



# IA 718 Tópicos em Sistemas Inteligentes

## 1-Introdução

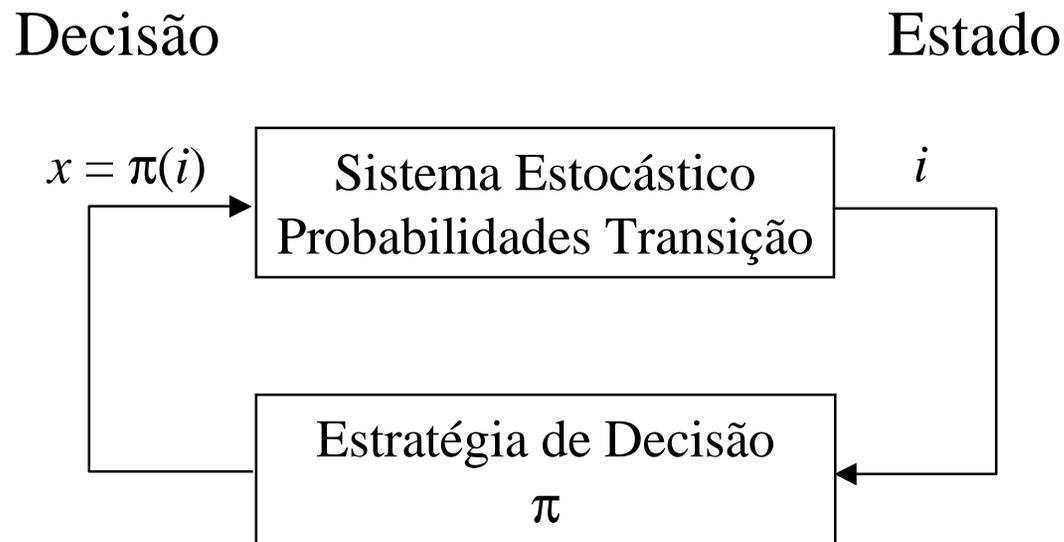
# Conteúdo

1. O problema e o contexto
2. Aproximação do custo futuro
3. Arquiteturas de aproximação
4. Simulação e treinamento
5. Programação dinâmica aproximada

# 1-O problema e o contexto

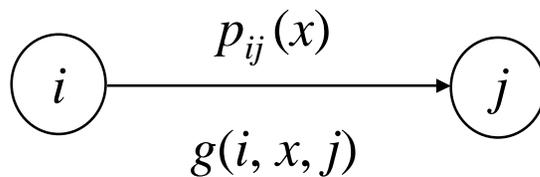
- Decisões em múltiplos estágios
  - resultado de cada decisão não é totalmente previsível
  - pode, até certo ponto, ser antecipado antes da próxima decisão
  - decisão tem um custo imediato e afeta contexto decisões futuras
- Objetivo
  - como obter estratégia de decisão
  - minimização custo total em um número de estágios
  - compromisso entre custo imediato e futuro

# Modelo de decisão sistemas dinâmicos



- Sistema dinâmico discreto (múltiplos estágios)
- Estratégia de decisão: regra escolha da decisão

- Transição de estado



$$p_{ij}(x) = \text{P}(S_{t+1} = j / S_t = i, x_t = x)$$

- Decisão em cada estágio  $t$  depende

- custo imediato  $g(i, x, j)$
- otimalidade próximo estado

- Otimalidade próximo estado

- custo ótimo para todos estágios restantes a partir estado  $j$
- $J^*(j)$  custo futuro (*cost-to-go*) ótimo do estado  $j$

- Equação de Bellman

$$J^*(i) = \min_x E[g(i,x,j) + J^*(j) | i, x] \quad \forall i \quad (1)$$

- E = esperança matemática de  $j$  dado  $i$  e  $x$
- Decisão ótima  $x^*$  em cada  $i$  minimiza (1)
- Objetivo da PD: determinar numericamente  $J^*$ 
  - *off-line*
  - $x^*$  para cada  $i$  computada simultaneamente com  $J^*$
  - tempo real minimizando (1)

■ *Bellman's curse of dimensionality*

- crescimento exponencial com a dimensão
  - espaço de estado
  - variáveis aleatórias
  - espaço de decisões

■ *Curse of modeling*

- modelo explícito do sistema não é necessário
- simulação
- aproximação paramétrica

- Idéia da programação dinâmica aproximada (PDA)
  - atenuar crescimento exponencial da dimensão
  - tratar da complexidade de modelagem
  - aproximar custo futuro  $J^*$
  - obter solução sub-ótima

## 2-Aproximação do custo futuro



$$\tilde{J}(i, r) = \min_x E[g(i, x, j) + \tilde{J}(j, r) | i, x] \quad \forall i \quad \text{custo futuro aproximado de } j$$

$$\tilde{x}(i) = \arg \min_x E[g(i, x, j) + \tilde{J}(j, r) | i, x] \quad \forall i \quad \text{decisão (sub-ótima) em } i$$

- Aproximação do custo futuro requer

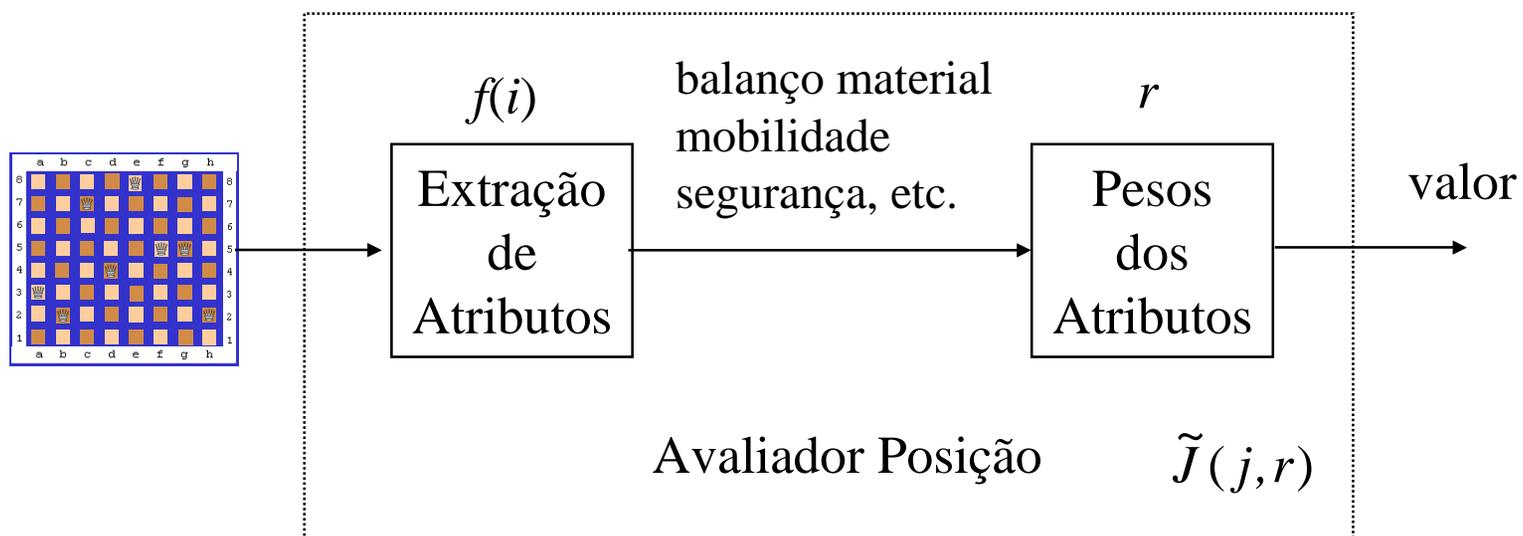
- estrutura da função
- vetor de parâmetros  $r$

$$r = \arg \min f_{erro}(J^*(.) - J(., r))$$

- Característica da aproximação

- representação compacta (função, parâmetros)
- vetor de parâmetros  $r$  de pequena dimensão
- simples

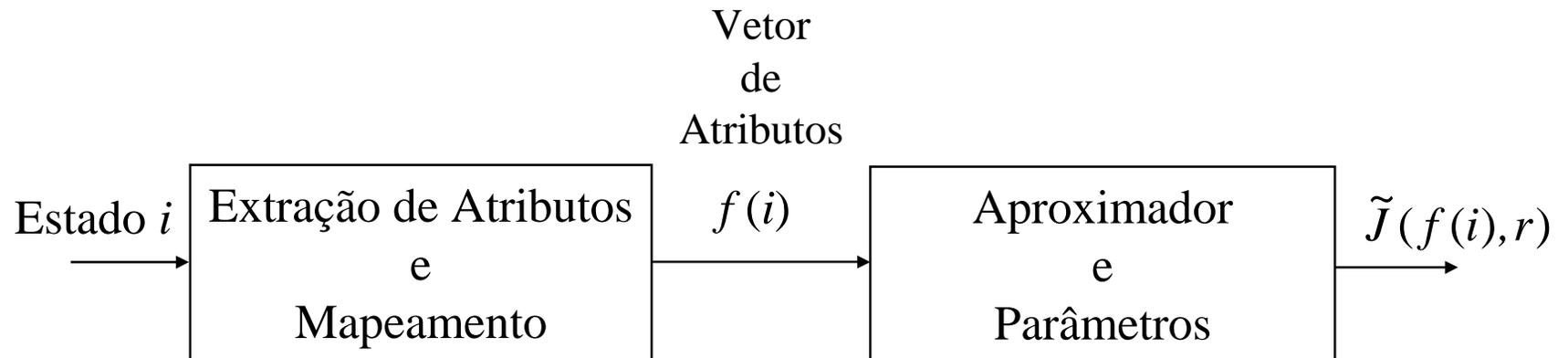
# Exemplo aproximação do custo futuro



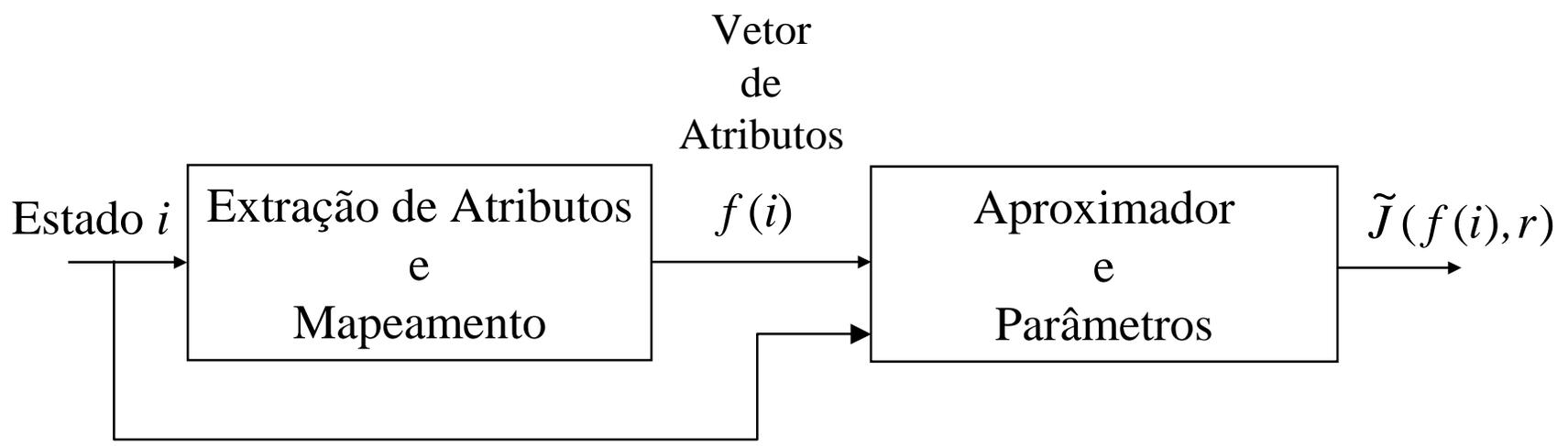
# 3-Arquiteturas de aproximação

- Escolha da classe parametrizada de funções
- Aproximadores de funções
  - redes neurais
  - wavelets
  - splines, etc.
- Importância da extração de atributos
  - aumenta eficiência aproximação
  - sumariza característica importantes
  - captura de não linearidades dominantes

# Extração de atributos em aproximação



# Extração de atributos em aproximação



## 4-Simulação e treinamento

- Dados treinamento  $(i, J^*(i))$  não disponíveis
- Necessário avaliar exatamente ou aproximadamente custo futuro
- Melhorar estratégias utilizando resultados de simulação
- Importância da simulação
  - sistemas difíceis de modelar, fáceis de simular
  - identificação estados mais relevantes
    - estados visitados com maior frequência

# 5-Programação dinâmica aproximada (PDA)

- Observar o próprio comportamento
  - simulação
- Melhorar decisão através de mecanismos de reforço
  - melhorar qualidade aproximação iterativamente
- Gamão de Tesauro (1992)

- PDA em aplicações práticas
  - computacionalmente extensiva
  - tentativa e erro
  - heurística, conhecimento
  - aproximação computada *off-line*
  - aproximação para gerar decisões em tempo real
  
- $PDA = PD + \text{aproximação funcional} + \text{simulação}$

## Observação

Este material refere-se às notas de aula do curso IA 718 Tópicos em Sistemas Inteligentes da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp. Não substitui o livro texto, as referências recomendadas e nem as aulas expositivas. Este material não pode ser reproduzido sem autorização prévia dos autores. Quando autorizado, seu uso é exclusivo para atividades de ensino e pesquisa em instituições sem fins lucrativos.