Métodos de Busca Heurística

Prof. Júlio Cesar Nievola
PPGIA - PUCPR

Implementação do método de busca do melhor primeiro

function BUSCA_MELHOR_PRIMEIRO(*problema,* AVAL-FN)
returns uma seqüência solução

inputs: *problema*, um problema
Aval-Fn, uma função de avaliação

Ordenar-Fn uma função que ordena nós segundo Aval-Fn

return BUSCA_GERAL(*problema, Ordenar-Fn*)

Busca do melhor primeiro

- Utiliza uma medida estimada do custo da solução e tenta sua minimização
- A medida deve incorporar uma estimativa do custo do caminho de um estado ao estado objetivo mais próximo
- Há duas abordagens:
  - Expandir o nó mais próximo a um objetivo;
  - Expandir o nó no caminho da solução de menor custo

Busca Gulosa (“Greedy search”)

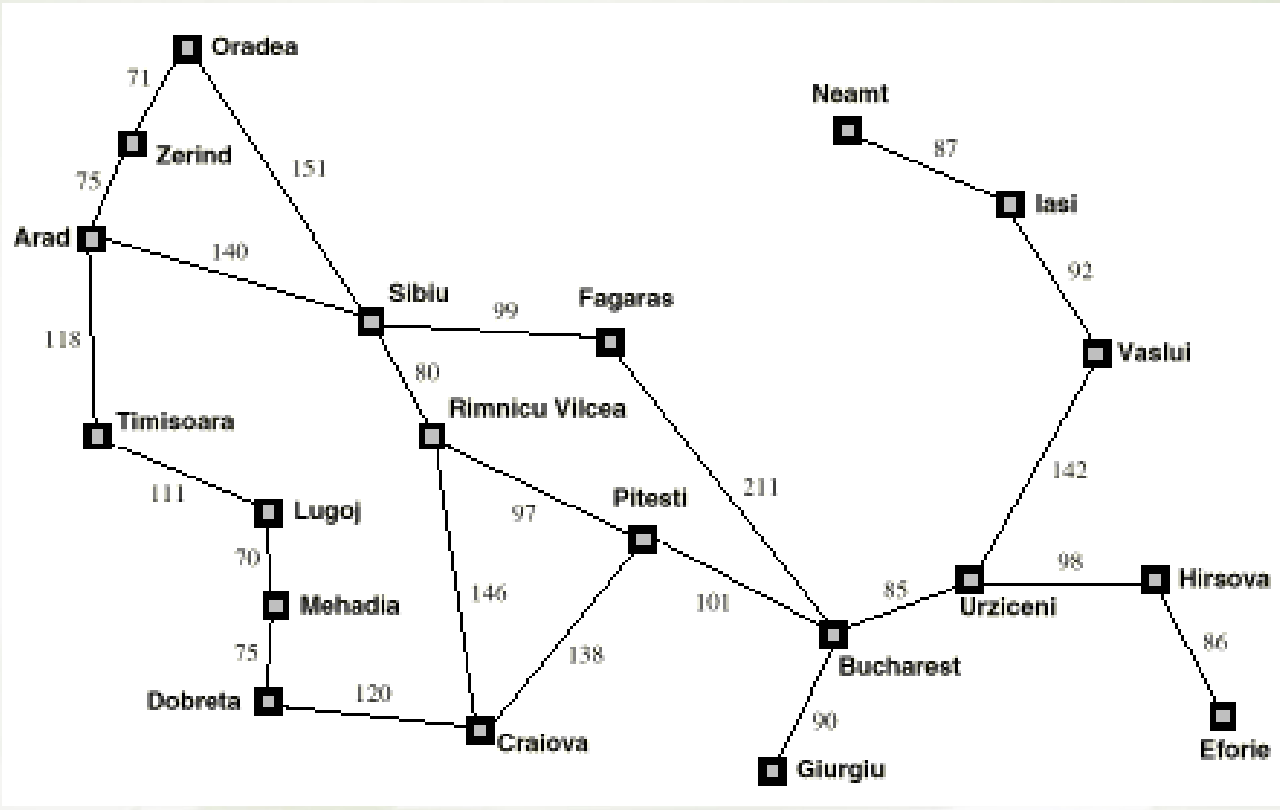
- A mais simples estratégia de busca do melhor primeiro consiste em minimizar o custo estimado para atingir o objetivo

  $h(n)$ ≡ custo estimado do caminho mais “barato” do estado *n* até o estado objetivo

function BUSCA_GULOSA(*problema*) **returns** uma solução ou falha

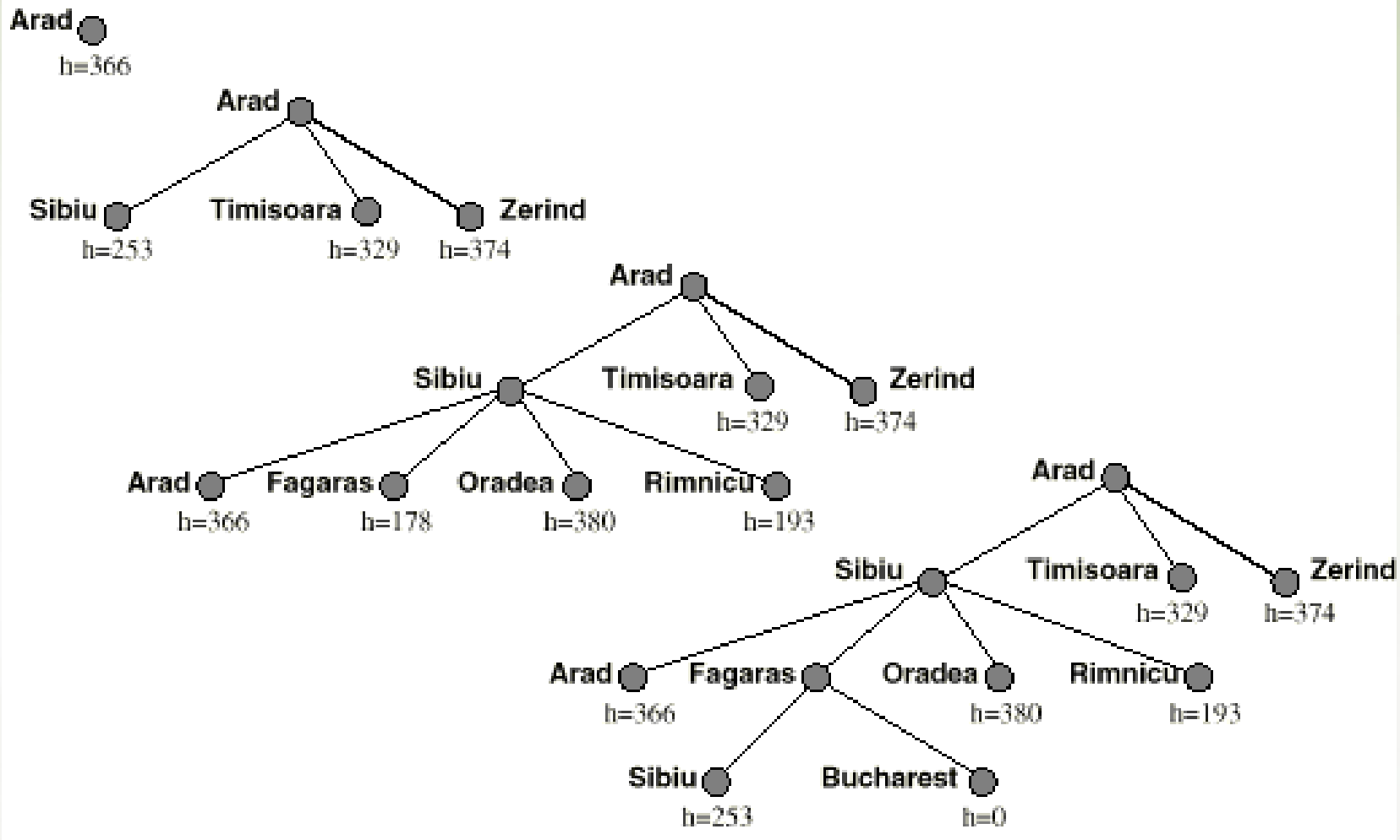
return BUSCA_MELHOR_PRIMEIRO(*problema,h)*

Mapa da Romênia



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

Busca Gulosa para Bucareste



Minimizando o custo total do caminho

- Busca Gulosa não é ótima nem completa
- Busca de custo uniforme (que usa *g(n)*) é ótima e completa mas é ineficiente
- Pode-se combinar as duas, usando-se *f(n)* como o custo estimado total da solução de menor custo passando por *n*:

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

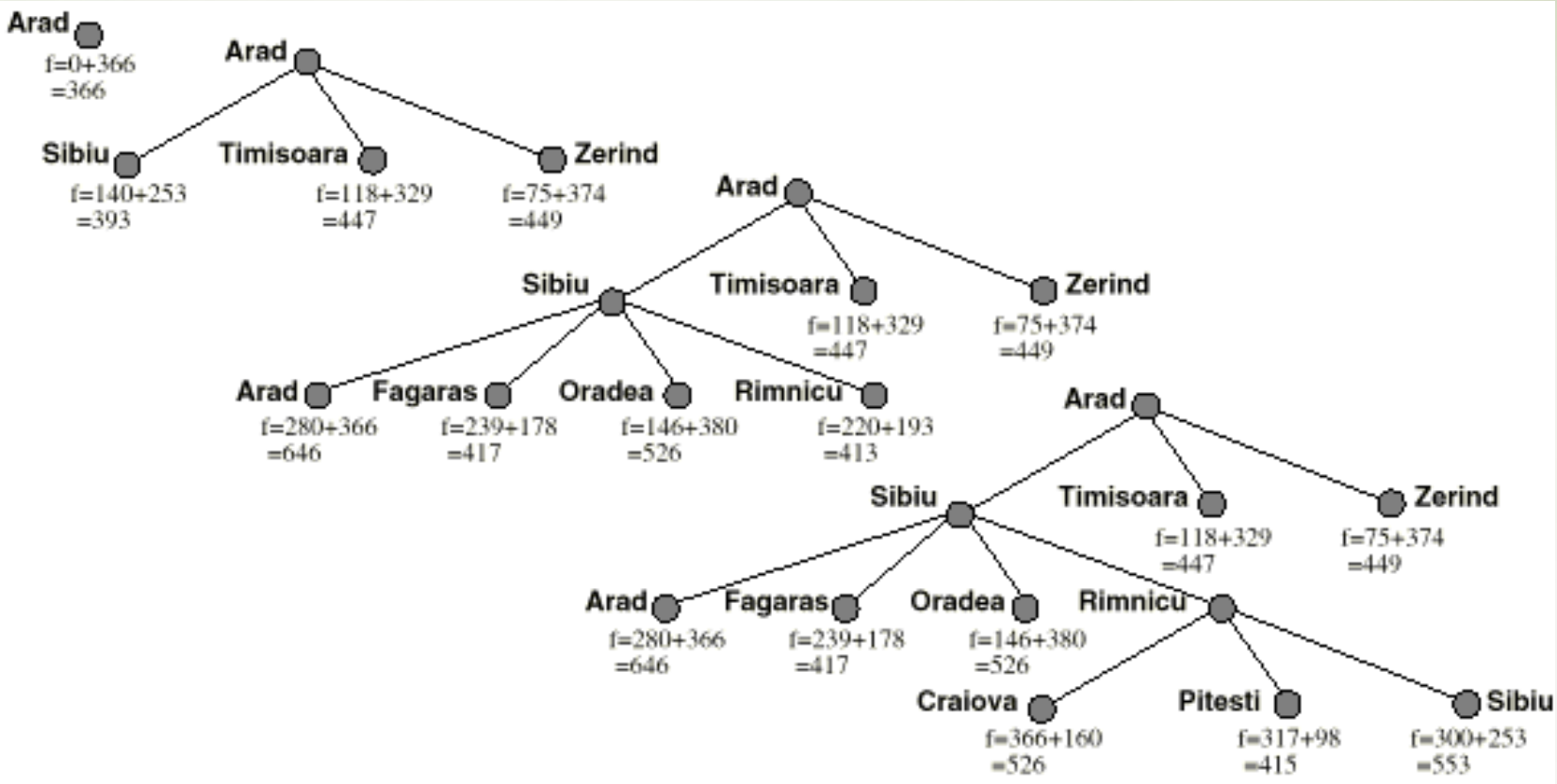
Estratégia A*

- Uma heurística é *admissível* se ela nunca superestima o custo de atingir o objetivo, ou seja, ela é otimista
- A estratégia A* faz uma busca do melhor primeiro, usando *f* como função de avaliação e uma função *h* admissível:

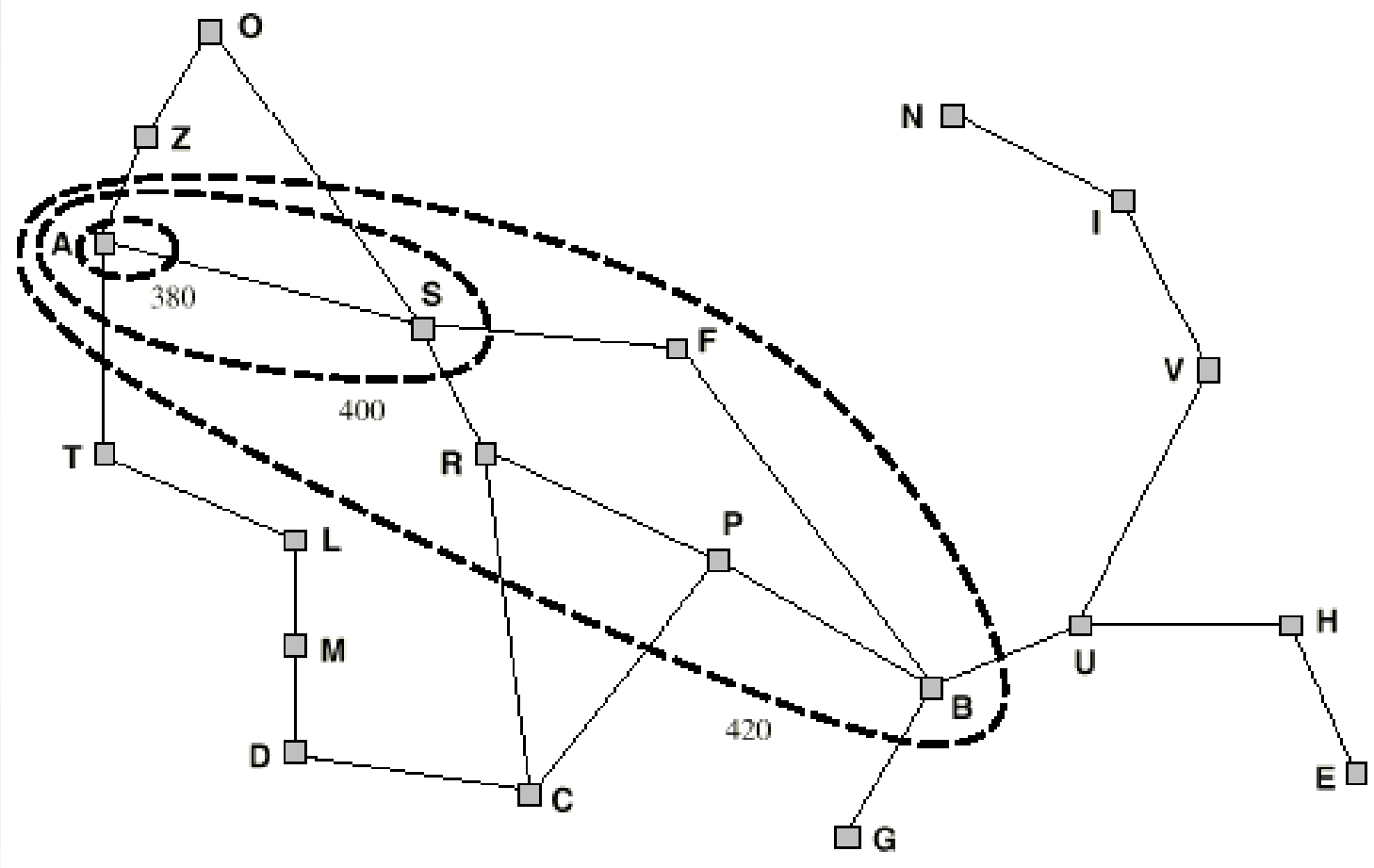
function BUSCA- A*(*problema*) **returns** uma solução ou falha

return BUSCA_MELHOR_PRIMEIRO(*problema,g + h)*

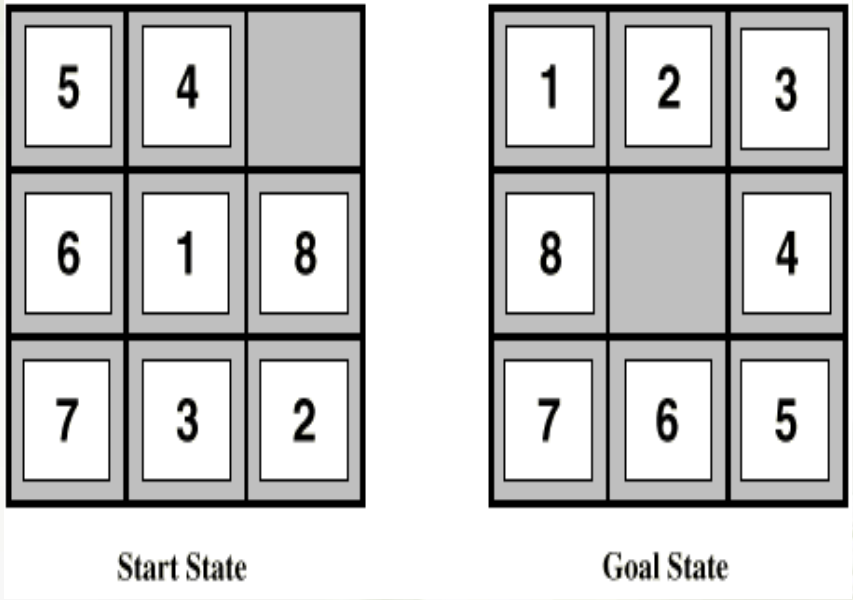
A* para a busca de Bucareste



Mapa da Romenia com contornos com f = 380, f = 400 e f = 420



Funções Heurísticas



- h_1 quantidade de blocos na posição incorreta
- h_2 soma das distâncias de cada bloco à sua posição objetivo

Comparação entre A* com h_1 e h_2 com aprofundamento iterativo

	Search Cost			Effective Branching Factor		
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

Aprofundamento iterativo A*

- Com a finalidade de conservar memória pode-se usar a idéia do algoritmo de aprofundamento iterativo
- Transforma-se a estratégia de busca A* em aprofundamento iterativo usando-se a noção de contorno de mesmo custo
- Boa estratégia em domínios pequenos mas possui dificuldades em domínios grandes

IDA* - Algoritmo principal

function IDA*(*problema*) **returns** uma seqüência solução
    inputs: *problema*, um problema
    static: *f-limite*, o limite atual *f* -CUSTO
                raiz, um nó
    raiz ← CRIAR_NÓ(ESTADO_INICIAL[*problema*])
    f-limite ← *f* -CUSTO(*raiz*)
    loop do
        solução, *f-limite* ← DFS-CONTORNO(*raiz*, *f-limite*)
        if *solução* é não-nula **then return** *solução*
        if *f-limite* = ∞ **then return** falha;
end

IDA* - Busca no contorno

function DFS-CONTORNO(*nó, f-limite*) **returns** uma seqüência solução e um novo *f* -CUSTO limite

inputs: *nó*, um nó *f-limite*, o limite atual *f* -CUSTO

static: *próximo-f*, o *f* -COST limite para o próximo contorno, inicialmente ∞

if *f* -CUSTO[*nó*] > *f-limite* **then return** nulo, *f* -CUSTO[*nó*]

if TESTE_OBJETIVO[*problema*](ESTADO[nó]) **then return** *nó, f-limite*

for each nó *s* **in** SUCESSORES(*nó*) **do**

solução, *novo-f* ← DFS-CONTORNO(*s, f-limite*)

if *solução é* não-nulo **then return** *solução, f-limite*

próximo-f ← MÍN(*próximo-f, novo-f*); **end**

return nulo, *próximo-f*

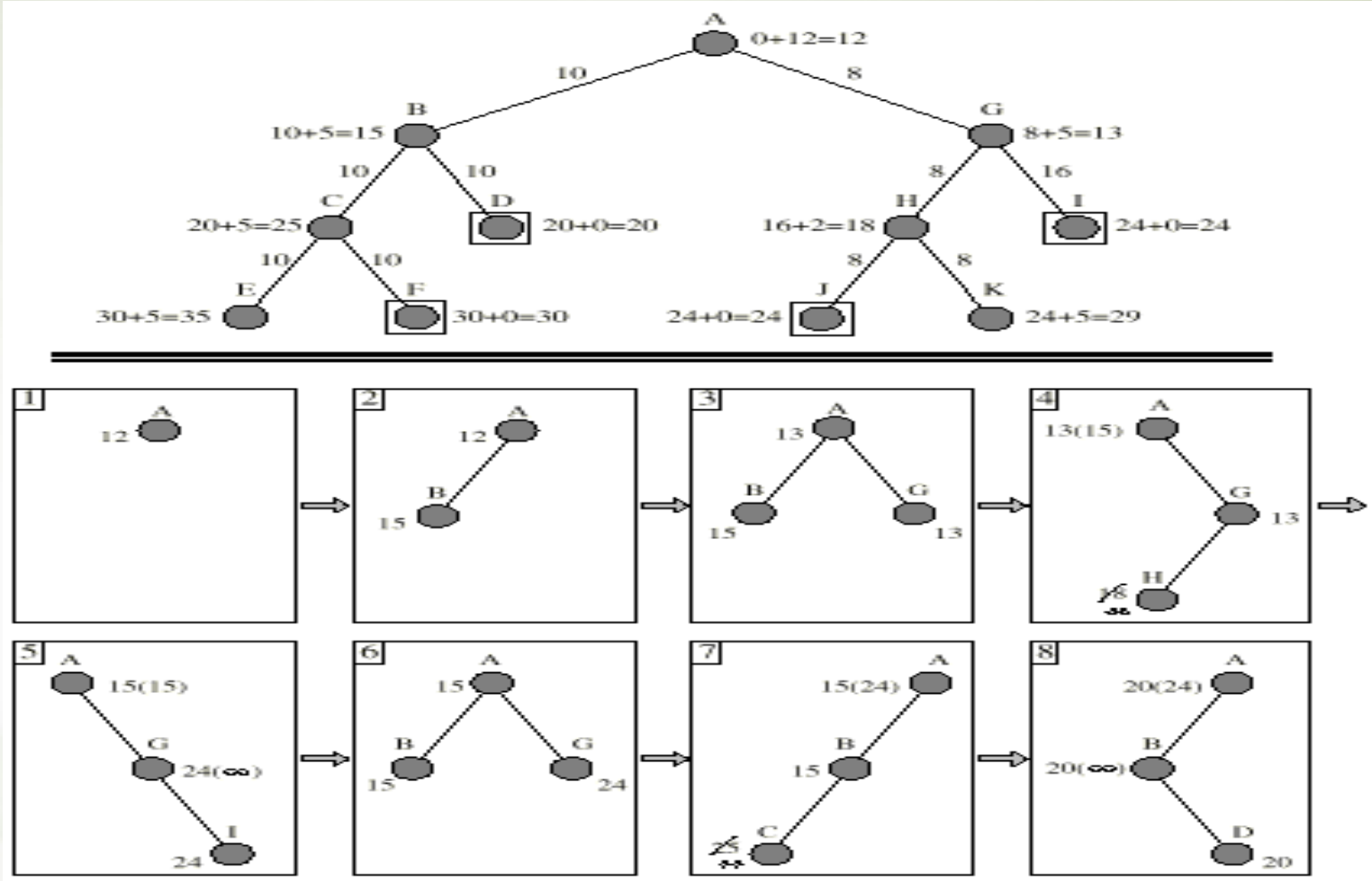
Simplified Memory-Bounded A*

- Utiliza a memória disponível
- Evita repetição de estados, se a memória permitir
- É completo se a memória for suficiente para encontrar a solução de menor profundidade
- É ótimo se a memória permitir, ou retorna a melhor solução dentro da disponibilidade de memória

Algoritmo SMA*

```
function SMA*(problema) returns uma seqüência solução
    inputs: problema, uma problema
    static: Fila, uma fila de nós ordenados por f -custo
    Fila ← CRIAR_FILA({CRIAR_NÓ(ESTADO_INICIAL[problema])})
    loop do
        if Fila está vazia then return falha
        n ← nó mais profundo de menor f-custo em Fila
        if TESTE_DO_OBJETIVO(n) then return sucesso
        s ← PRÓXIMO-SUCESSOR(n)
        if s não é um objetivo e está na profundidade máxima then f(s) ← ∞
        else f(s) ← MÁX(f(n), g(s)+h(s))
        if todos os n's sucessores foram gerados then
                atualizar n's f -custo e aqueles de seus antecessores se necessário
        if SUCESSORES(n) estão todos na memória then remover n da Fila
        if a memória está cheia then
                apagar nó mais superficial de maior f-custo em Fila
                removê-lo da lista de sucessores de seu pai
                inserir seu pai em Fila se necessário
        inserir s na Fila
end
```

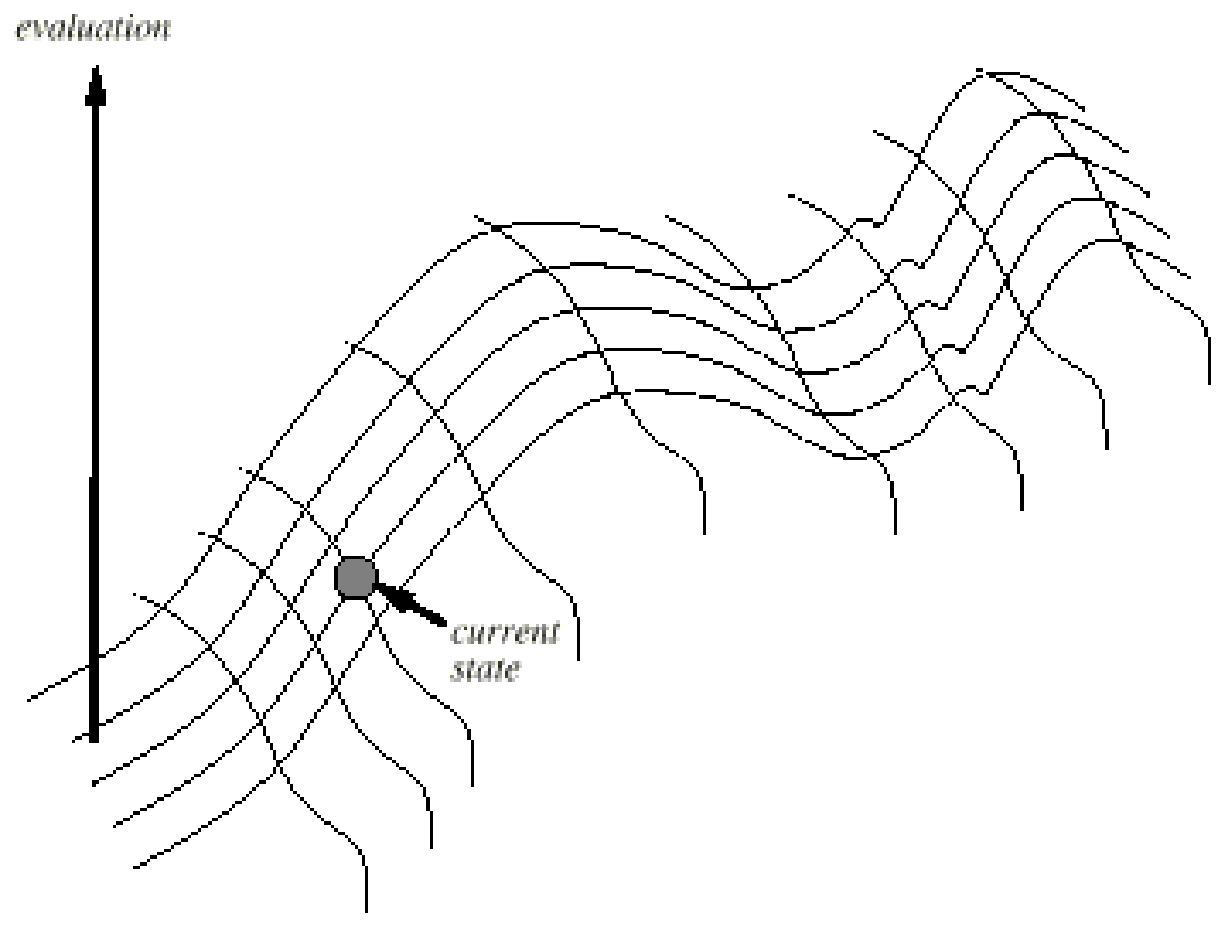
Andamento na busca SMA*



Algoritmos de Melhora Iterativa

- Inicia-se com uma configuração completa e realizam-se modificações para melhorar a qualidade
- Há basicamente dois tipos:
  - Subida da montanha (ou descida do gradiente), que tenta melhoras graduais no estado atual
  - Recozimento simulado, que tenta modificações abruptas, às vezes prejudicando o estado atual

Subida da montanha



Algoritmo da subida da montanha

function SUBIDA_DA_MONTANHA(*problema*) **returns**
um estado solução

inputs: *problema*, um problema

static: *atual*, um nó

próximo, um nó

atual ← CRIAR_NÓ(ESTADO_INICIAL[*problema*])

loop do

próximo ← um sucessor de maior valor de *atual*

if VALOR[*próximo*] < VALOR[*atual*] **then return** *atual*

atual ← *próximo*

end

Problemas da subida da montanha

- Máximos locais
- Planícies
- Cadeia de montanhas

- Utilização da subida da montanha com reinício em pontos aleatórios

Recozimento simulado

function RECOZIMENTO_SIMULADO(*problema, agenda*) **returns** um estado solução

inputs: *problema*, um problema
agenda, um mapeamento do tempo para "temperatura"

static: *atual*, um nó; *próximo*, um nó; *T*, uma "temperatura" controlando a probabilidade de passos para trás

atual ← CRIAR_NÓ(ESTADO_INICIAL[*problema*])

for *t* = 1 **to** ∞ **do**

T ← *agenda*[*t*]

if *T*=0 **then return** *atual*

próximo ← *um* sucessor de *atual* aleatoriamente selecionado

ΔE ← VALOR[*próximo*]- VALOR[*atual*]

if ΔE >0 **then** *atual* ← *próximo*

else *atual* ← *próximo* somente com probabilidade $e^{\Delta E/T}$