

# Inteligência Artificial

## Representação de conhecimento

### Regras de produção

### Lógica

Prof. Paulo Martins Engel

## Representação do conhecimento

- As técnicas de *IA fraca para resolução de problemas* se concentram na “*representação de problemas*”.
- As técnicas de *IA forte para resolução de problemas* se concentram na “*representação de conhecimento*”.
- A abordagem dos *Sistemas Baseados em Conhecimento* supõe que, se for dado o *conhecimento de domínio* apropriado e *mecanismos para realizar raciocínio* sobre este conhecimento, então um SBC é capaz de igualar ou mesmo superar o desempenho de especialistas humanos em tarefas restritas.
- Nas décadas de 70 e 80, vários *sistemas especialistas* obtiveram sucesso:
- DENDRAL: infere a estrutura das moléculas orgânicas a partir de suas fórmulas químicas e de informações de espectrografia de massa das ligações químicas, usando conhecimento heurístico de especialistas em química.
- MYCIN: utiliza conhecimento de especialistas médicos para diagnosticar e prescrever tratamento para meningite espinhal e infecções bacterianas do sangue. Tratava raciocínio com informações incertas ou incompletas.

2

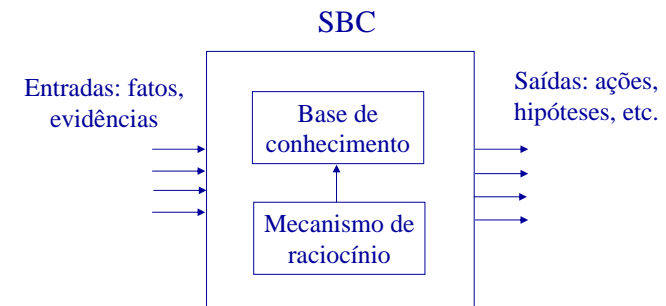
## Representação do conhecimento

- Para a solução de problemas complexos encontrados na IA é preciso uma grande quantidade de *conhecimento* e alguns mecanismos para a manipulação deste conhecimento, a fim de criar *soluções para novos problemas*.
- O tipo de conhecimento útil para a solução de problemas é aquele que está associado às *descrições*, *heurísticas* e *procedimentos* que um especialista no domínio utiliza para a solução de problemas.
- Este *conhecimento do domínio*, se bem representado computacionalmente, pode ser manipulado adequadamente, contrastando com o *conhecimento profundo*, que normalmente está baseado numa descrição teórica de difícil trato computacional.
- Como exemplo, a descrição funcional de uma porta lógica através de uma tabela verdade equivaleria ao conhecimento do domínio, enquanto que a descrição do comportamento dos seus valores contínuos desde as suas entradas até as saídas através das equações de corrente representaria o conhecimento teórico do funcionamento deste componente.

3

## Sistemas baseados em conhecimento

- A maioria dos sistemas de IA baseados em conhecimento (SBC) se compõe de uma base de conhecimento (BC) e uma lógica de controle, responsável pelo mecanismo de raciocínio.
- A separação do conhecimento do domínio do mecanismo de manipulá-lo permite que sejam implementadas diferentes tarefas com o mesmo conhecimento.



4

## Formas de representação do conhecimento

- Usualmente, um SBC utiliza as seguintes formas de representação do conhecimento:
  - Regras de produção
  - Lógica
  - Redes semânticas
  - Frames
  - Procedimentos
- Além dessas formas de representação explícita do conhecimento, um sistema inteligente pode se valer de outras formas de representar e manipular conhecimento, como:
  - Redes neurais artificiais
  - Raciocínio baseado em casos

5

## Categorias de problemas para SBC

- *Interpretação*: formar conclusões de alto nível de coleções de dados brutos.
- *Predição*: projetar conseqüências prováveis de situações disponíveis.
- *Diagnóstico*: determinar a causa de mau funcionamento em situações complexas com base em sintomas observáveis.
- *Projeto*: encontrar uma configuração de componentes do sistema que alcance os objetivos de desempenho, satisfazendo restrições de projeto.
- *Planejamento*: estabelecer uma seqüência de ações que alcançarão um conjunto de objetivos, dadas certas condições iniciais e restrições de tempo de execução.
- *Monitoramento*: comparar o comportamento observado de um sistema com o seu comportamento esperado.
- *Instrução*: dar assistência ao processo de educação em domínios técnicos.
- *Controle*: governar o comportamento de um ambiente complexo.

6

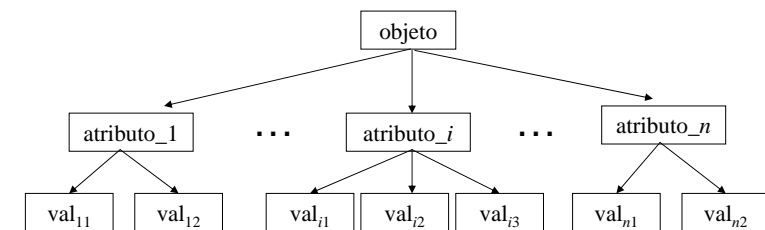
## Representação do Domínio

- O processo de *engenharia de conhecimento* se preocupa em representar o domínio através dos seus conceitos gerais: *objetos*, *ações*, *crenças*, *tempo*, formando uma *ontologia do domínio*.
- A organização de objetos em *categorias* é muito importante, porque grande parte do raciocínio ocorre no nível de categorias.
- Por exemplo, um consumidor talvez esteja interessado em comprar uma bola de futebol e não uma *determinada* bola de futebol, como a BF9.
- As categorias permitem fazer *previsões* sobre objetos, p. ex: se um determinado objeto é identificado como uma fruta, então ele é comestível.
- A *Lógica de Primeira Ordem* (LPO) é uma ferramenta adequada para formalizar conhecimento de domínio, entretanto, com ela é difícil tratar exceções.
- A representação de conhecimento por *regras de produção* (RP) é mais modular e flexível, mas tem pouca estrutura.
- Qualquer forma de representação do domínio traz vantagens e desvantagens.

7

## Representando o Domínio

- Representação do domínio por trincas do tipo: (objeto, atributo, valor).



8

## Representação por LPO

- Há duas opções para representar categorias em LPO: predicados e objetos.
- Predicado: *BolaDeFutebol(b)*, testa diretamente objetos.
- Exemplo: *BolaDeFutebol(BF9)* tem valor *V*.
- Objeto (materialização da categoria como conjunto): *BolasDeFutebol*
- A relação de um objeto físico com a categoria reificada se dá através de predicados especiais, *Elemento(b, BolasDeFutebol) ⇔ b ∈ BolasDeFutebol*
- No exemplo: *Elemento(BF9, BolasDeFutebol)* tem valor *V*.
- A especialização de uma categoria se dá pela relação *Subconjunto*: *Subconjunto(BolasDeFutebol, Bolas)*.
- As *propriedades* de um objeto são declaradas através de *predicados*:
- Tem(x, Asas), dependentes(3)*
- Ou através de funções: *renda\_min(x) ≡ (4000\*x)*, *x* é número de dependentes.
- Relações entre predicados podem ser feitas como implicações: Ex. cláusulas de Horn: Se ( $\leftarrow$ )

9

## Cálculo de Predicados

- Dado um conjunto de declarações na forma de predicados pode-se raciocinar utilizando uma estrutura dedutiva baseada no método de Resolução de Cláusulas de Horn (HCR).
- PROLOG utiliza o método HCR, utilizando uma busca em profundidade, buscando um objetivo, reduzindo-o em subobjetivos até restar um subobjetivo vazio.

10

## Exemplo de Cálculo de Predicados

- Declarações como Cláusulas de Horn (Se:  $\leftarrow$ ):
  - $\text{animal}(x) \leftarrow \text{mamífero}(x)$ : “*x* é animal se for mamífero”
  - $\text{mamífero}(x) \leftarrow \text{elefante}(x)$ : “*x* é mamífero se for elefante”
  - $\text{elefante}(\text{Dumbo}) \leftarrow$ : “Dumbo é elefante”
  - $\text{animal}(x) \leftarrow \text{golfinho}(x)$ : “*x* é animal se for golfinho”
  - $\text{golfinho}(\text{Flipper}) \leftarrow$ : “Flipper é golfinho”
- Pergunta como Cláusula de Horn:
  - $\leftarrow \text{animal}(x)$ : “Existe algum animal?”
- Resposta pelo raciocínio do PROLOG:
 

*x* = Dumbo; “Sim, Dumbo”

*x* = Flipper: “Sim, Flipper”

11

## Exemplo

- Especificar a categoria de um objeto:
 

“Pardal é uma **ave**”

Predicado unário: **ave**(Pardal)

Predicado binário: *é\_um*(Pardal, ave) (1)
- Especificar uma propriedade de um objeto:
 

“A *cor* do pardal é *parda*”

*cor*(Pardal, *parda*) (2)
- Especificar partes componentes de um objeto:
 

“O pardal *tem* *asas*”

*tem*(pardal, *asas*) (3)

12

- Especificar propriedades de uma categoria:

“Toda ave *tem* asas”

$$\forall x, \text{ é\_um}(x, \text{ave}) \rightarrow \text{tem}(x, \text{asas}) \quad (4)$$

Obs.: a partir de (1) e (4) pode-se deduzir logicamente (3)

$$\text{é\_um}(\text{Pardal}, \text{ave}) \quad (1)$$

$$\text{tem}(\text{pardal}, \text{asas}) \quad (3)$$

- Especificar relacionamentos:

“João é pai de Ana”

*pai*(João, Ana)

“Qualquer pessoa tem um pai”

$$\forall x, \exists y, \text{ pai}(y, x)$$

## Regras de produção

- Uma regra de produção (RP) é um par *condição-ação*.
- Um sistema baseado em RP possui três partes:
  - Base de regras: conjuntos de regras de produção
  - Contexto: estrutura de dados similar a um buffer (*memória de trabalho*)
  - Interpretador: controla a atividade do sistema
- RP: Se esta condição se aplica, *então* esta ação é apropriada.
- Durante a execução do sistema de produção, uma RP cuja parte condicional é satisfeita pode *disparar*, ou seja, pode ter a sua parte de ação executada pelo interpretador.
- Contexto: são os fatos que podem disparar as regras. As RP podem mudar o contexto de maneira que outras regras tenham sua parte condicional satisfeita.
- Interpretador: é um programa cuja tarefa é decidir qual RP deve ser disparada.

## Sistema de produção

- O *sistema de produção* é um modelo de computação que tem se mostrado importante em IA, tanto para implementar algoritmos de busca, como para modelar a solução humana de problemas.
- Um SP fornece *controle guiado por padrão* para um processo de solução de problemas.
- Elementos: *regras de produção*, *memória de trabalho* e ciclo de controle do tipo *reconhece-atua*.
- Uma *regra de produção* (RP) é um par *condição-ação* que define uma porção de conhecimento para solução de um problema.
- A *condição* da regra é um *padrão* que determina quando a regra pode ser aplicada para um caso do problema.
- A *ação* define o *passo* da solução do problema associado.

## A memória de trabalho

- A *memória de trabalho* contém uma descrição do *estado atual* do mundo num processo de raciocínio.
- Esta descrição é um *padrão* que pode ser casado com a condição de uma RP.
- Quando a condição de uma regra casa com o conteúdo da memória de trabalho, a ação associada a esta condição pode ser realizada.
- As ações de regras de produção são projetadas para alterar o conteúdo da memória de trabalho.

## O ciclo reconhece-atua

- A *memória de trabalho* é inicializada com a descrição inicial do problema.
- O estado atual da solução do problema é mantido como um conjunto de padrões na memória de trabalho.
- Estes padrões são comparados com as condições das RP produzindo um subconjunto de RP: o *conjunto de conflito*.
- Uma dessas RP é selecionada (*resolução do conflito*) e disparada.
- Para disparar uma regra, realiza-se a sua ação, modificando o conteúdo da memória de trabalho (MT).
- Após o disparo da RP, o ciclo de controle se repete usando a memória de trabalho modificada.
- O processo termina quando o conteúdo da MT não casar com nenhuma condição de regra.

17

## Exemplo de Sistema de Produção

- Considere um SP para ordenar uma seqüência de caracteres composta pelas letras **a**, **b** e **c**.
- Uma regra é habilitada se a sua condição casar com uma porção da seqüência que se encontra na memória de trabalho.
- Quando uma regra é disparada, a subsequência que casou com a condição da regra é substituída pela seqüência do conseqüente da regra.
- Conjunto de produção:
  - 1 ba → ab
  - 2 ca → ac
  - 3 cb → bc

18

## Exemplo de Sistema de Produção

- Conjunto de produção:
  - 1 ba → ab
  - 2 ca → ac
  - 3 cb → bc

- Resolução de conflito:
  - Dispara a regra de número mais baixo

Iteração	Memória de Trabalho	Conjunto de conflito	Regra disparada
0	cbaca	1, 2, 3	1
1	cabca	2	2
2	acbca	2, 3	2
3	acbac	1, 3	1
4	acabc	2	2
5	aacbc	3	3
6	aabcc	∅	Parar

19

## Representação de informação factual

- Uma forma comum de representar informação factual é através da trinca (objeto, atributo, valor):
- Exemplo da área médica:
  - (cultura, local, sangue)
  - (organismo, coloração, gram-negativo)
  - (organismo, forma, bastonete)
  - (paciente, risco, alto)
  - (organismo, identidade, pseudomonas aeruginosa)
- Regra:
 

Se	o local da cultura é o sangue	E
	a coloração do organismo é gram-negativo	E
	a forma do organismo é bastonete	E
	o paciente é de alto risco	
Então	é plausível (0,6) que o organismo seja o pseudomonas aeruginosa	

20

## Vantagens e desvantagens do uso de RP

### Vantagens:

- Modularidade: resultante da representação do conhecimento sob a forma de regras independentes, o que facilita a inclusão e modificação de elementos do conhecimento.
- Uniformidade da representação, que facilita a compreensão do conhecimento armazenado.
- Naturalidade como as regras condição-ação podem ser utilizadas pelo perito para expressar o conhecimento.

### Desvantagens:

- Ineficiência de execução em função da modularidade.
- Dificuldade de seguir o fluxo de controle do sistema.
- Dificuldade de verificar a coerência entre as regras.
- Pouca estruturação (hierarquia).

21

## Domínios apropriados para regras

- Em que o conhecimento é difuso, consistindo de muitos fatos (ex. medicina clínica), em oposição a domínios em que há uma teoria unificada e concisa (ex. física).
- Em que os processos podem ser representados como um conjunto de ações independentes (ex. sistema médico de monitoração de pacientes) em oposição a domínios com sub-processos dependentes.
- Em que se pode separar facilmente o conhecimento da forma de utilização (ex. uma taxonomia de classificação, como usada em biologia), em oposição a casos em que a representação e o controle são misturados (ex. receitas).

22

```
Se prescrição de óculos = hipermetropia
  e astigmatismo = não
  e taxa de produção de lágrima = normal então recomendação = gelatinosa
Se idade = jovem e astigmatismo = não
  e taxa de produção de lágrima = normal então recomendação = gelatinosa
Se idade = pré-presbiopsia
  e astigmatismo = não
  e taxa de produção de lágrima = normal então recomendação = gelatinosa
Se prescrição de óculos = miopia
  e astigmatismo = sim
  e taxa de produção de lágrima = normal então recomendação = dura
Se idade = jovem
  e astigmatismo = sim
  e taxa de produção de lágrima = normal então recomendação = dura
Se taxa de produção de lágrima = reduzida então recomendação = nenhuma
Se idade = pré-presbiopsia
  e prescrição de óculos = hipermetropia
  e astigmatismo = sim então recomendação = nenhuma
Se idade = presbiopsia
  e prescrição de óculos = hipermetropia
  e astigmatismo = sim então recomendação = nenhuma
Se idade = presbiopsia
  e prescrição de óculos = miopia e astigmatismo = não
  e taxa de produção de lágrima = normal então recomendação = nenhuma
```

23

## Diagnóstico de problemas automotivos

- R1: SE faróis ligam ENTÃO bateria OK
- R2: SE bateria OK E motor não vira ENTÃO o problema é o motor partida
- R3: SE o motor vira E tem faísca nas velas ENTÃO o sistema ruim é a alimentação.
- R4: SE o sistema ruim é a alimentação E chega combustível no carburador ENTÃO o problema é carburador entupido
- R5: SE o sistema ruim é a alimentação E não chega combustível no carburador E tem combustível no tanque ENTÃO o problema é a bomba de gasolina
- R6: SE motor vira E não tem faísca nas velas ENTÃO o sistema ruim é o sistema elétrico
- R7: SE sistema ruim é o sistema elétrico E distribuidor OK ENTÃO o problema é de vela
- R8: SE os faróis não ligam ENTÃO o problema é bateria avariada
- R9: SE não tem combustível no tanque ENTÃO o problema é falta combustível

24