Busca Informada

Inteligência Artificial
PCS3438

Escola Politécnica da USP
Engenharia de Computação (PCS)

Busca Informada

- Usam conhecimento específico do problema na busca da solução
- Também chamadas de **Busca Heurística**
- Mais eficientes que busca não informada

Busca Informada
(ou Busca Heurística)

- Busca pela Melhor Escolha BME

  (Best-first search)

  – Seleciona para expansão o nó que tiver o mínimo custo estimado até a meta, segundo uma função de avaliação f(n).

  – Tipicamente f(n) usa uma função heurística h(n) que estima o custo da solução a partir de n.

    - Na meta, h(n) = 0.

Greedy best-first search
Busca gulosa pela melhor escolha

- Avalia nós para expandir com base unicamente na função heurística:

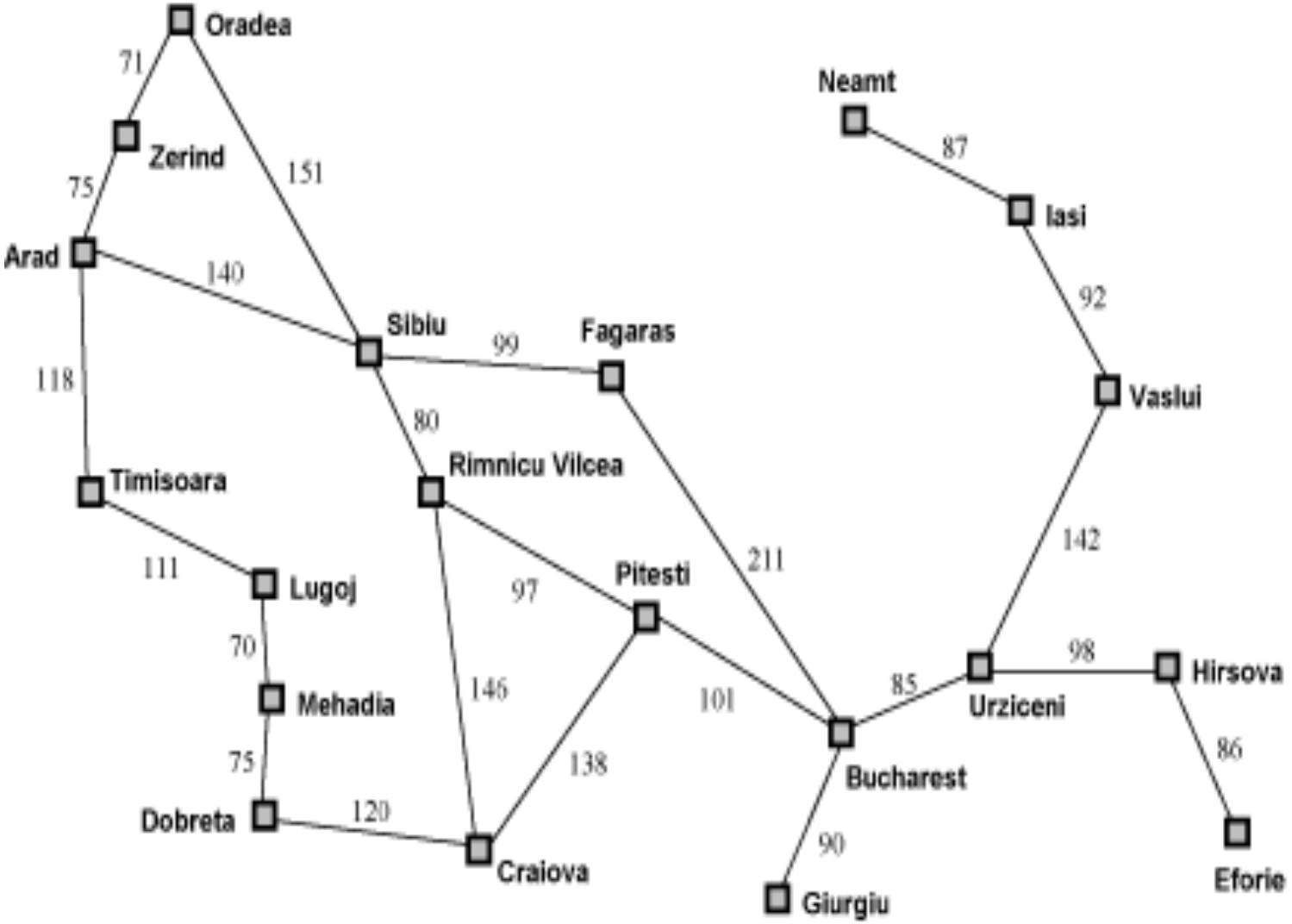
$$f(n) = h(n)$$

- Semelhante à busca em profundidade com retrocesso (*backtracking)*

Greedy best-first search
Exercício

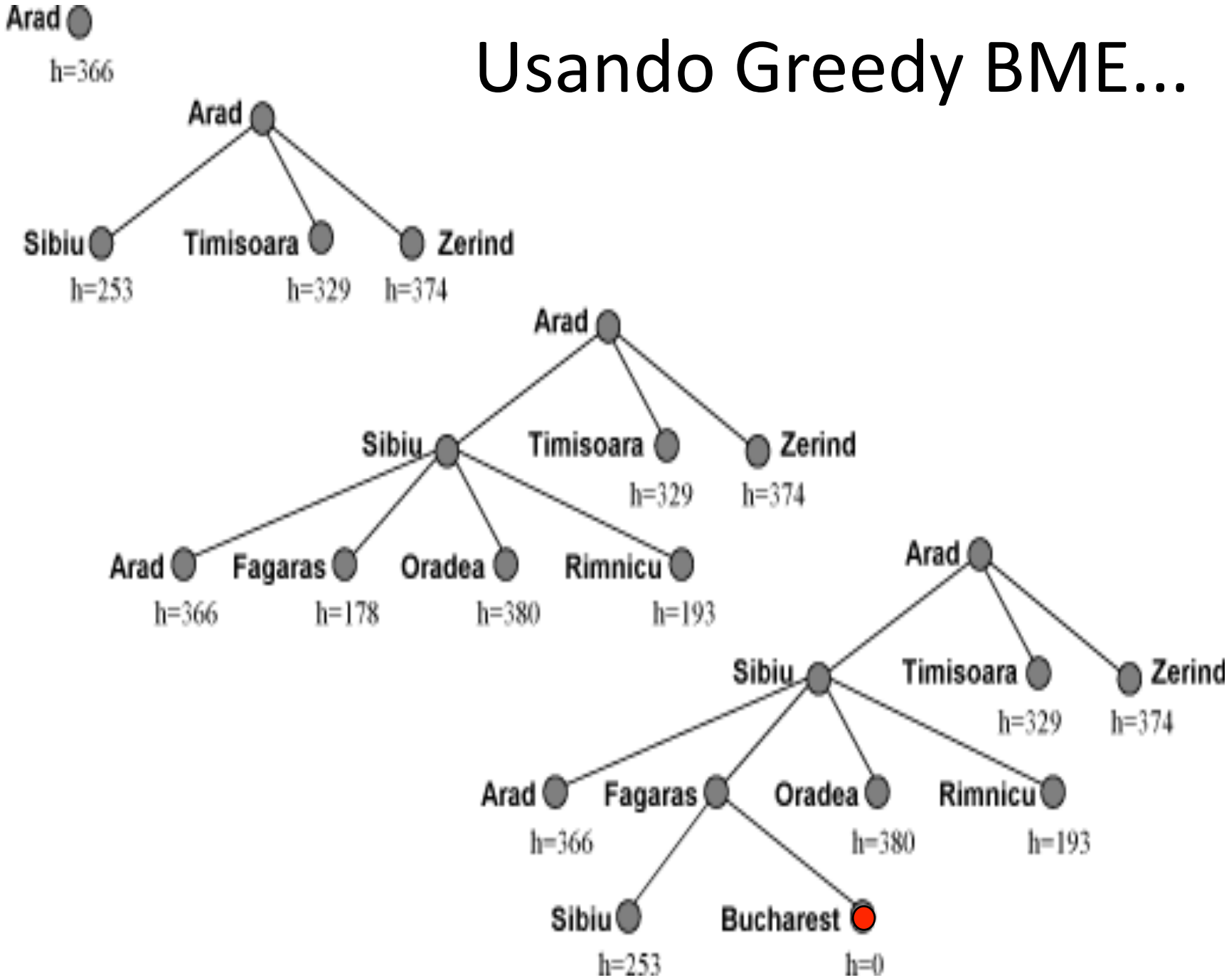
- Encontre a melhor rota (rota mais curta) de uma cidade a outra, em um mapa.
- h(n) = distância em linha reta entre as cidades e a cidade-alvo
  - Note que esta distância não faz parte da descrição do problema (ela precisa ser calculada)

Exemplo: ir de Arad a Bucharest



Straight line distance to Bucharest	
Arad	366
Bucharest	0
Craiova	160
Dobreta	242
Eforie	161
Fagaras	178
Giurgiu	77
Hirsova	151
Iasi	226
Lugoj	244
Mehadia	241
Neamt	234
Oradea	380
Pitesti	98
Rimnicu Vilcea	193
Sibiu	253
Timisoara	329
Urziceni	80
Vaslui	199
Zerind	374

Usando Greedy BME...



Desempenho da Greedy BME

- Não é completa
  - pode entrar em ciclos e não encontrar a solução se não detectar estados repetidos (idem BP)
  - pode se perder em um caminho infinito e nunca retroceder para tentar outras opções (idem BP)
- Não é ótima
  - No ex: encontrou caminho (Arad, Sibiu, Fagaras, Bucharest) que é 32km maior que (Arad, Sibiu, Rimnicu Vilcea, Pitesti, Bucharest)
- Complexidade de tempo e espaço no pior caso: O(bm)
  - m é a máxima profundidade do espaço de busca
- Dependendo do problema e da qualidade da heurística a complexidade pode ser substancialmente reduzida.

BME mais "famoso": A*

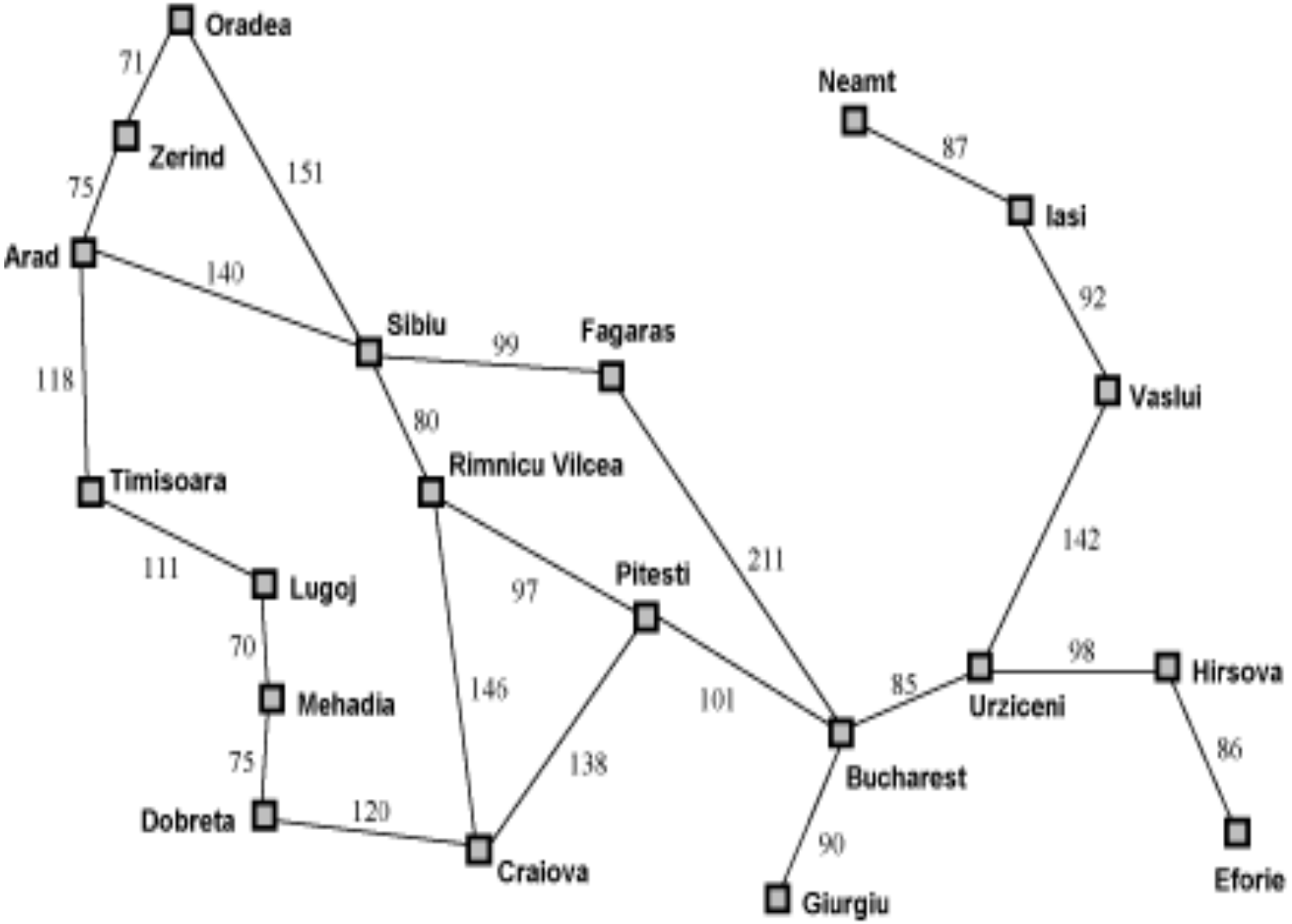
- Função de avaliação:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

  - *g(n)* = distância (custo) real do nó inicial ao nó *n*
  - *h(n)* = distância (custo) **estimada** de *n* ao nó final
  - Assim, f(n) **estima** o custo da melhor solução que passa por n.
- A* expande o nó de menor valor de *f* na fronteira do espaço de estados (idêntico à Busca de Custo Uniforme, só que usa *g+h* em vez de *g*)

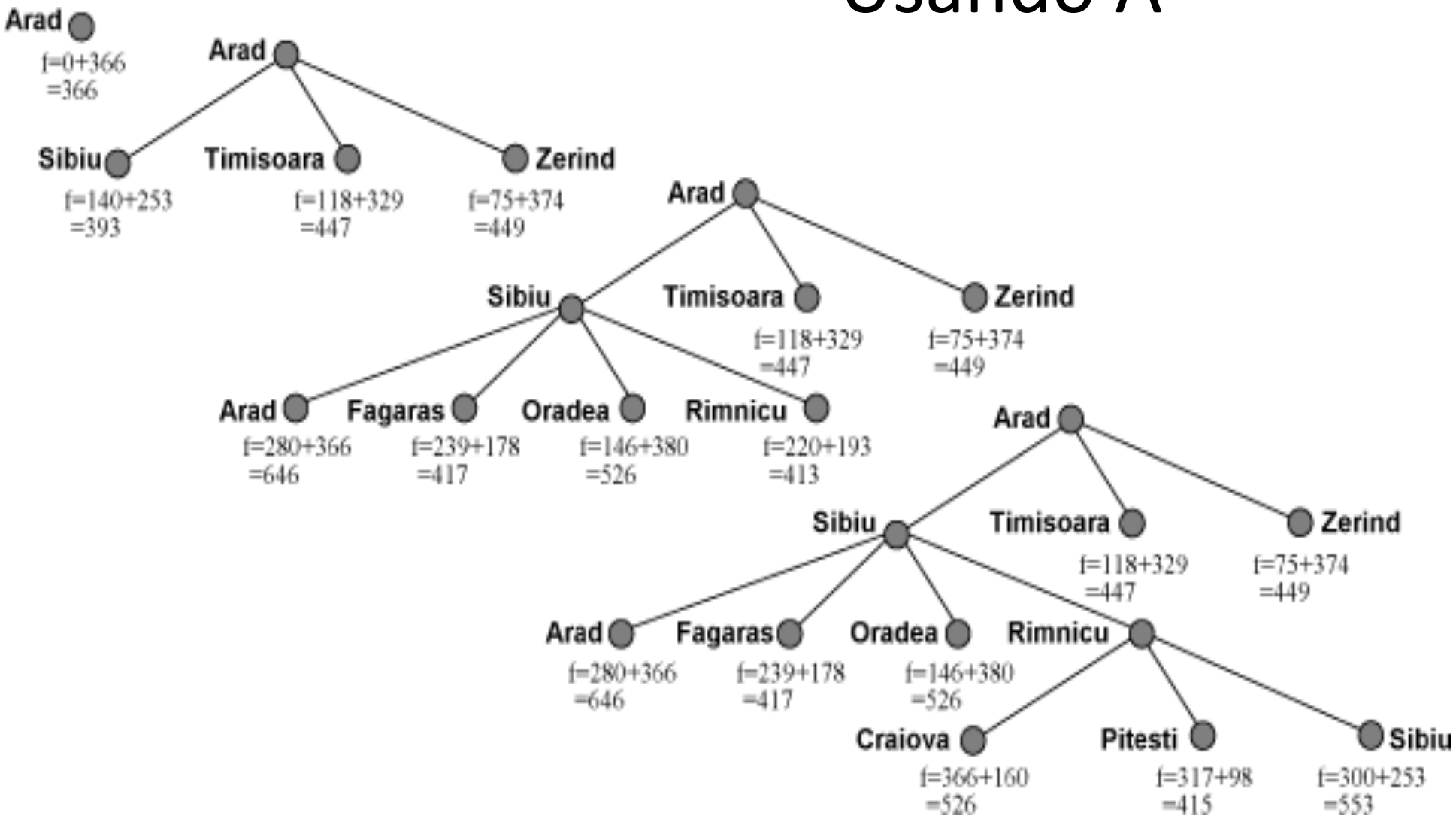
- Exercício: repetir exercício anterior com A*.

Exemplo: ir de Arad a Bucharest



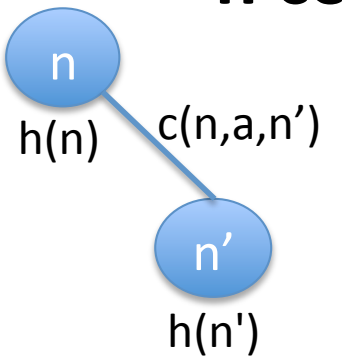
Straight line distance to Bucharest	
Arad	366
Bucharest	0
Craiova	160
Dobreta	242
Eforie	161
Fagaras	178
Giurgiu	77
Hirsova	151
Iasi	226
Lugoj	244
Mehadia	241
Neamt	234
Oradea	380
Pitesti	98
Rimnicu Vilcea	193
Sibiu	253
Timisoara	329
Urziceni	80
Vaslui	199
Zerind	374

Usando A*


Arad
f=0+366
=366
Arad
Sibiu
f=140+253
=393
Timisoara
f=118+329
=447
Zerind
f=75+374
=449
Arad
Sibiu
Timisoara
f=118+329
=447
Zerind
f=75+374
=449
Arad
f=280+366
=646
Fagaras
f=239+178
=417
Oradea
f=146+380
=526
Rimnicu
f=220+193
=413
Arad
Sibiu
Timisoara
f=118+329
=447
Zerind
f=75+374
=449
Arad
f=280+366
=646
Fagaras
f=239+178
=417
Oradea
f=146+380
=526
Rimnicu
Craiova
f=366+160
=526
Pitesti
f=317+98
=415
Sibiu
f=300+253
=553

Desempenho do A*

- A* é completo e ótimo se h(n) for admissível e consistente
  - **h admissível**: nunca superestima o custo de atingir a meta **(1)**
  - **h consistente (ou monotônica) (2)**



$$h(n) \leq c(n,a,n') + h(n'), \forall n, n'$$

$$ou\ (h(n) - h(n')) \leq c(n,a,n'),$$

  - n' é sucessor de n, gerado pela ação a; c(n,a,n') é o custo de sair de n e atingir n'.
  - Se h é consistente, os valores de f(n) através de qualquer caminho são crescentes.

Busca A* – comentários

- A* é otimamente eficiente: nenhum outro algoritmo ótimo garante expandir menos nós que A*.
- Infelizmente há, na maioria das vezes, crescimento exponencial do número de nós com o comprimento da solução (complexidade temporal).
- Mas o maior problema é a complexidade espacial: A* armazena todos os nós gerados!
- Assim, A* não é aplicável em muitos problemas de grande escala. Usam-se variantes que encontram soluções subótimas.

Busca Heurística com Memória Limitada

- IDA* (Iterative Deepening A*)
  - Similar ao aprofundamento iterativo, porém seu limite é dado pela função de avaliação (f), e não pela profundidade (d).
  - necessita de menos memória do que A*
- SMA* (Simplified Memory-Bounded A*)
  - O número de nós guardados em memória é fixado previamente

Críticas à Busca Heurística

- Solução de problemas usando técnicas de busca heurística:
  - dificuldades em definir e usar a *função de avaliação*
  - não consideram conhecimento genérico do mundo (ou *"senso comum")*
- Função de avaliação: compromisso (conflito) entre
  - tempo gasto na seleção de um nó (computar h) e
  - redução do espaço de busca
- Achar o melhor nó a ser expandido a cada passo pode ser tão difícil quanto o problema da busca em geral.

HEURÍSTICAS – COMO DEFINIR?

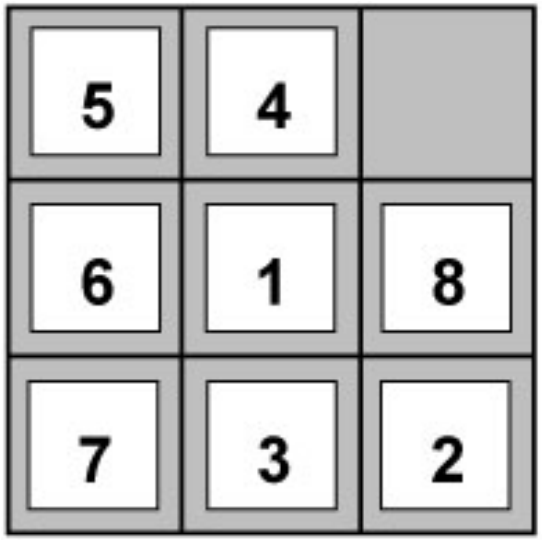
Inventando Funções Heurísticas

- Como escolher uma boa função heurística *h*?
  - *h* depende de cada problema particular.
  - *h* deve ser *admissível :* não superestimar o custo real da solução

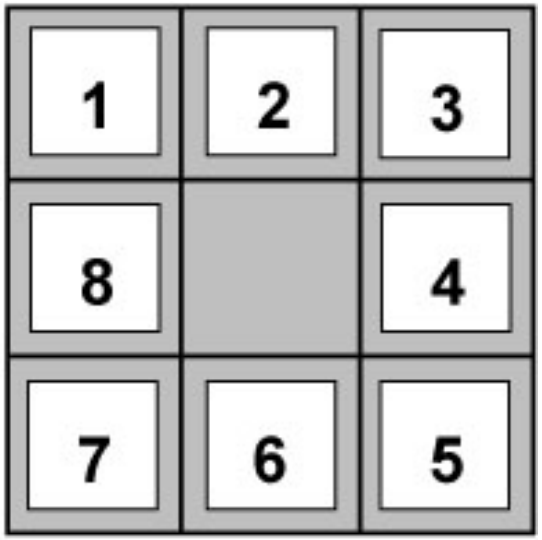
- Exemplo: jogo dos 8 números
  - um número pode mover-se de A para B se A é adjacente a B e B está vazio
  - busca exaustiva:
    - solução média em 22 passos
    - fator de ramificação médio: 3
    - Assim $\approx 3^{22}$ estados possíveis

4	5	8
	1	6
7	2	3

Heurísticas para jogo 8 números



Start State



Goal State

Algumas heurísticas possíveis:

h1 = **no. de elementos fora do lugar** (*h1*=7)

h2 = **soma das distâncias de cada número à posição final** (*h2*=2+3+3+2+4+2+0+2=18) (distância Manhattan)

Qualidade da função heurística

- Medida através do fator de expansão efetivo b*:
  - b* é o fator de expansão de uma árvore uniforme com N+1 nós e nível de profundidade d
  - $N+1 = 1 + b^* + (b^*)^2 + ... + (b^*)^d$, onde
    - N = total de nós gerados pelo A* para um problema
    - d = profundidade da solução;
  - Ex: N =52, d = 5 → b* = 1.92

Qualidade da função heurística

- Mede-se empiricamente a qualidade de h a partir do conjunto de valores experimentais de N e d.
- Uma boa função heurística terá o b* muito próximo de 1.
- Se o custo de execução da função heurística for maior do que expandir nós, então ela não deve ser usada.
  - uma boa função heurística deve ser eficiente e econômica.

Experimento
(Média de 100 soluções/dado)

	Número médio de nós expandidos (100 épocas)			Effective Branching Factor b*		
d	IDS	A*(h_1)	A*(h_2)	IDS	A*(h_1)	A*(h_2)
2	10	6	6	2.45	1.79	1.79
4	112	13	12	2.87	1.48	1.45
6	680	20	18	2.73	1.34	1.30
8	6384	39	25	2.80	1.33	1.24
10	47127	93	39	2.79	1.38	1.22
12	364404	227	73	2.78	1.42	1.24
14	3473941	539	113	2.83	1.44	1.23
16	–	1301	211	–	1.45	1.25
18	–	3056	363	–	1.46	1.26
20	–	7276	676	–	1.47	1.27
22	–	18094	1219	–	1.48	1.28
24	–	39135	1641	–	1.48	1.26

IDS: *Iterative-Deepening-Search* (BAI)

Uma boa função heurística terá o *b** muito próximo de 1.

Qual é melhor, h_1 ou h_2?

Escolhendo Funções Heurísticas

- É sempre melhor usar uma função heurística com valores mais altos, contanto que ela seja admissível e que o tempo para computá-la não seja muito grande!
  - ex. h_2 melhor que h_1.
- h_i **domina** $h_k \Rightarrow h_i(n) \geq h_k(n), \forall n$ no espaço de estados
  - ex. h_2 domina h_1.

Escolhendo Funções Heurísticas

- Caso existam muitas funções heurísticas para o mesmo problema, e nenhuma delas domine as outras, usa-se uma heurística composta:

$$h(n) = \max (h_1(n), h_2(n), \ldots, h_m(n))$$

- Assim definida, h é admissível e domina cada função h_i individualmente

Como inventar funções heurísticas admissíveis?

- Existem estratégias genéricas para definir h:

(1) Relaxar o problema (versão simplificada)
(2) Usar informação estatística
(3) Identificar atributos relevantes do problema e usar aprendizagem

(1) Relaxando o problema

- Operadores relaxados:
  - 1. Uma peça pode se mover para lugares adjacentes, mesmo que ocupados
    - h_2 seria o custo da solução "correta" neste jogo
  - 2. Uma peça pode se mover para qualquer lugar vazio, mesmo que não adjacente
    - h? (veja exercício do livro)
  - 3. Uma peça pode se mover para qualquer lugar
    - h_1 seria o custo da solução "correta" neste jogo

O custo da solução ótima de um problema relaxado é uma heurística admissível para o problema original!!!

(2) Usando informação estatística

- Funções heurísticas podem ser “melhoradas” com informação estatística:
  - executar a busca com um conjunto de treinamento (ex., 100 configurações diferentes do jogo), e computar os resultados.
  - se, em 90% dos casos, quando h(n) = 14, a distância real da solução é 18, então, quando o algoritmo encontrar 14 para o resultado da função, vai substituir esse valor por 18.
- Informação estatística expande menos nós, porém elimina admissibilidade:
  - em 10% dos casos do problema acima, a função de avaliação poderá superestimar o custo da solução, não sendo de grande auxílio para o algoritmo encontrar a solução menos custosa.

(3) Aprendendo heurísticas por experiência

- Resolve o jogo diversas vezes e computa o custo da solução, relacionando a algum atributo do problema.
  - Ex1: atributo $x_1(n)$ = número de peças fora do lugar no início do jogo; para cada valor de atributo, determinar experimentalmente o custo médio da solução.
    - Ex: para $x_1(n)=5$, resolvo 100 vezes o problema e concluo que o custo médio da solução é 14 passos
  - Ex2: atributo $x_2(n)$ = número de pares de peças adjacentes que também são adjacentes na configuração de solução
- Uso $x_1(n)$ ou $x_2(n)$ para estimar h(n) ou sua combinação:
  - $h(n) = c_1.x_1(n) + c_2.x_2(n)$, ajustando c_1 e c_2 da melhor forma para os dados de custo da solução.

Bibliografia

- Busca cega e heurística:
  - Capítulo 3 do livro texto (Russel & Norvig, Inteligência Artificial, 3a. Edição)