

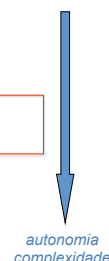
PCS 5869 Inteligência Artificial

Prof. Dr. Jaime Simão Sichman
Prof. Dra. Anna Helena Reali Costa

Representação de Problemas
Espaço de Estados

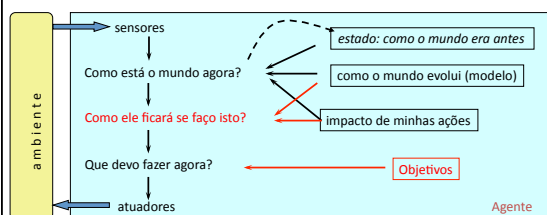
Arquiteturas

- Agente tabela
- Agente reativo
- Agente baseado em modelo
- Agente baseado em objetivos
- Agente baseado em utilidade
- Agente aprendiz



2

Agente baseado em objetivo



- Vantagens e desvantagens:
 - Mais complicado e ineficiente, porém mais flexível, autônomo
 - Não trata objetivos conflitantes
- Ambientes: determinístico

3

Agente solucionador de problemas (guiado por objetivo – deliberativo)

- Busca uma *seqüência de ações* que o leve a estados desejáveis (*objetivos*).
- Propriedades do ambiente para este agente:
 - **Estático** (não muda enquanto o agente delibera)
 - **Discreto** (enumera seqüências alternativas de ações)
 - **Determinístico** (solução é seqüência de ações, i.e., não lida com eventos inesperados pois executa a seqüência definida sem considerar percepções → sistema de controle em malha aberta)
 - **Observável** (e sabe seu estado inicial)
 - Algumas flexibilizações serão feitas em relação às propriedades de determinismo e observabilidade.

4

Agentes solucionadores de problemas

- O que é um problema em I.A.?
- Como formulá-lo?
- Como buscar a solução do problema?
- Como avaliar a solução e o processo de encontrá-la?

5

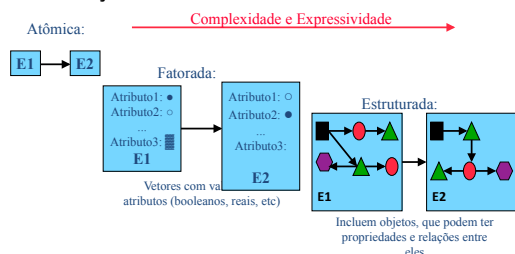
Definição de Problema Quatro componentes:

- **Estado inicial** do problema (onde o agente inicia)
- Descrição das possíveis **ações** do agente:
 - Pela **função sucessor**: dado um estado x , $suc(x)$ retorna um conjunto de pares ordenados (a, y) , onde a indica cada ação válida em x e y é o estado sucessor.
 - Pelo conjunto de **operadores** que podem ser aplicados em um estado para gerar os sucessores.
- Um **teste de término**:
 - Pode ser um conjunto de estados-objetivos ou
 - Propriedade mais abstrata (ex. cheque-mate em xadrez)
- Uma **função de custo** da solução
 - avalia numericamente cada solução (medida de desempenho)

6

Representação de Estados

Descrição: Atômica → Fatorada → Estruturada



7

Definição de Solução

- O estado inicial e a função sucessor implicitamente definem o **espaço de estados** do problema
- O espaço de estados é descrito por um grafo onde os vértices representam estados e as arestas, ações.
- Um **caminho** no espaço de estados é uma sequência de estados conectada por uma sequência de ações.
- Uma **solução** para um problema é um caminho do estado inicial para um estado meta (objetivo).
- A **qualidade** da solução é medida pela função de custo da solução.

8

Exemplo 1: Agente Aspirador de Pó

Qual seria a noção de estado conveniente?

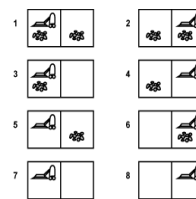
R: Localização do aspirador, grau de limpeza do quarto

Quantos seriam os possíveis estados ?

R: Possíveis estados: 8

9

Exemplo 1: Agente Aspirador de Pó

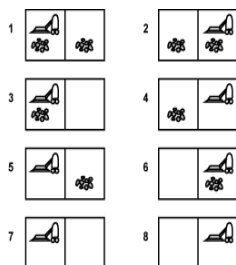


- Formulação do problema:
 - Estado inicial: qualquer um dos 8 estados acima
 - Operadores: mover direita (R), mover esquerda (L), aspirar (S)
 - Função sucessor: $\text{suc}(1) = \{(R, 2), (L, 1), (S, 5)\}, \dots$
 - Teste de término: os dois quartos limpos (estados 7 e 8)
 - Custo do caminho: quantidade de ações realizadas (custo 1 para cada ação)

10

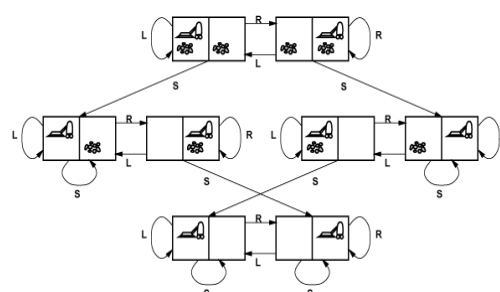
Exercício 1:

- Considerando os oito estados possíveis (ao lado), representar o espaço de estados como um grafo, com os estados como vértices e as ações como arestas.
- Ações: R, L e S



11

Espaço de estados do agente aspirador

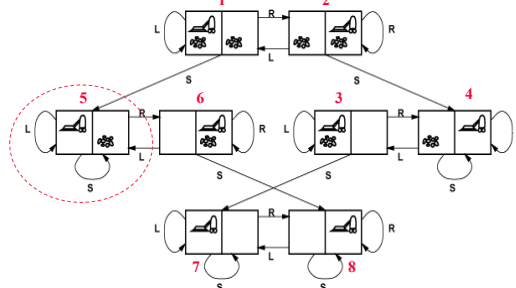


Exercício 2

- Considere que o agente inicie no estado 5.
- Utilizando o espaço de estados do problema, encontre pelo menos três soluções para o problema.

13

Problema: se agente em 5?



Solução 1: LLSRRS → CUSTO=6

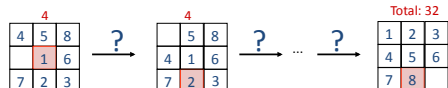
Solução 2: SRRS → CUSTO=4

Solução 3: RS → CUSTO=2

Exemplo 2: Jogo dos 8 números

Qual seria a noção de estado conveniente?

R: Posição das peças e do branco no tabuleiro

Quais seriam os operadores? **Mover as peças!**

15

Exemplo 2: Jogo dos 8 números

Qual seria a noção de estado conveniente?

R: Posição das peças e do branco no tabuleiro

Quais seriam os operadores? **Mover o branco!**

16

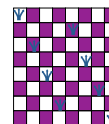
Exemplo 2: Jogo dos 8 Números

- Estado inicial:
 - cada estado especifica a posição de cada uma das 8 peças e do branco no tabuleiro de 9 posições
 - O estado inicial pode ser qualquer estado
- Função sucessor:
 - Gera os estados possíveis que resultam ao aplicar cada uma de 4 ações: branco para esquerda (L), para a direita (R), para cima (U), para baixo (D)
- Teste de término
 - Números ordenados, branco em [3,3].
- Custo do caminho
 - quantidade de ações realizadas (custo 1 para cada ação)

17

Exemplo: Jogo das 8 Rainhas

- Jogo das 8 Rainhas
 - Estado: cada estado especifica a posição de cada uma das posições do tabuleiro
 - Teste de término: dispor 8 rainhas de forma que não possam se "atacar"
 - Custo da solução: ignorado

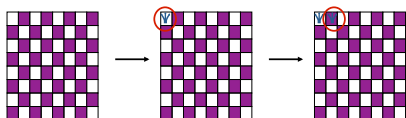


Existem pelo menos 2 maneiras de formular este problema:

• **Formulação incremental:** envolve operadores que adicionam uma rainha a mais no tabuleiro• **Formulação por estado completo:** envolve operadores que alteram a linha de uma rainha no tabuleiro, mantendo a sua coluna

Importância da Formulação

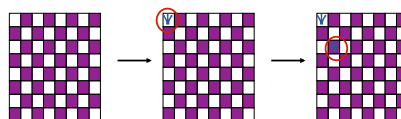
- Formulação incremental (1)
 - Estado:** qualquer disposição de 0 a 8 rainhas no tabuleiro
 - Estado inicial:** tabuleiro sem rainhas;
 - Operador:** adicionar uma rainha a qualquer casa vazia
 - Teste de término:** 8 rainhas sem ataque mútuo



O espaço de estados tem $64 \times 63 \times \dots \times 57 = 3 \times 10^{14}$ estados!!

Importância da Formulação

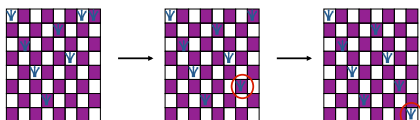
- Formulação incremental (2)
 - Estado:** qualquer disposição de 0 a 8 rainhas no tabuleiro, dispostas da esquerda para a direita que não se ataquem
 - Estado inicial:** tabuleiro sem rainhas;
 - Operador:** adicionar uma rainha em qualquer casa na coluna vazia mais à esquerda de forma que não possa ser atacada (teste gradual)
 - Teste de término:** 8 rainhas sem ataque mútuo



O espaço de estados tem 2057 estados!!

Importância da Formulação

- Formulação por **estado completo**:
 - Estado:** qualquer disposição 8 rainhas no tabuleiro, sendo uma em cada coluna
 - Estado inicial:** qualquer estado
 - Operador:** alterar a posição de uma rainha atacada para outra linha, na mesma coluna (cada estado tem $8 \times 7 = 56$ sucessores)
 - Teste de término:** 8 rainhas sem ataque mútuo

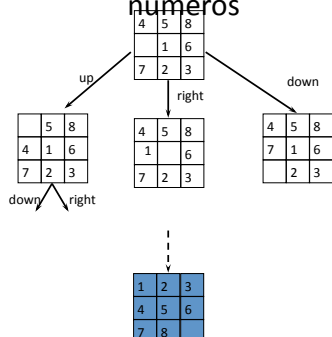


Como encontrar a solução?

- Uma vez o problema bem formulado, o estado meta deve ser **buscado** no espaço de estados
- A busca é representada em uma **árvore de busca**:
 1. Raiz: corresponde ao estado inicial
 2. Expande-se o estado corrente: aplica-se a função sucessor ao estado corrente, gerando um novo conjunto de sucessores
 3. Escolhe-se o próximo estado a expandir seguindo uma **estratégia de busca**
 4. Prossegue-se até sucesso (atingir estado meta – retorna solução) ou falha
- Espaço de estados \neq árvore de busca
 - TSP com 20 cidades: espaço de estados = 20 estados (=cidades), árvore de busca com infinitos vértices (na prática, a busca evita repetir estados).

22

Árvore de busca para o “jogo dos 8 números”



23

Medida de Desempenho na Busca (1)

- Desempenho de um algoritmo de busca:
 - **Completo:** se existir uma solução, ela certamente é encontrada?
 - **Ótimo:** a busca encontra a solução de menor custo?
 - **Complexidade temporal:** quanto tempo demora para encontrar a solução?
 - **Complexidade espacial:** quanto de memória é usado para realizar a busca?
- Em IA a árvore de busca é tipicamente infinita
 - complexidade é expressa por:
 - **b** – fator de ramificação (*branching*) ou número máximo de sucessores de um nó;
 - **d** – profundidade (*depth*) do nó-meta mais próximo da raiz;
 - **m** – comprimento máximo de um caminho no espaço de estados.

24

Medida de Desempenho na Busca (2)

- Custo total = custo da solução + custo da busca
 - custo da solução (ex. TSP: caminho a percorrer, em km)
 - custo da busca (tipicamente depende da complexidade em tempo)
- Problema: relacionar custo da solução (km) com o da busca (seg)
- Espaço de estados grande:
 - compromisso (conflito) entre a melhor solução (menor custo da solução) e a solução mais barata (menor custo da busca)

25

Métodos de Busca

- Busca cega (busca não informada)
 - Não tem informação sobre qual sucessor é mais promissor para atingir a meta.
 - Estratégias de Busca (ordem de expansão dos nós):
 - busca em largura
 - busca de custo uniforme
 - busca em profundidade
 - busca em profundidade limitada
 - busca em profundidade com aprofundamento iterativo
 - busca bidirecional
- Busca heurística (busca informada)
 - Possui informação (estimativa) de qual sucessor é mais promissor para atingir a meta.

26