 $f14 \leftarrow f2 \wedge f8 \wedge r4 : n$
 $f15 \leftarrow f2 \wedge f8 \wedge r4 : p$
 $f16 \leftarrow f1 \wedge f3 \wedge f12 \wedge r8 : d$
 $f17 \leftarrow f1 \wedge f3 \wedge f12 \wedge r8 : \sim m$


Sistemas especialistas baseados em regra - Exemplo 2:



Sistemas especialistas baseados em regra - incerteza nas regras

- Comumente, nem sempre a veracidade e a correção das informações são garantidas ao se tomar alguma decisão. Além disso, muitos problemas possuem mais de uma resposta correta e há uma não desprezível dificuldade de se representar o conhecimento de modo exato e sem ambiguidade. Assim, diante da impossibilidade de se raciocinar de modo exato, inequívoco, realiza-se um **raciocínio aproximado**.
- 

Sistemas especialistas baseados em regra - incerteza nas regras

- Por estes motivos os fatos e as regras podem apresentar diferentes **graus de certeza**, que são indicações gráficas ou numéricas das validades desses elementos. De natureza arbitrária, um grau de certeza é geralmente um valor entre -1 e 1 e pode ser obtido diretamente de especialistas de domínio ou gerado automaticamente por algum método matemático. Quanto maior o valor, maior é o indicativo de correção ou certeza que o sistema possui sobre uma determinada informação.
- 

Sistemas especialistas baseados em regra - incerteza nas regras

Com o raciocínio aproximado, as regras têm a sua estrutura alterada, conforme abaixo:

SE premissas/condições ENTÃO conclusões/ações com seus graus de certeza

O exemplo a seguir ilustra algumas regras com apenas uma conclusão, em que GC significa grau de certeza e GC_i é o grau de certeza do fato f_i . Considera-se que todas as condições das regras são satisfeitas segundo os seus graus de certeza GC_i associados.

r1. $f1 \wedge f2 \wedge f3 \rightarrow f4$ ($GC = 0,6$)

r2. $f5 \vee f6 \vee f7 \rightarrow f4$ ($GC = 0,8$)

$GC1 = 0,8$, $GC2 = 0,2$, $GC3 = 0,6$, $GC5 = 0,5$, $GC6 = 0,1$, $GC7 = 0,7$

Sistemas especialistas baseados em regra - incerteza nas regras

Em uma de suas formas mais simples, a inferência aproximada segue as seguintes normas:

1. o GC de uma conjunção de condições é definido como o menor dos graus de certeza das mesmas;
2. o GC de uma disjunção de condições é definido como o maior dos graus de certeza das mesmas;
3. o GC de uma conclusão é definido como o produto do grau de certeza das premissas pelo grau de certeza da regra;
4. quando uma mesma conclusão é obtida de diversas regras, o seu grau de certeza final é o maior dos seus graus de certeza.

Sistemas especialistas baseados em regra - incerteza nas regras

Assim, considerando as regras $r1$ e $r2$ acima, tem-se que:

$$GC4a = \min\{GC1, GC2, GC3\} \times GCr1 = \min\{0,8; 0,2; 0,6\} \times 0,6 = 0,2 \times 0,6 = 0,12$$

$$GC4b = \max\{GC5, GC6, GC7\} \times GCr2 = \max\{0,5; 0,1; 0,7\} \times 0,8 = 0,7 \times 0,8 = 0,56$$

$$GC4 = \max\{0,12; 0,56\} = 0,56$$



Sistemas especialistas baseados em regra - incerteza nas regras

Quando duas ou mais conclusões distintas são realizadas, então pode-se escolher a de maior grau de certeza como a resposta final do sistema ou então exibir todas como respostas.



INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

- **Bibliografia utilizada para estas notas de aula:**

- Russel, Stuart J. Inteligência Artificial. Stuart J. Russel. Rio de Janeiro. Elsevier. 2004

Notas de Aula do Prof. ROGÉRIO ESPÍNDOLA,
disponível na Biblioteca Virtual de docentes – SIA –
Estácio, para a disciplina de Inteligência Computacional

1