

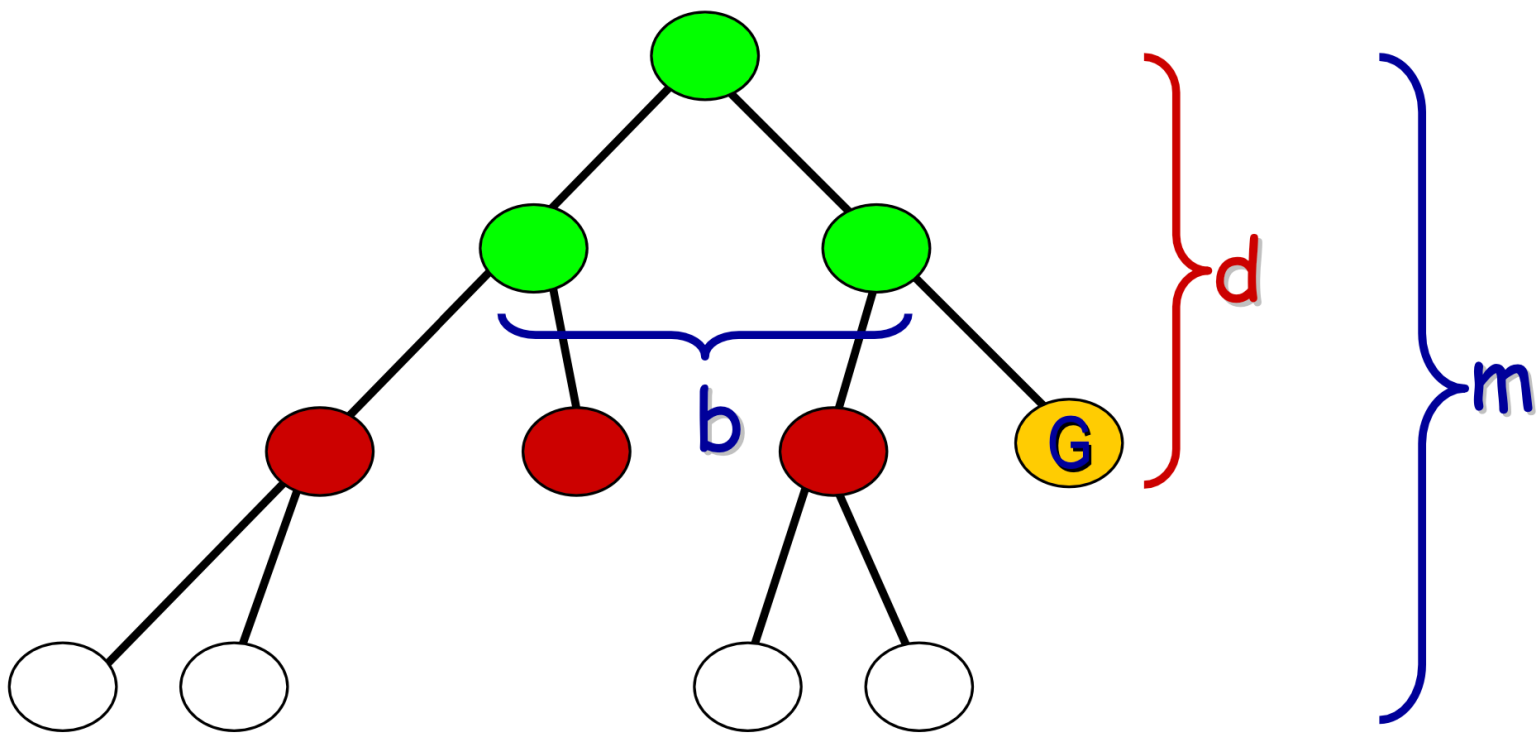


Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông  
Khoa Công nghệ thông tin 1

Nhập môn trí tuệ nhân tạo

Tìm kiếm có thông tin  
(informed search)

Nguyễn Thị Mai Trang



# Tìm kiếm mù & Tìm kiếm có thông tin

---

- Tìm kiếm mù

- Mở rộng các nút tìm kiếm **theo một quy luật** có trước, không dựa vào thông tin hỗ trợ của bài toán
- Di chuyển trong không gian trạng thái **không có định hướng**, phải xem xét nhiều trạng thái
- Không phù hợp trong các bài toán có không gian trạng thái lớn

- Tìm kiếm có thông tin

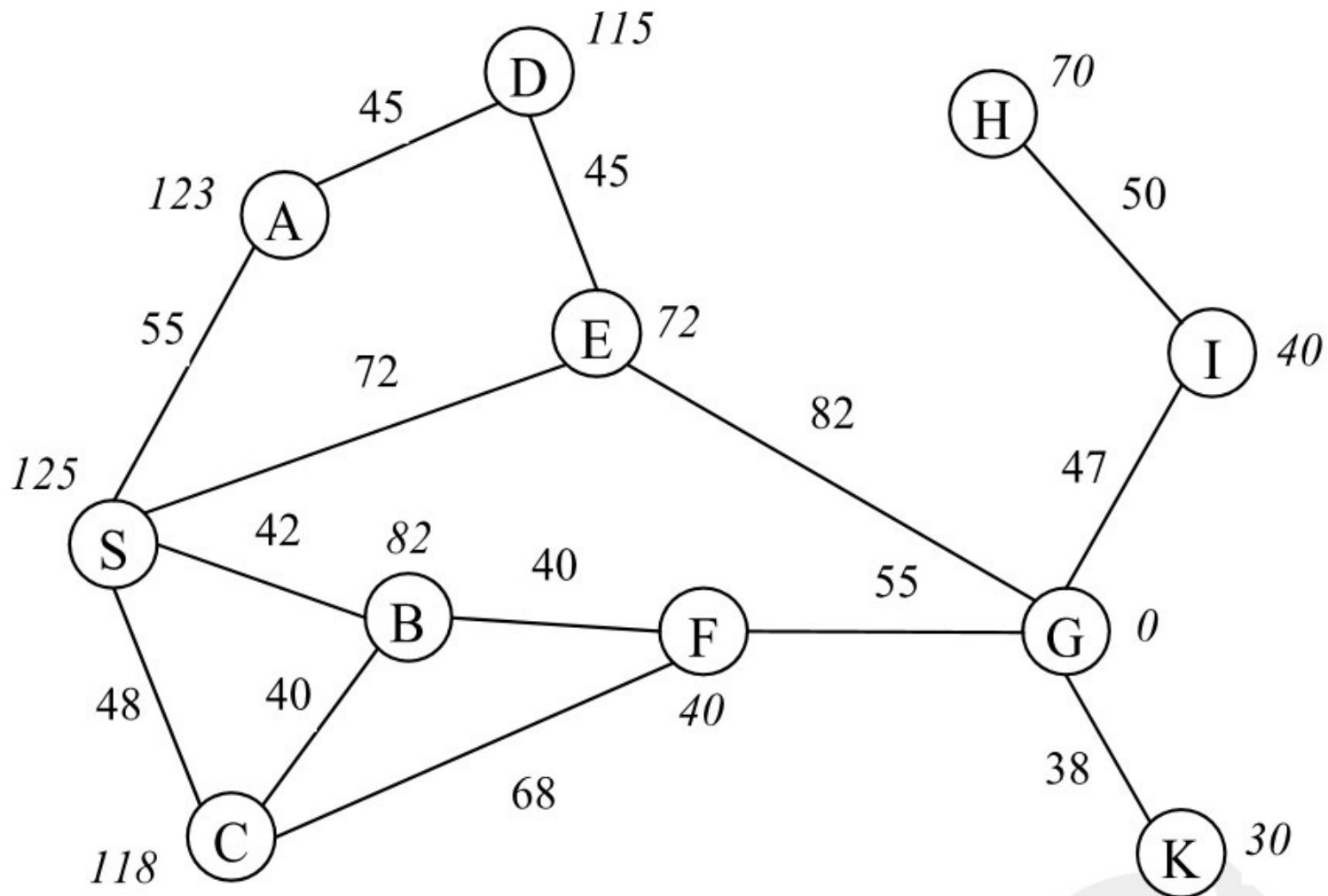
- Sử dụng thông tin phụ từ bài toán để **định hướng tìm kiếm**
- Sử dụng một hàm  **$f(n)$**  đánh giá độ “tốt” tiềm năng của nút  $n$ , từ đó chọn nút tốt nhất để mở rộng trước
  - Tìm kiếm tốt nhất đầu tiên (best-first search)
  - **Xây dựng hàm  $f(n)$  thế nào?**

# Nội dung

---

- Tìm kiếm tham lam (greedy search)
- Thuật toán  $A^*$
- Các hàm heuristic
- Thuật toán  $A^*$  sâu dẫn ( $IDA^*$ )

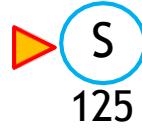
# Ví dụ đồ thị cho bài toán tìm kiếm



# Tìm kiếm tham lam

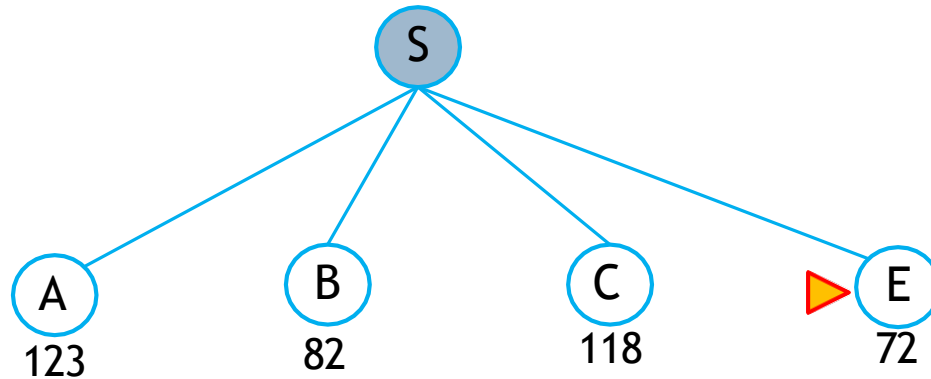
- **Phương pháp:** mở rộng nút có giá thành đường đi tới đích nhỏ nhất trước
  - $f(n) = h(n)$ : hàm heuristic ước lượng giá thành đường đi từ  $n$  tới đích
  - Ví dụ:  $h(n) =$  đường chim bay từ  $n$  tới đích
- “**Tham lam**”: Chọn nút trông có vẻ tốt nhất để mở rộng, không quan tâm tới tương lai

## Ví dụ tìm kiếm tham lam (1/4)



## Ví dụ tìm kiếm tham lam (2/4)

Mở rộng S

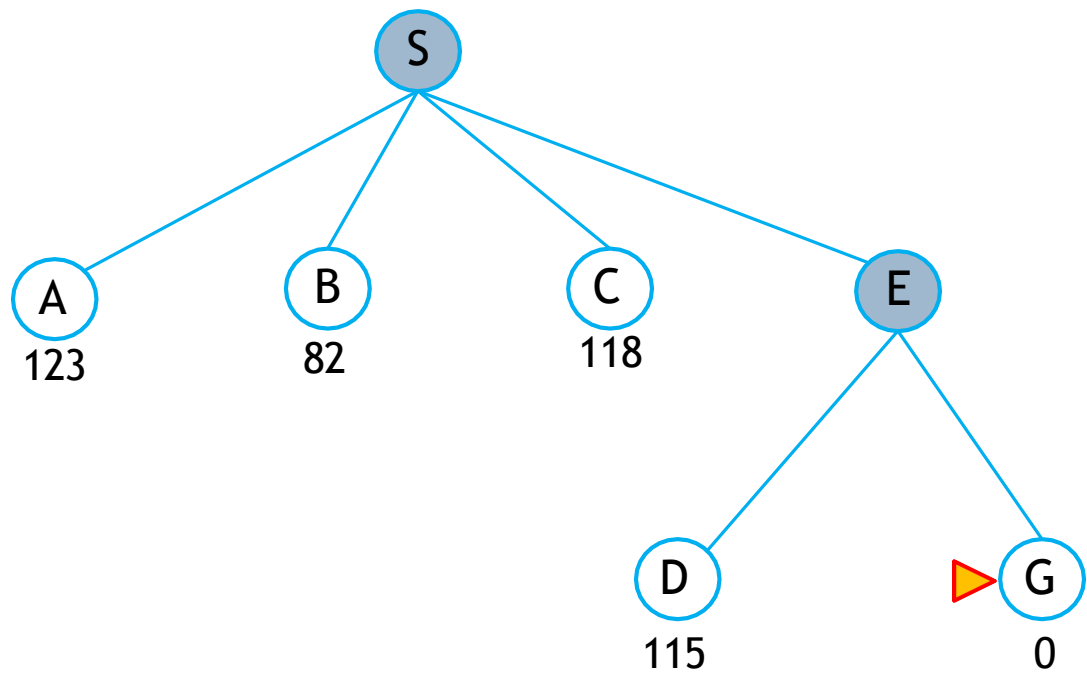




# Ví dụ tìm kiếm tham lam (3/4)

Mở rộng S

Mở rộng E

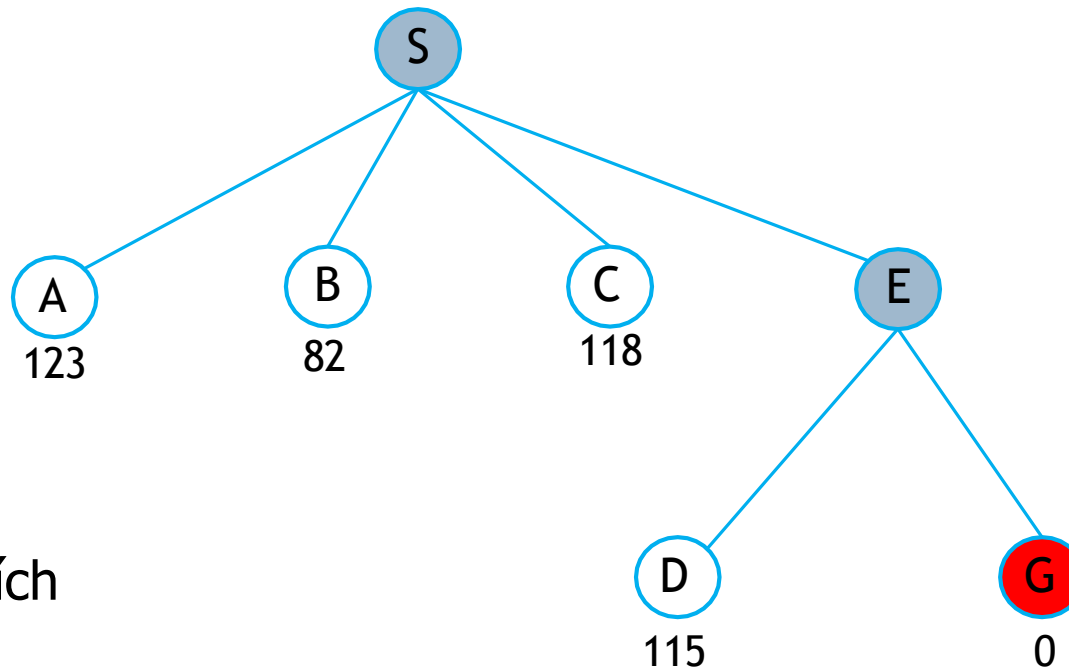


## Ví dụ tìm kiếm tham lam (4/4)

Mở rộng S

Mở rộng E

Mở rộng G: Đích





# Lời giải theo thuật toán tìm kiếm tham lam

Nút được mở rộng	Danh sách tập biên O. Giá trị hàm $f(n)$ được cho trong ngoặc
	S
S	As(123), Bs(82), Cs(118), <b>Es(72)</b>
Es	As(123), Bs(82), Cs(118), D <sub>E</sub> (115), <b>G<sub>E</sub>(0)</b>
G <sub>E</sub>	Đích

$G \leftarrow E \leftarrow S$

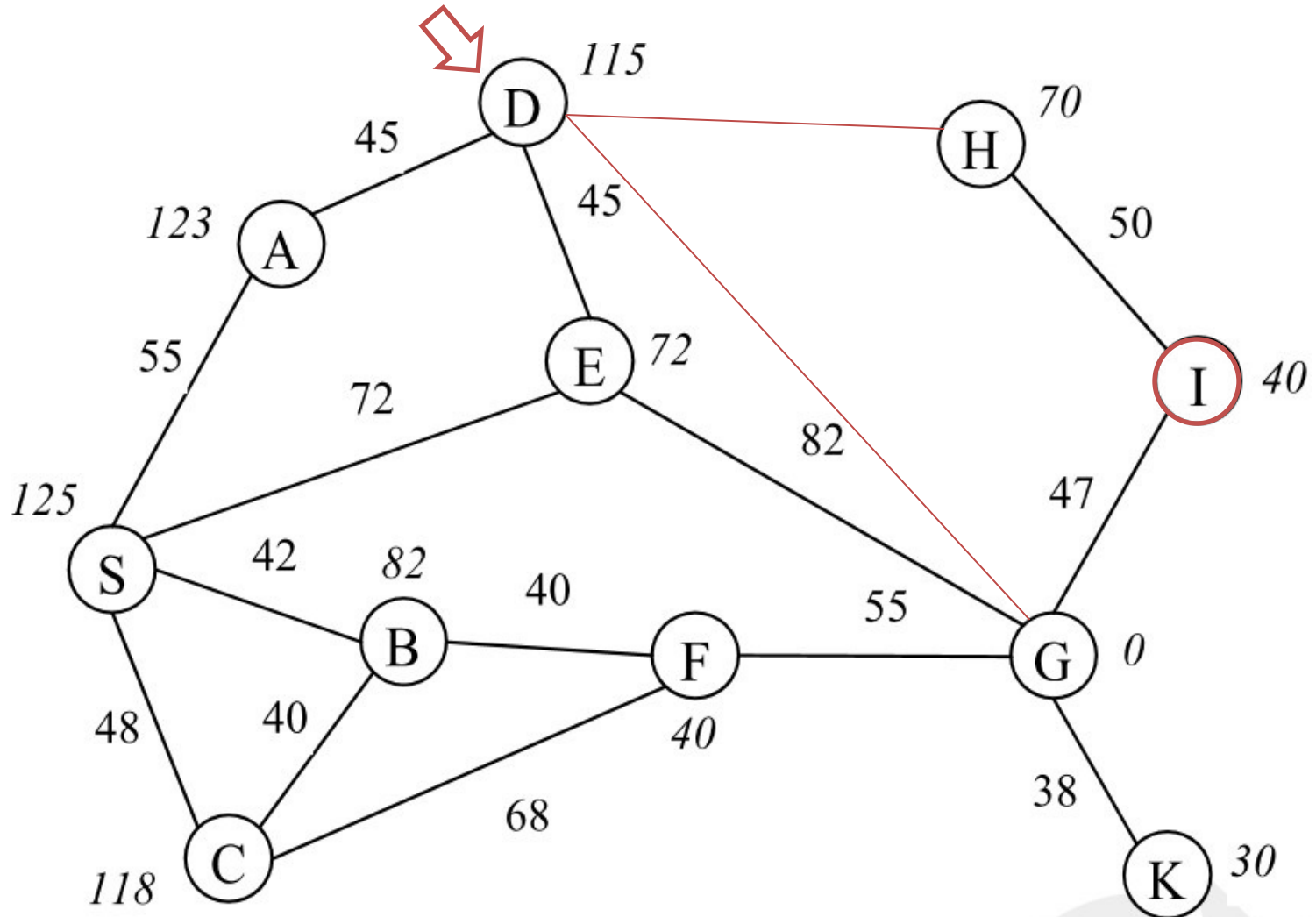


# Tính chất của tìm kiếm tham lam

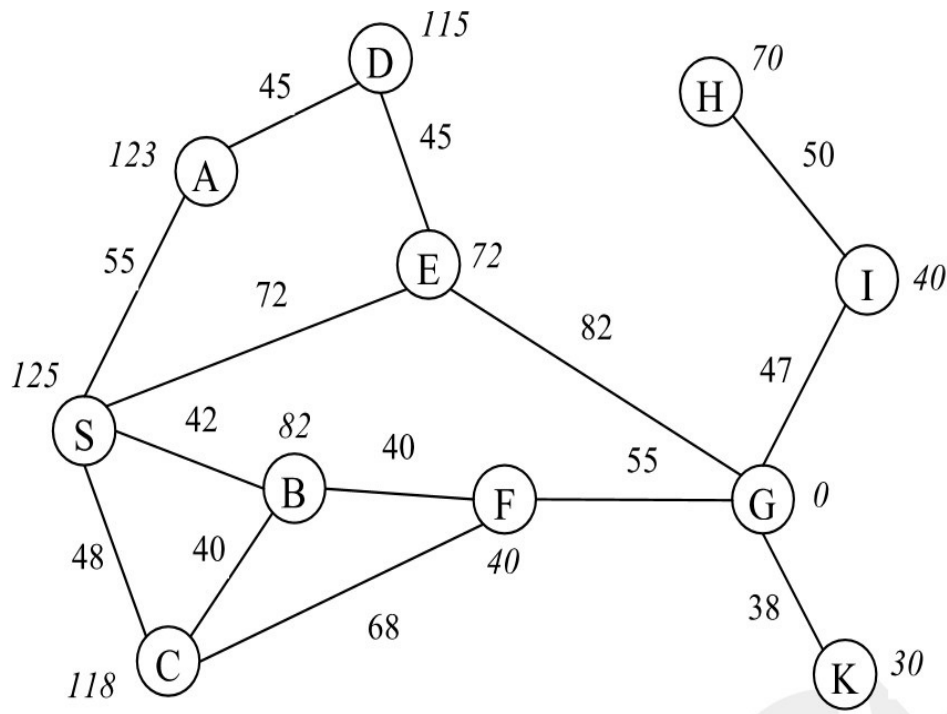
---

- **Đầy đủ?**
  - Không (có thể tạo thành vòng lặp, hoặc có nhánh gồm vô hạn nút có giá trị hàm h nhỏ nhưng không dẫn tới đích)
- **Tối ưu?**
  - Không
- **Thời gian?**
  - $O(b^m)$
  - Nếu hàm heuristic tốt, thuật toán có thể sẽ nhanh hơn rất nhiều
- **Bộ nhớ?**
  - $O(b^m)$ : lưu tất cả các nút trong bộ nhớ
  - Nếu hàm heuristic tốt, số nút cần lưu có thể giảm đi rất nhiều

# Đầy đủ?



# Tối ưu?



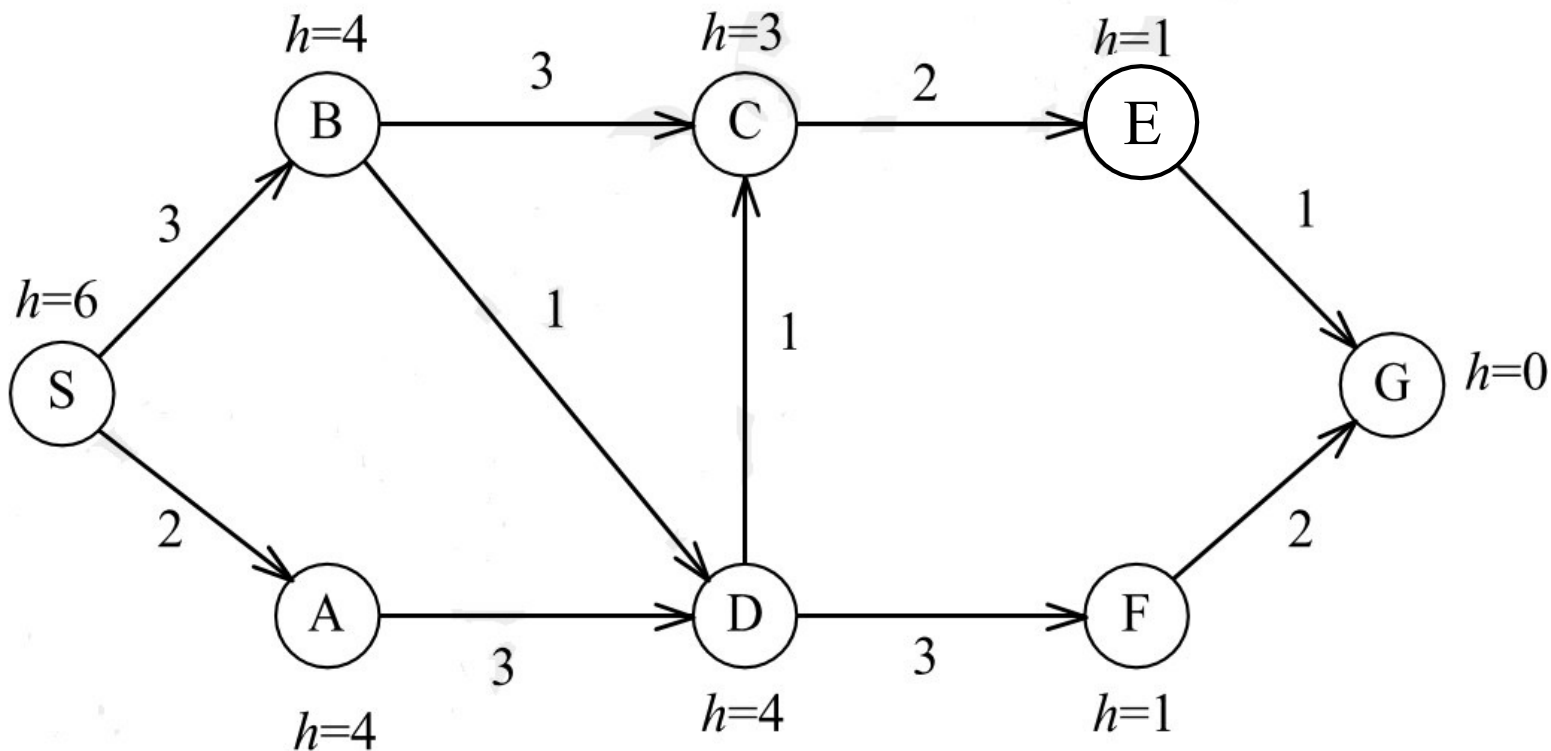
Xét giá thành đường đi:

(1)  $S \rightarrow E \rightarrow G$  : 154

(2)  $S \rightarrow B \rightarrow F \rightarrow G$  : 137

# Bài tập 1

- Sử dụng thuật toán **tìm kiếm tham lam** tìm đường đi từ  $S$  tới  $G$ ?



(PhuongTM, 2016)

# Nội dung

---

- Tìm kiếm tham lam (greedy search)
- Thuật toán  $A^*$
- Các hàm heuristic
- Thuật toán  $A^*$  sâu dẫn ( $IDA^*$ )





# Thuật toán $A^*$ : ý tưởng

- Khắc phục nhược điểm của tìm kiếm tham lam
  - Tham lam: chỉ quan tâm tới đường đi tới đích
  - $A^*$ : quan tâm cả đường đi từ điểm xuất phát tới nút đang xét
    - Không mở rộng đường đi có giá thành lớn
- **Phương pháp:**  $f(n) = g(n) + h(n)$ 
  - $g(n)$ : giá thành đường đi từ điểm xuất phát tới nút  $n$
  - $h(n)$ : hàm heuristic ước lượng giá thành đường đi từ  $n$  tới đích
  - $f(n)$ : ước lượng giá thành đường đi từ điểm xuất phát, qua  $n$ , tới đích

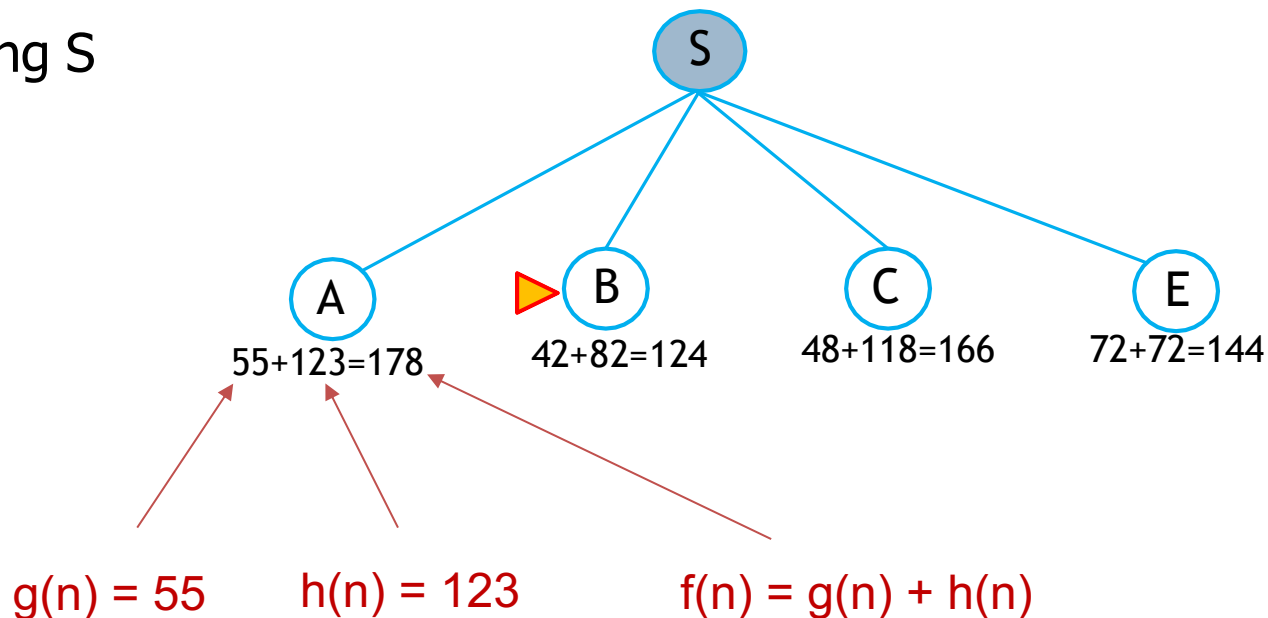
# Ví dụ thuật toán A\* (1/5)

---

  S  
 $0 + 125 = 125$

## Ví dụ thuật toán A\* (2/5)

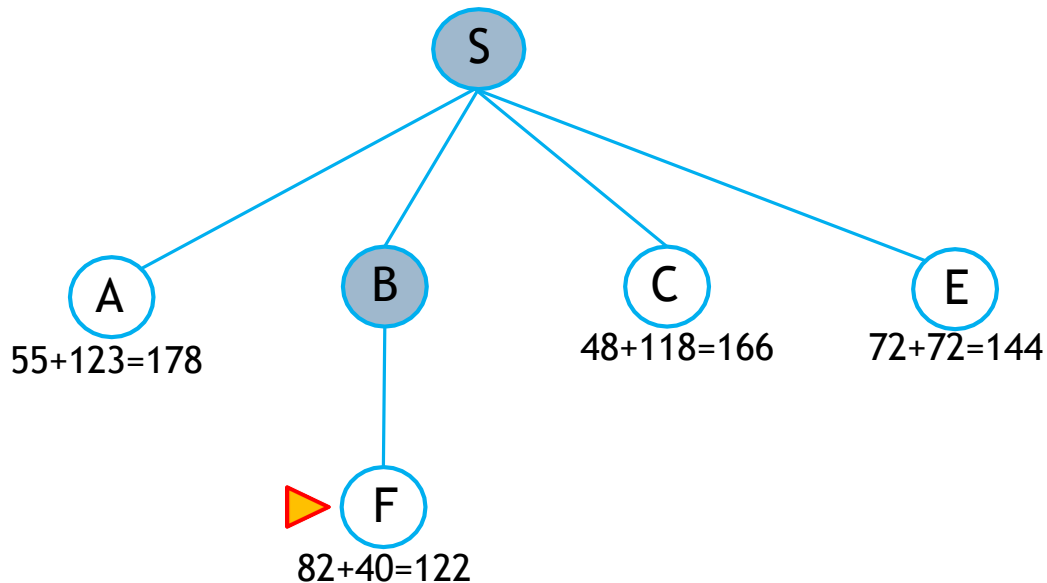
Mở rộng S



Hàm  $h(n)$  được gọi là chấp nhận được nếu  $h(n)$  không lớn hơn độ dài đường đi thực ngắn nhất từ  $n$  tới nút đích

# Ví dụ thuật toán A\* (3/5)

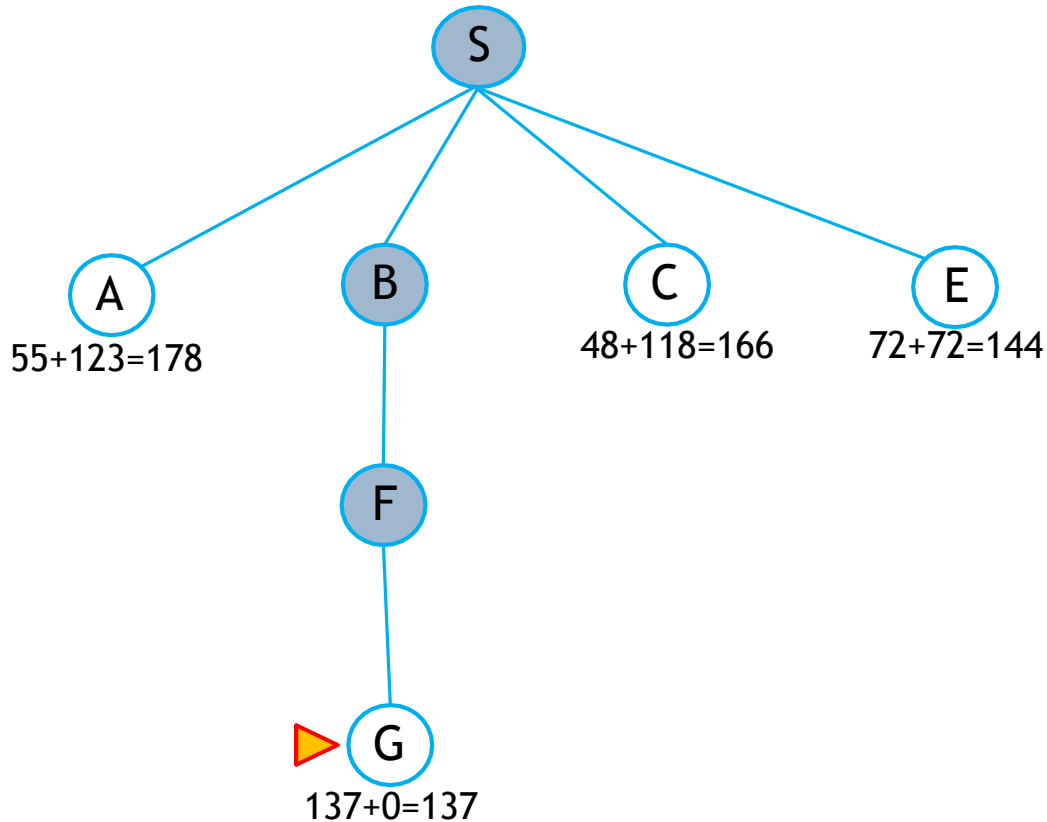
Mở rộng S



Mở rộng B

# Ví dụ thuật toán A\* (4/5)

Mở rộng S

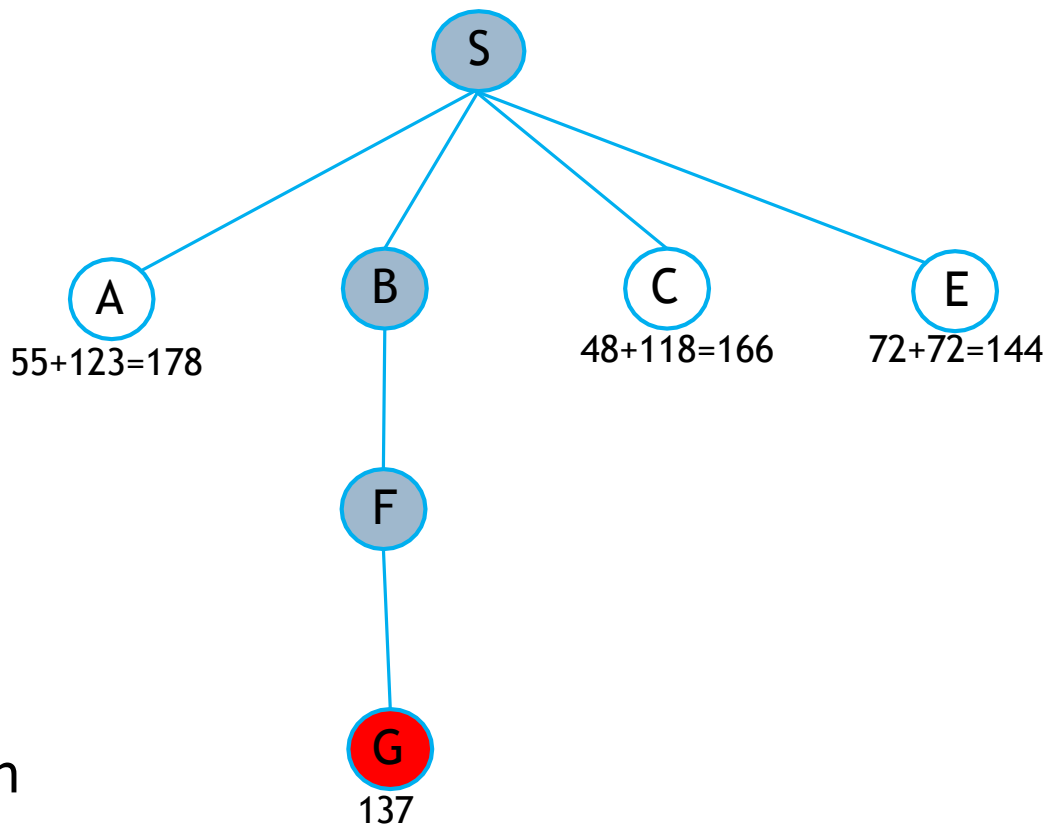


Mở rộng B

Mở rộng F

# Ví dụ thuật toán A\* (5/5)

Mở rộng S



Mở rộng B

Mở rộng F

Mở rộng G: Đích

# Thuật toán $A^*$

$A^*(Q, S, G, P, c, h)$

( $Q$ : không gian trạng thái,  $S$ : trạng thái bắt đầu,  $G$ : đích,  $P$ : hành động,  $c$ : giá,  $h$ : heuristic)

**Đầu vào:** bài toán tìm kiếm, hàm heuristic  $h$

**Đầu ra:** đường tới nút đích

**Khởi tạo:** tập các nút biên (nút mở)  $O = S$

**while** ( $O \neq \emptyset$ ) **do**

1. lấy nút  $n$  có  $f(n)$  là nhỏ nhất khỏi  $O$

2. **if**  $n \in G$ , **return** (đường đi tới  $n$ )

3. với mọi  $m \in P(n)$

a)  $g(m) = g(n) + c(n, m)$

b)  $f(m) = g(m) + h(m)$

c) thêm  $m$  vào  $O$  cùng với giá trị  $f(m)$

**return** không tìm được đường đi

# Lời giải bài toán theo thuật toán A\*

Nút được mở rộng	Danh sách tập biên O. Giá trị hàm $f(n)$ được cho trong ngoặc
	S
S	As(55+123), Bs(42+82), Cs(48+118), Es(72+72)
Bs	As(55+123), Cs(48+118), Es(72+72), C <sub>B</sub> (82+118), F <sub>B</sub> (82+40), S <sub>B</sub> (84+125)
F <sub>B</sub>	As(55+123), Cs(48+118), Es(72+72), C <sub>B</sub> (82+118), S <sub>B</sub> (84+125), C <sub>F</sub> (150+118), G <sub>F</sub> (0)
G <sub>F</sub>	Đích

$G \leftarrow F \leftarrow B \leftarrow S$



# Tính chất của thuật toán $A^*$

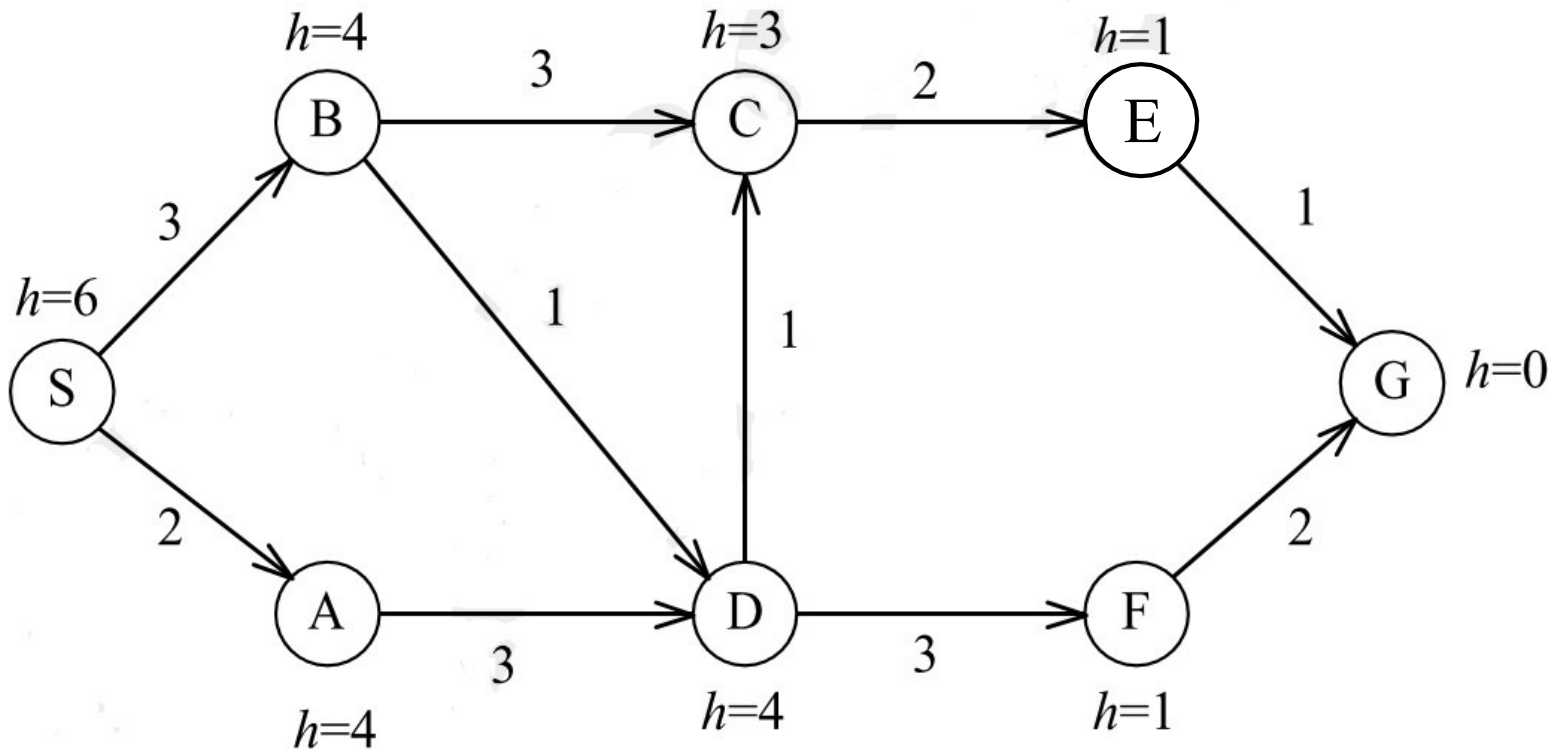
- **Đầy đủ?**
  - Có (trừ khi có vô số nút  $n$  với  $f(n) \leq f(G)$ )
- **Tối ưu?**
  - Có (nếu hàm heuristic là chấp nhận được)
- **Thời gian?**
  - $O(b^m)$
  - Nếu hàm heuristic tốt, thuật toán có thể sẽ nhanh hơn rất nhiều
- **Bộ nhớ?**
  - $O(b^m)$ : lưu tất cả các nút trong bộ nhớ
  - Nếu hàm heuristic tốt, số nút cần mở rộng có thể giảm đi rất nhiều

## Tính tối ưu của $A^*$

- Hàm heuristic chấp nhận được
  - Mọi nút  $n$  thì  $h(n) \leq h^*(n)$ , với  $h^*(n)$  là giá thành thực để đi từ  $n$  tới đích
  - Ví dụ: hàm heuristic đo khoảng cách đường chim bay là chấp nhận được
- **Định lý:** Thuật toán  $A^*$  sẽ cho kết quả **tối ưu** nếu  $h(n)$  là hàm **chấp nhận được**

## Bài tập 2

- Sử dụng thuật toán **tìm kiếm A\*** tìm đường đi từ  $S$  tới  $G$ ?



(PhuongTM, 2016)

# Nội dung

---

- Tìm kiếm tham lam (greedy search)
- Thuật toán  $A^*$
- Các hàm heuristic
- Thuật toán  $A^*$  sâu dẫn ( $IDA^*$ )

# Các hàm heuristic

- Các hàm heuristic được xây dựng tùy vào từng bài toán cụ thể
  - Một bài toán có thể có nhiều hàm heuristic
  - Chất lượng hàm heuristic ảnh hưởng rất nhiều tới quá trình tìm kiếm
- Hàm heuristic trội
  - Nếu  $h_1(n)$  và  $h_2(n)$  là 2 hàm heuristic chấp nhận được thỏa mãn  $h_1(n) \leq h_2(n)$  với mọi nút  $n$ , thì  $h_2$  **trội hơn** (tốt hơn)  $h_1$

## Ví dụ hàm heuristic

7	2	4
5		6
8	3	1

Start State

	1	2
3	4	5
6	7	8

Goal State

- $h_1(n)$ : số ô đặt sai chỗ
  - $h_1(S) = 8$
- $h_2(n)$ : tổng khoảng cách Manhattan
  - $h_2(S) = 3 + 1 + 2 + 2 + 2 + 3 + 3 + 2 = 18$

# Nội dung

---

- Tìm kiếm tham lam (greedy search)
- Thuật toán  $A^*$
- Các hàm heuristic
- Thuật toán  $A^*$  sâu dẫn ( $IDA^*$ )

## Tìm kiếm $A^*$ sâu dần - IDA $^*$

- **Mục tiêu:** giải quyết vấn đề bộ nhớ trong tìm kiếm  $A^*$
- **Phương pháp:** lặp lại việc tìm kiếm **theo chiều sâu** trên các cây tìm kiếm con có giá trị hàm  $f(n)$  không lớn hơn một ngưỡng
  - Giá trị ngưỡng được tăng dần sau mỗi vòng lặp, để mỗi vòng lặp có thể xét thêm các nút mới



# Thuật toán IDA\*

$IDA^*(Q, S, G, P, c, h)$

**Đầu vào:** bài toán tìm kiếm, hàm heuristic  $h$

**Đầu ra:** đường đi ngắn nhất từ nút xuất phát đến nút đích

**Khởi tạo:** danh sách các nút biên (nút mở)  $O \leftarrow S$

giá trị  $i \leftarrow 0$  là ngưỡng cho hàm  $f$

**while** (1) **do**

1. **while** ( $O \neq \emptyset$ ) **do**

a) lấy nút  $n$  từ đầu  $O$

b) **if**  $n$  thuộc  $G$ , **return** (đường đi tới  $n$ )

c) với mọi  $m \in P(n)$

i)  $g(m) = g(n) + c(m, n)$

ii)  $f(m) = g(m) + h(m)$

iii) **if**  $f(m) \leq i$  **then** thêm  $m$  vào đầu  $O$

2.  $i \leftarrow i + \beta, O \leftarrow S$

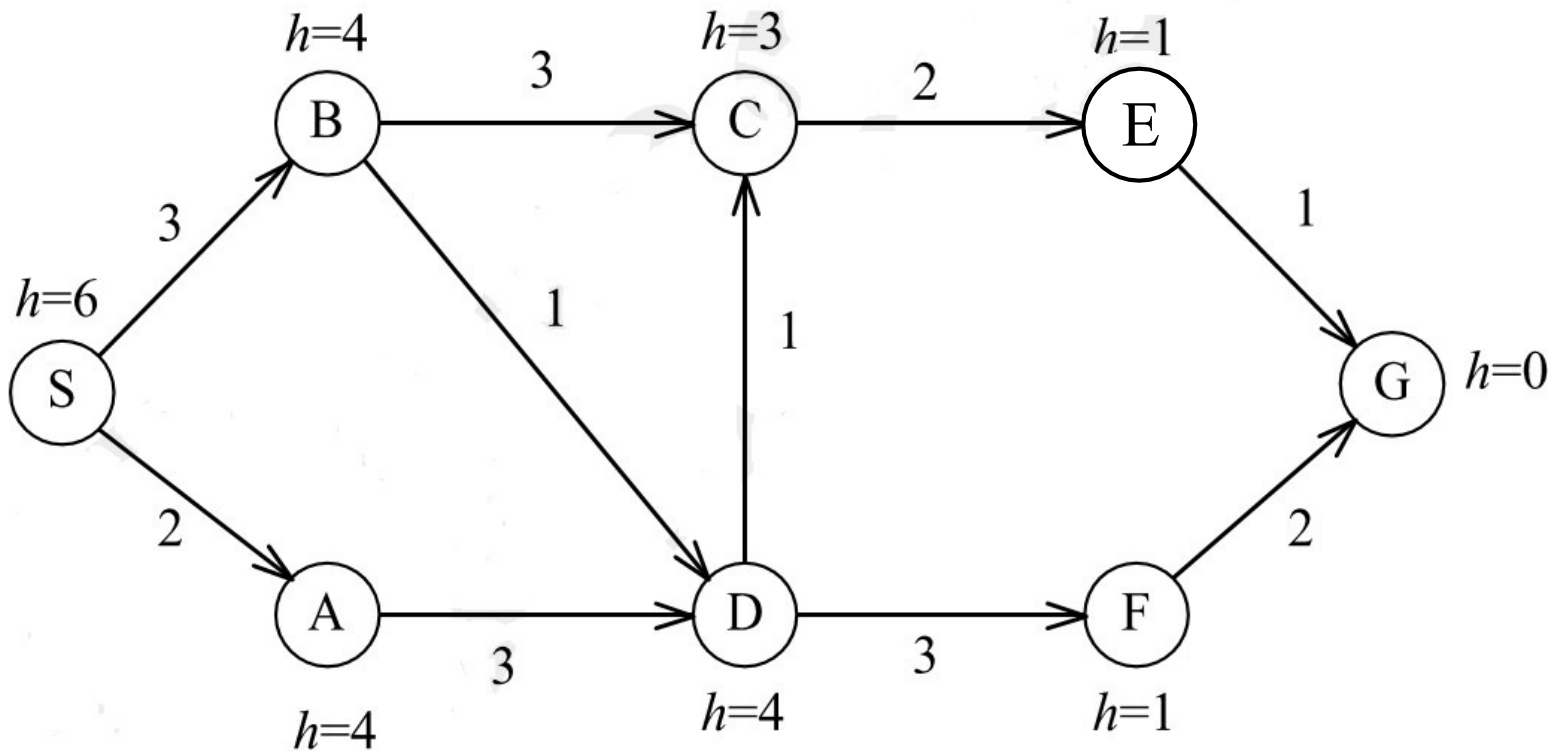
# Tính chất của IDA\*

---

- **Đầy đủ?**
  - Có
- **Tối ưu?**
  - $\beta$ -tối ưu (giá thành của lời giải tìm được không vượt quá  $\beta$  so với giá thành của lời giải tối ưu)
- **Thời gian?**
  - Độ phức tạp tính toán lớn hơn thuật toán A\*
- **Bộ nhớ?**
  - Yêu cầu bộ nhớ tuyến tính

## Bài tập 3

- Sử dụng thuật toán **tìm kiếm A\* sâu dần** tìm đường đi từ  $S$  tới  $G$ , cho biết bước nhảy  $\beta = 2$ ?



(PhuongTM, 2016)



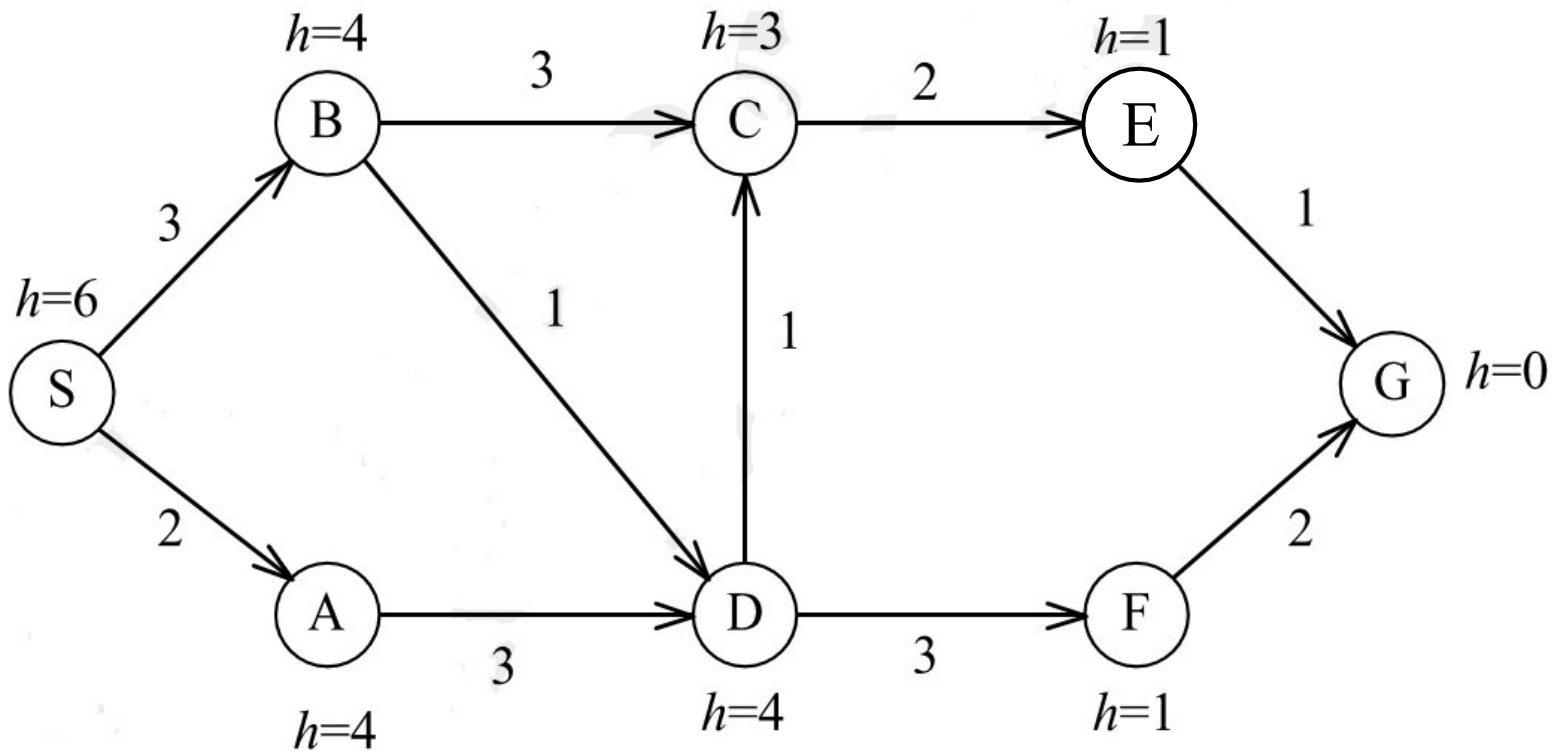
$G \leftarrow E \leftarrow C \leftarrow D \leftarrow B \leftarrow S$  (chi phí 8)

Bước	Nút mở rộng	Tập biên
l = 0		
l = 2		
l = 4		
l = 6		
0		S(6)
1	S	A <sub>s</sub> (6)
2	A <sub>s</sub>	
l = 8		
0		S(6)
1	S	A <sub>s</sub> (6), B <sub>s</sub> (7)
2	A <sub>s</sub>	B <sub>s</sub> (7)
3	B <sub>s</sub>	D <sub>B</sub> (8)
4	D <sub>B</sub>	C <sub>D</sub> (8), F <sub>D</sub> (8)
5	C <sub>D</sub>	E <sub>C</sub> (8), F <sub>D</sub> (8)
6	E <sub>C</sub>	G <sub>E</sub> (8), F <sub>D</sub> (8)
7	G <sub>E</sub>	Đích



## Bài tập 3

- Sử dụng thuật toán **tìm kiếm A\* sâu dần** tìm đường đi từ  $S$  tới  $G$ , cho biết bước nhảy  $\beta = 3$ ?



(PhuongTM, 2016)



$G \leftarrow E \leftarrow C \leftarrow D \leftarrow A \leftarrow S$  (chi phí 9)

Bước	Nút mở rộng	Tập biên
$l = 0$		
$l = 3$		
$l = 6$		
0		$S(6)$
1	$S$	$A_s(6)$
2	$A_s$	
$l = 9$		
0		$S(6)$
1	$S$	$A_s(6), B_s(7)$
2	$A_s$	$D_A(9), B_s(7)$
3	$D_A$	$C_D(9), F_D(9), B_s(7)$
4	$C_D$	$E_C(9), F_D(9), B_s(7)$
5	$E_C$	$G_E(9), F_D(9), B_s(7)$
6	$G_E$	Đích



# Khi nào đưa nút lặp vào danh sách?

- Tham lam
  - **Không**: Việc đưa vào không làm thay đổi thuật toán (có thể dẫn đến vòng lặp)
- $A^*$ 
  - Trong trường hợp nút lặp có giá thành (chi phí) tốt hơn, nó sẽ được **đưa lại danh sách** (nếu đã phát triển rồi) hoặc **cập nhật thay nút cũ** có giá thành kém hơn (nếu đang trong danh sách)
- IDA\*:
  - **Có**