Breadth/Depth First Search (BFS/DFS)

(Bagian 2)

Bahan Kuliah IF2211 Strategi Algoritmik

Oleh: Rinaldi Munir & Nur Ulfa Maulidevi

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB
2021

Pencarian Rute
(*Route Finding/Path Finding*)

Materi Kuliah IF2211 – Strategi Algoritma

Teknik Informatika - ITB

Referensi

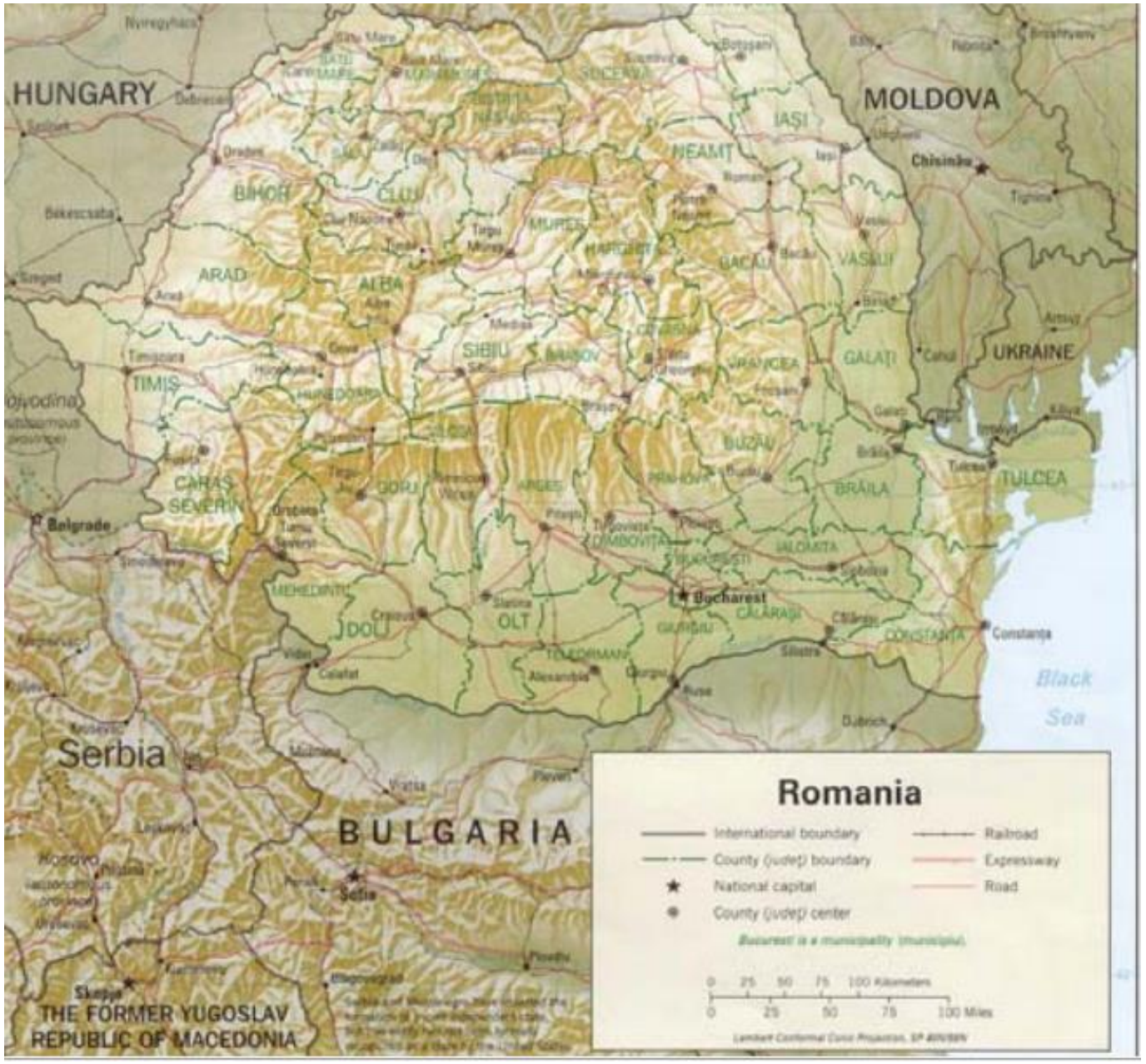
- Materi kuliah IF3170 Inteligensi Buatan Teknik Informatika ITB, Course Website:
  http://kuliah.itb.ac.id → STEI → Teknik Informatika → IF3170

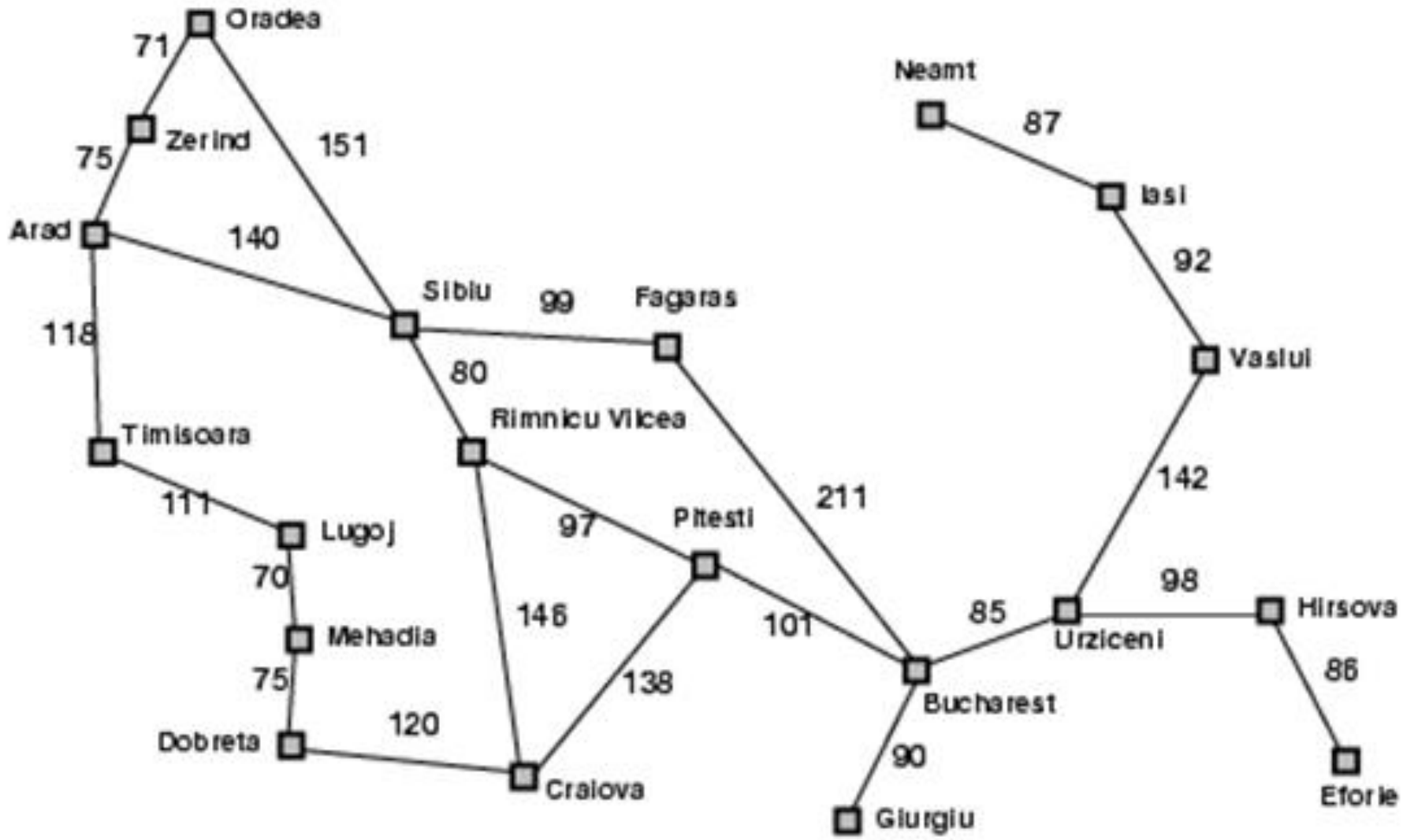
- Stuart J Russell & Peter Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd Edition, Prentice-Hall International, Inc, 2010, Textbook

  Site: http://aima.cs.berkeley.edu/ (2nd edition)

- Free online course materials | MIT OpenCourseWare Website:
  Site: http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/

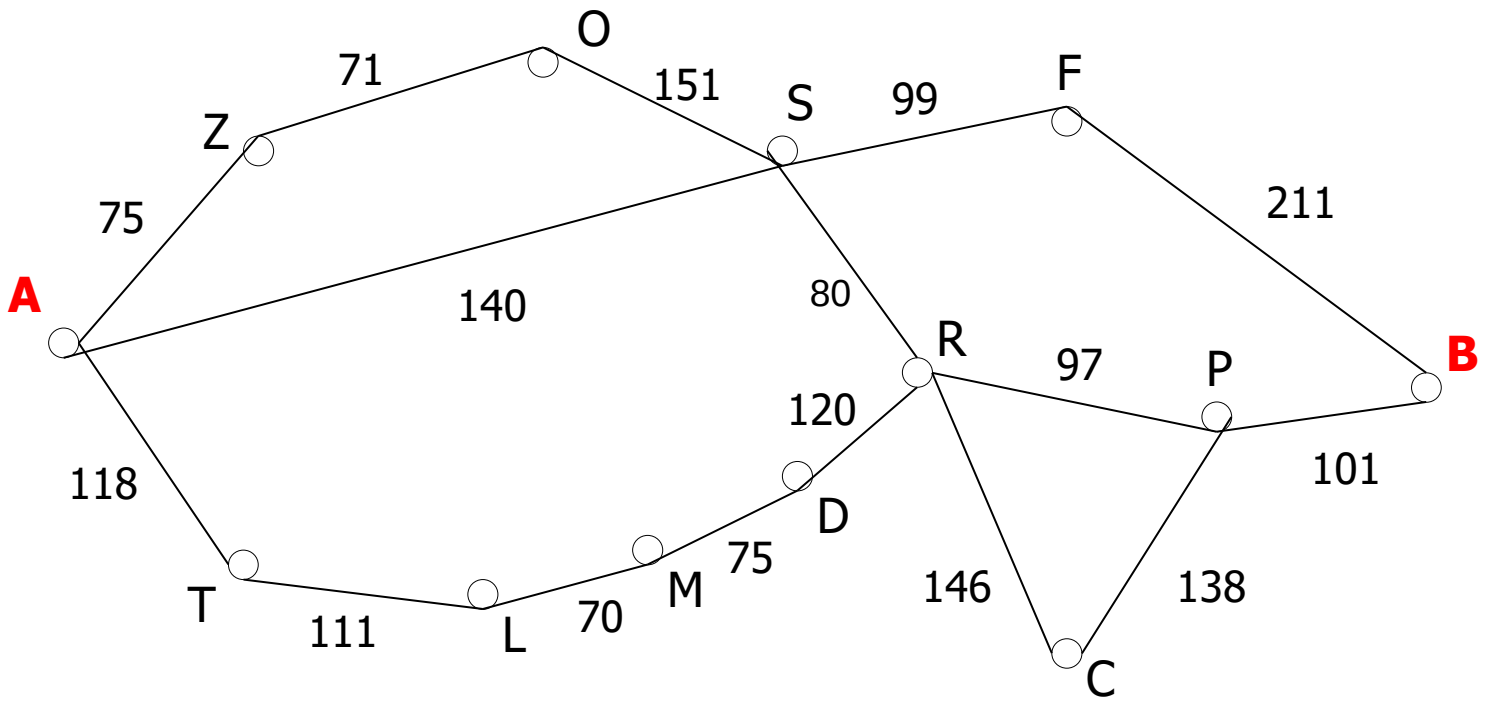
Route Planning




Oradea
71
Neamt
87
Zerind
151
75
Iasi
Arad
140
92
Sibiu
99
Fagaras
118
Vaslui
80
Rimnicu Vilcea
Timiscoara
142
211
111
97
Pitesti
Lugoj
98
70
146
85
Hirsova
Mehadia
101
Urziceni
75
86
138
Bucharest
Dobreta
120
90
Craiova
Eforie
Giurgiu

Source: Russell's book

Search

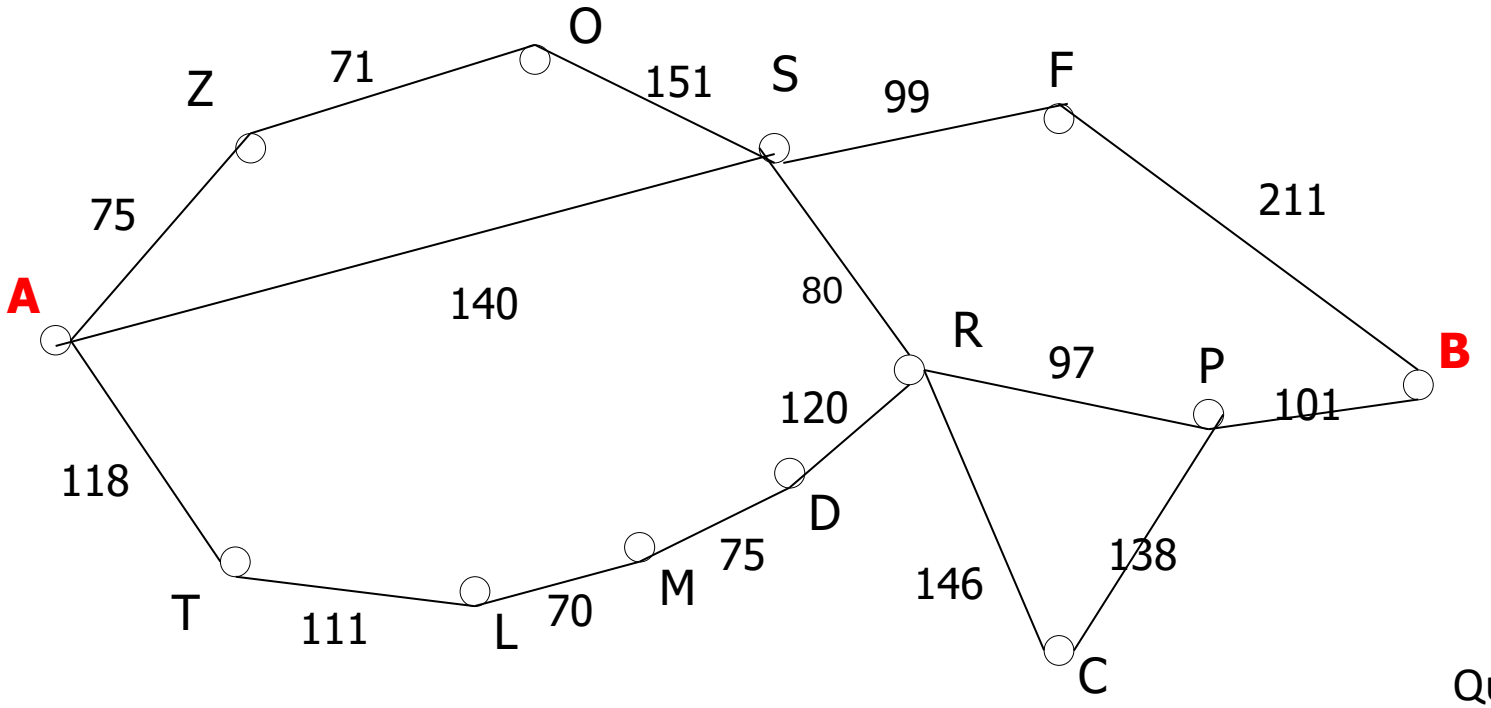


(a part of graph of Romania)

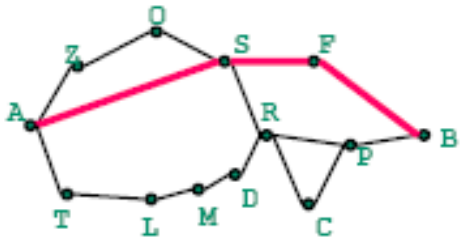
S: set of cities
i.s: A (Arad)
g.s: B (Bucharest)
Goal test: s = B ?
Path cost: time ~ distance

Breadth-First Search (BFS)

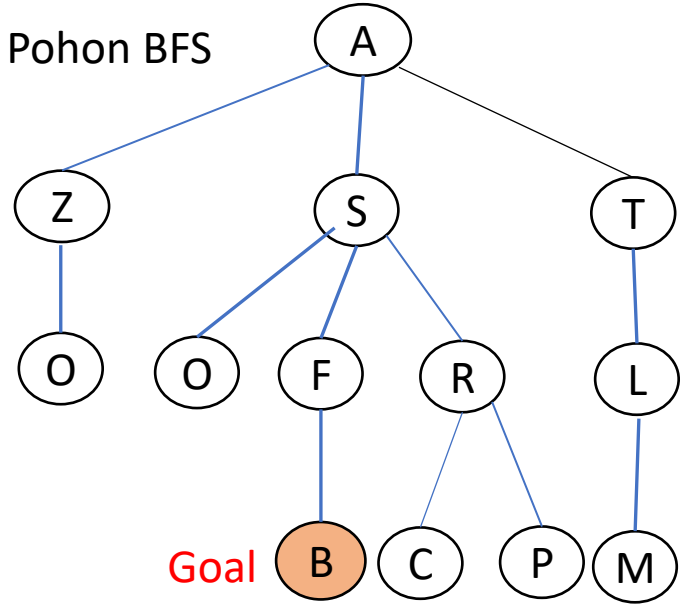
Treat agenda as a queue (FIFO)



Path: A→ S → F → B,
Path-cost = 450



Pohon BFS

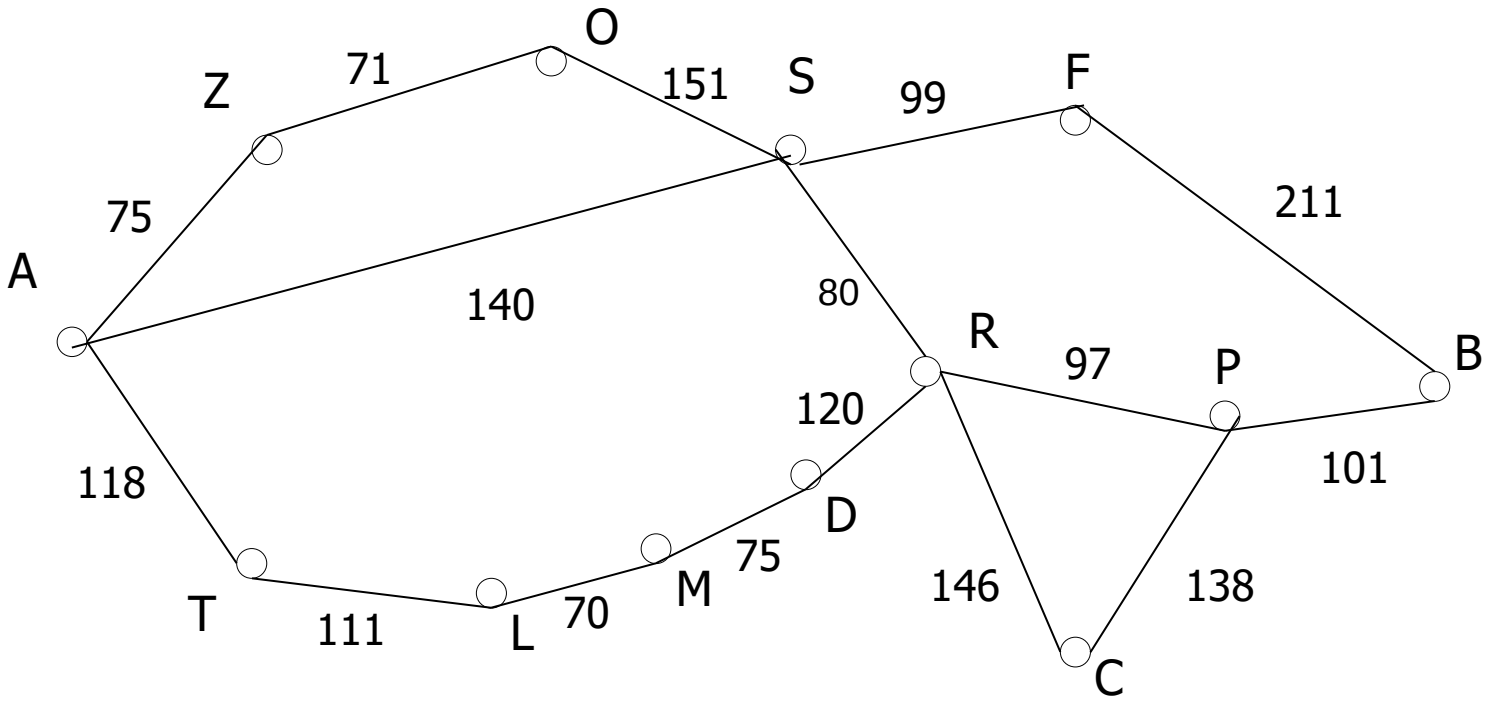


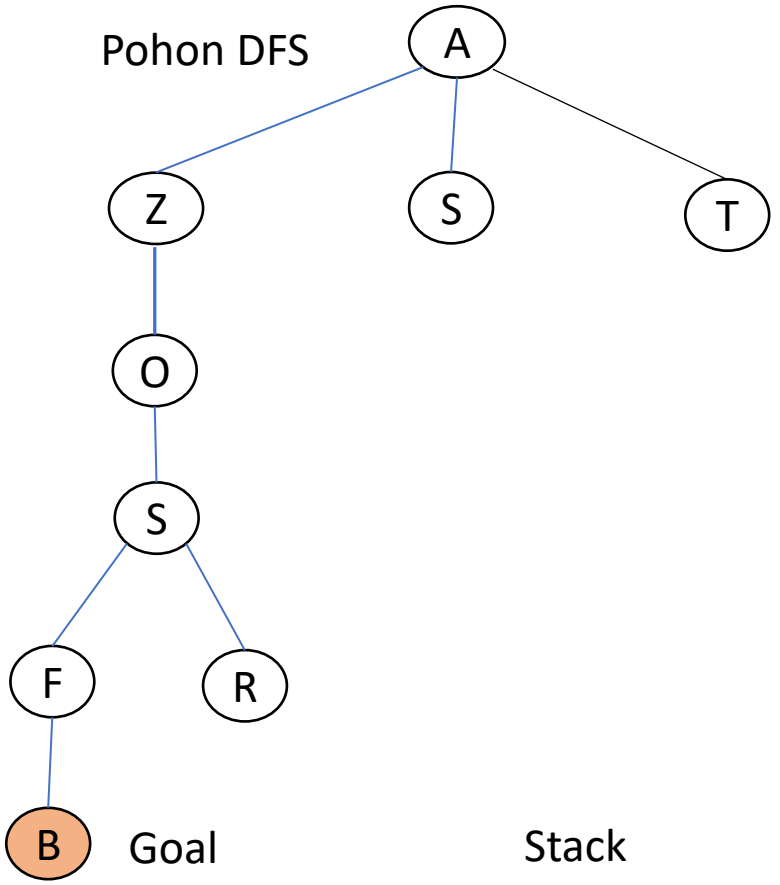
Queue

Simpul-E	Simpul Hidup
A	Z_A,S_A,T_A
Z_A	S_A,T_A,O_{AZ}
S_A	T_A,O_{AZ},O_{AS},F_{AS},R_{AS}
T_A	O_{AZ},O_{AS},F_{AS},R_{AS},L_{AT}
O_{AZ}	O_{AS},F_{AS},R_{AS},L_{AT}
O_{AS}	F_{AS},R_{AS},L_{AT}
F_{AS}	R_{AS},L_{AT},B_{ASF}
R_{AS}	L_{AT},B_{ASF},D_{ASR},C_{ASR},P_{ASR}
L_{AT}	B_{ASF},D_{ASR},C_{ASR},P_{ASR},M_{ATL}
B_{ASF}	Solusi ketemu

Depth-First Search (DFS)

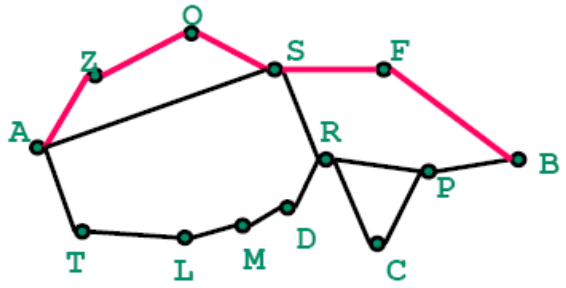
Treat agenda as a stack (LIFO)





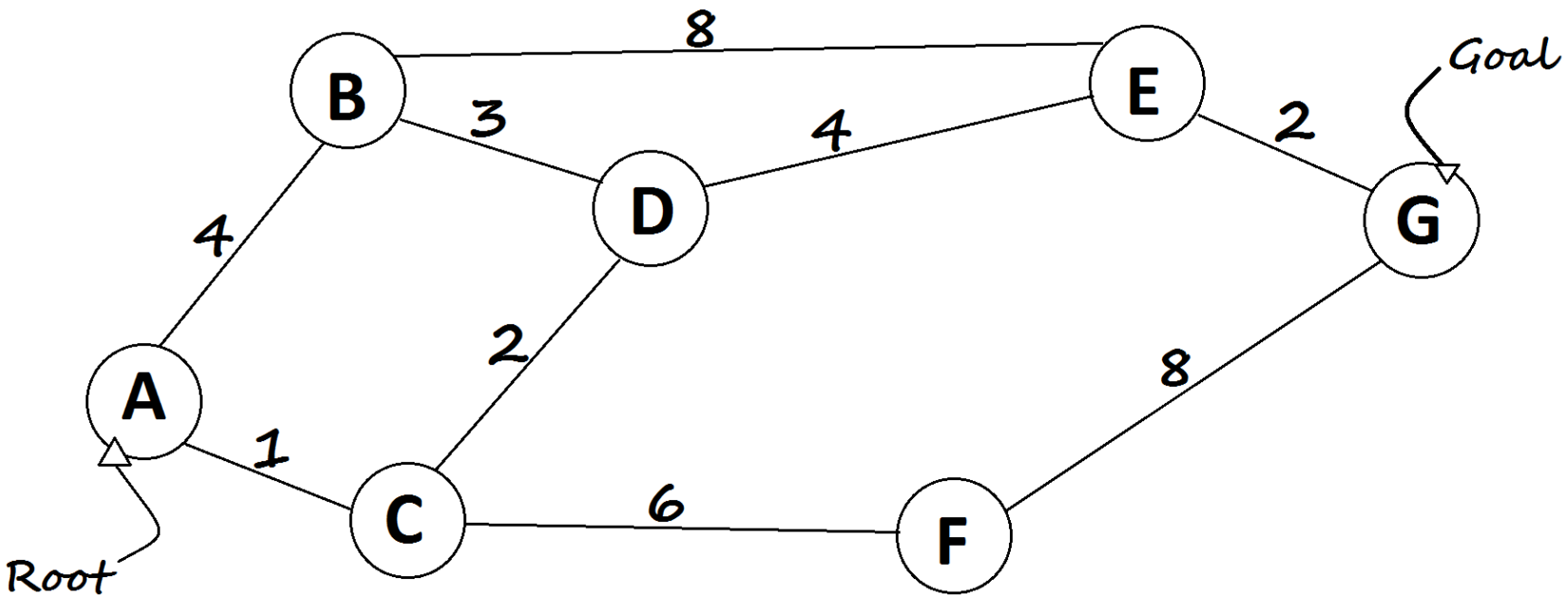
Path: A→ Z → O → S → F → B

Path-cost = 607



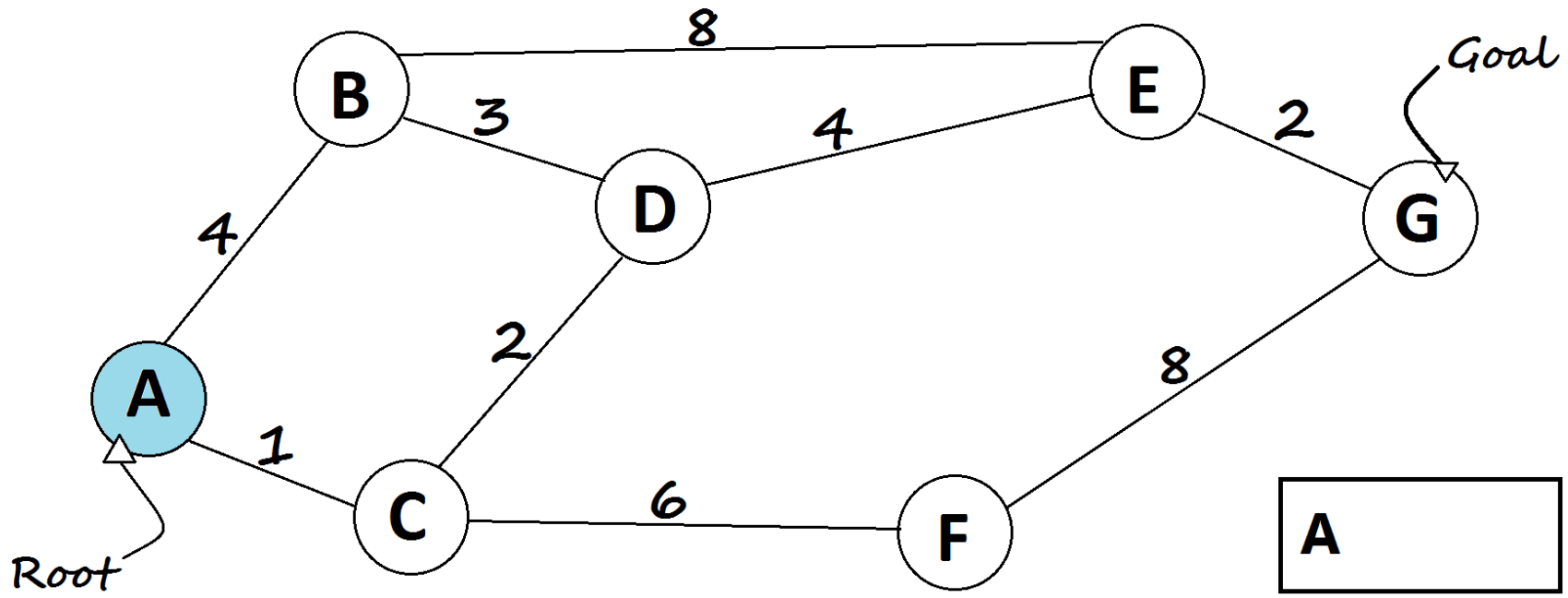
Simpul-E	Simpul Hidup
A	Z_A,S_A,T_A
Z_A	O_{AZ}, S_A,T_A
O_{AZ}	S_{AZO},S_A,T_A
S_{AZO}	F_{AZOS}, R_{AZOS},S_A,T_A
F_{AZOS}	B_{AZOSF}, R_{AZOS},S_A,T_A
B_{AZOSF}	Solusi ketemu

Contoh *path finding* lainnya:



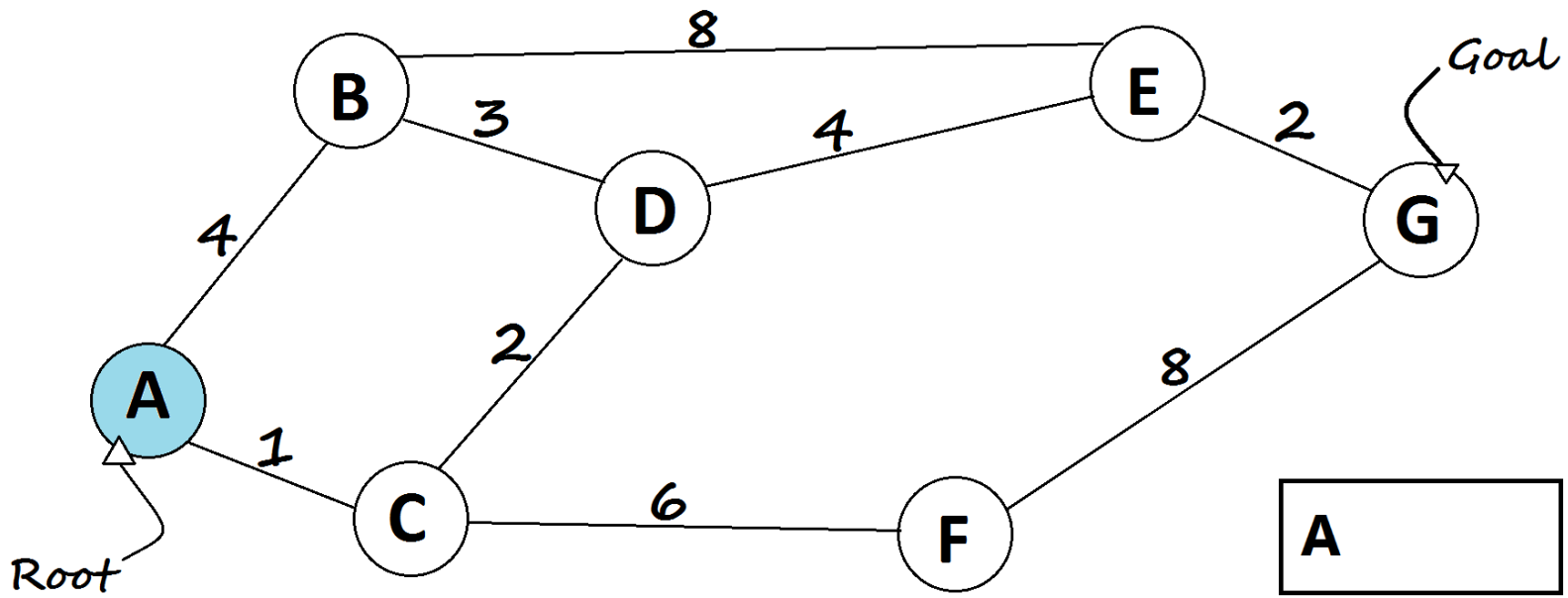
Sumber:https: //medium.com/omarelgabrys-blog/path-finding-algorithms-f65a8902eb40

BFS:



Sumber:https: //medium.com/omarelgabrys-blog/path-finding-algorithms-f65a8902eb40

DFS:



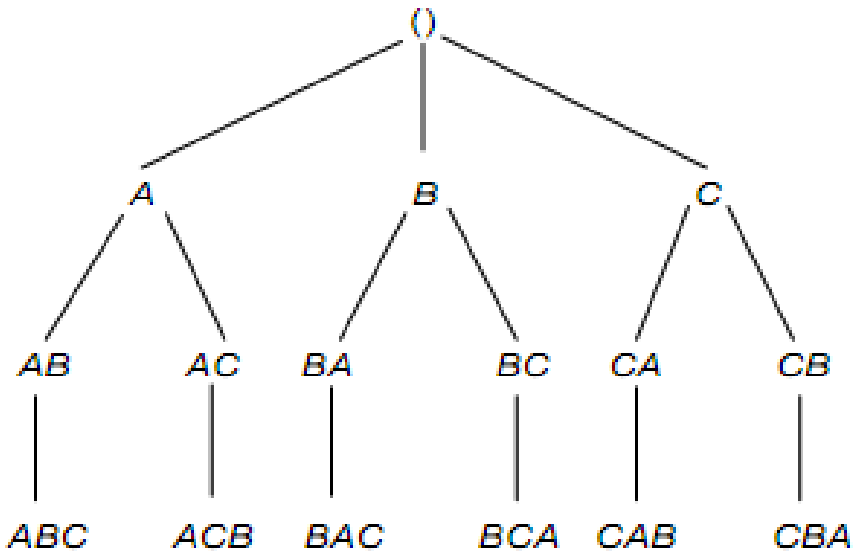
Sumber:https: //medium.com/omarelgabrys-blog/path-finding-algorithms-f65a8902eb40

Graf Dinamis

Pencarian Solusi dengan BFS/DFS

- Menyelesaikan persoalan dengan melakukan pencarian
- Pencarian solusi ≈ pembentukan pohon dinamis
  - Setiap simpul diperiksa apakah solusi (goal) telah dicapai atau tidak. Jika simpul merupakan solusi , pencarian dapat selesai (satu solusi) atau dilanjutkan mencari solusi lain (semua solusi).
- Representasi pohon dinamis:
  - Pohon ruang status (*state space tree*)
  - Simpul: *problem state* (layak membentuk solusi)
    - Akar: *initial state*
    - Daun: *solution/goal state*
  - Cabang: operator/langkah dalam persoalan
  - Ruang status (*state space*): himpunan semua simpul
  - Ruang solusi: himpunan status solusi
- Solusi: path ke status solusi

Pohon Dinamis: Permutasi A,B,C



Ket: () = status kosong

Pohon ruang status

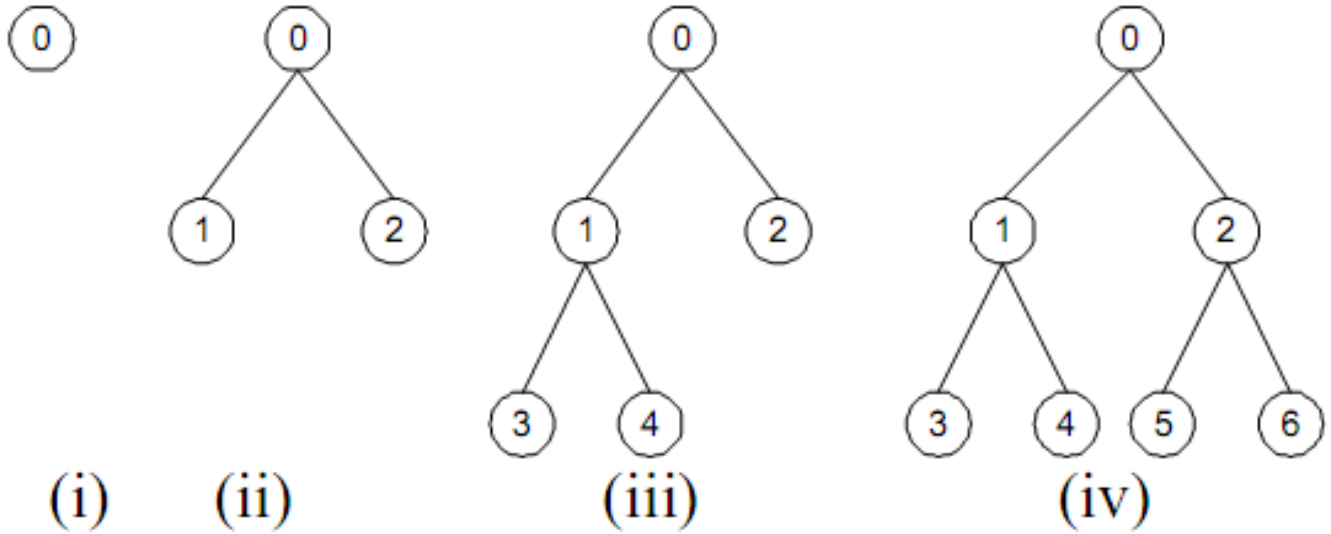
- Operator: add X
- Akar : status awal (status “kosong”)
- Simpul: problem state
  - Status persoalan (*problem state*): simpul-simpul di dalam pohon dinamis yang memenuhi kendala (constraints).
- Daun: status solusi
  - Status solusi (*solution state*): satu atau lebih status yang menyatakan solusi persoalan.
- Ruang solusi:
  - Ruang solusi (*solution space*): himpunan semua status solusi.
- Ruang status (*state space*): Seluruh simpul di dalam pohon dinamis dan pohonnya dinamakan juga pohon ruang status (*state space tree*).

Pembangkitan Status

- Pembangkitan status baru dengan cara mengaplikasikan operator (langkah legal) kepada status (simpul) pada suatu jalur

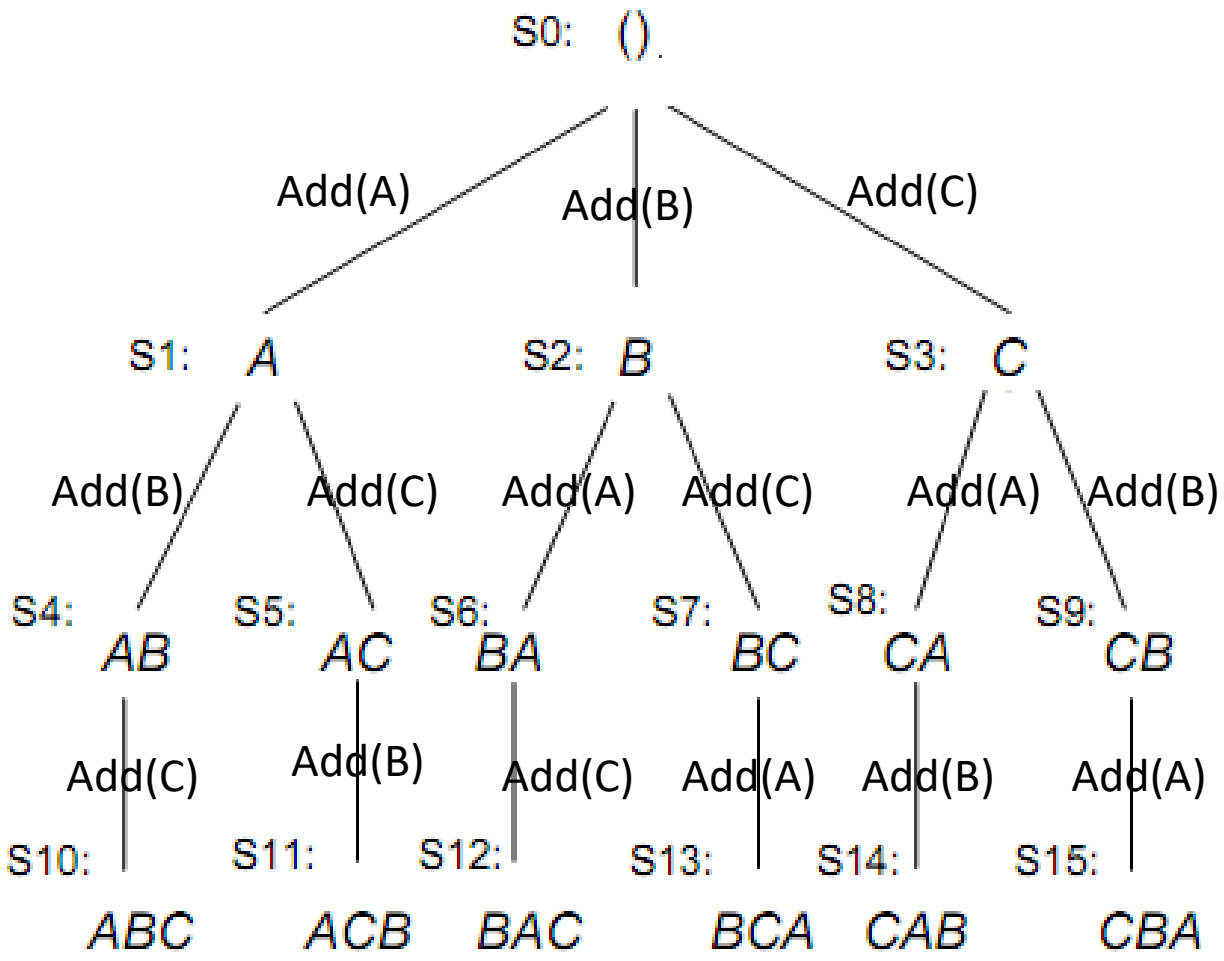
- Jalur dari simpul akar sampai ke simpul (daun) goal berisi rangkaian operator yang mengarah pada solusi persoalan

BFS untuk Pembentukan Pohon Ruang Status



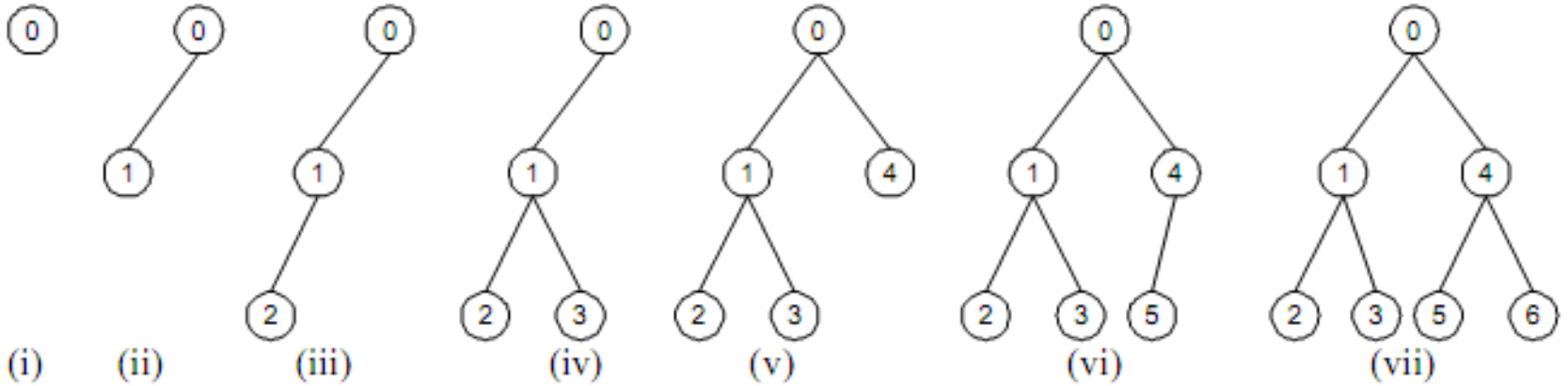
- Inisialisasi dengan status awal sebagai akar, lalu tambahkan simpul anaknya, dst.
- Semua simpul pada level d dibangkitkan terlebih dahulu sebelum simpul-simpul pada level d+1

BFS untuk Permutasi

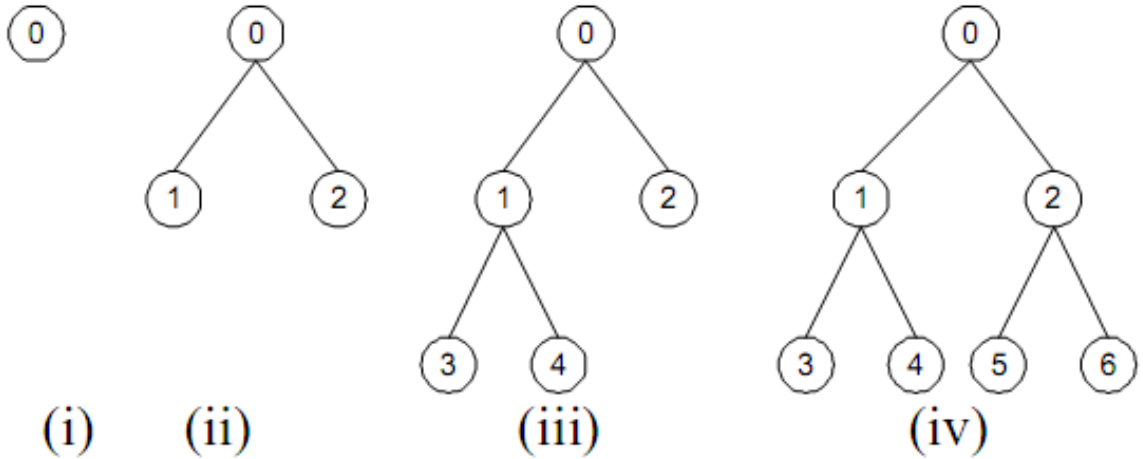


DFS untuk Pembentukan Pohon Ruang Status

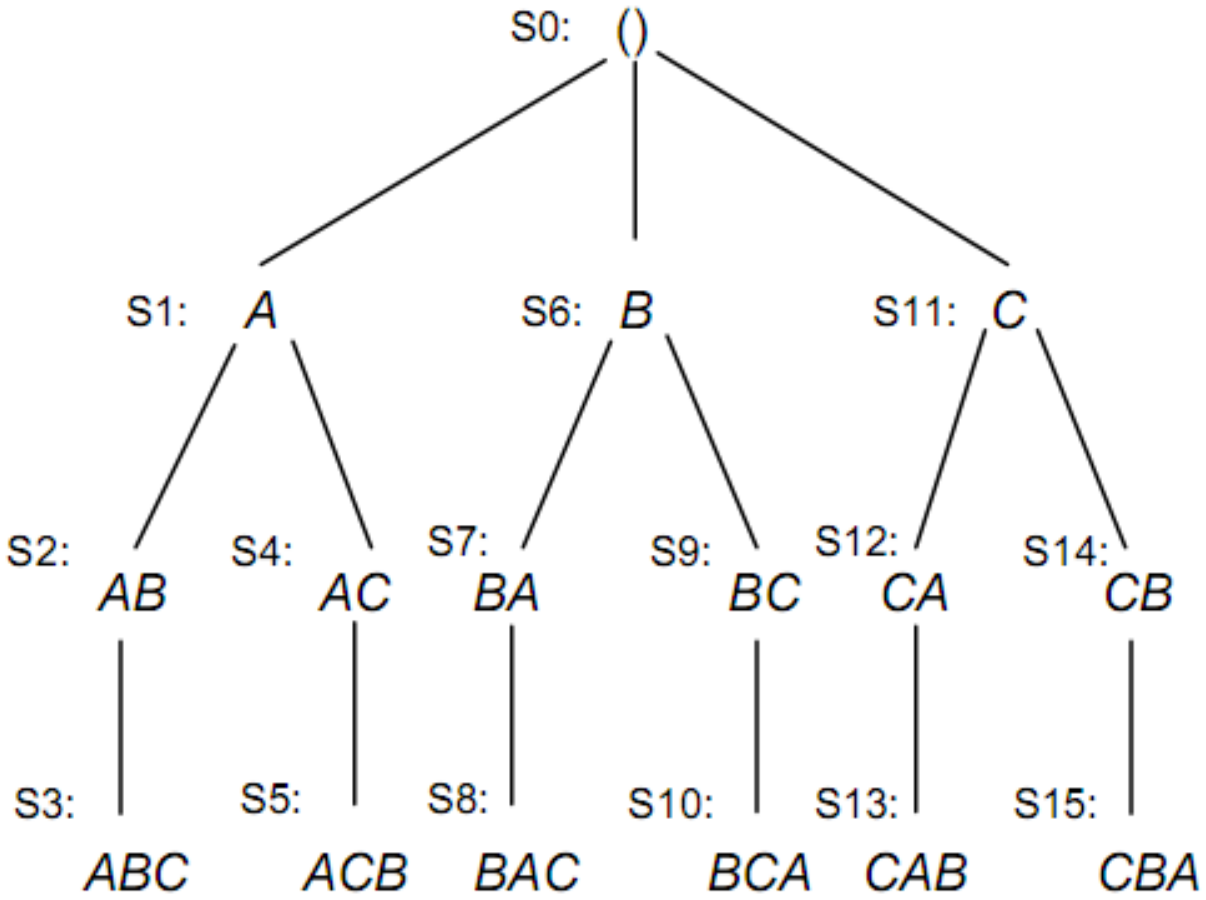
DFS:



BFS:



DFS Permutasi A,B,C

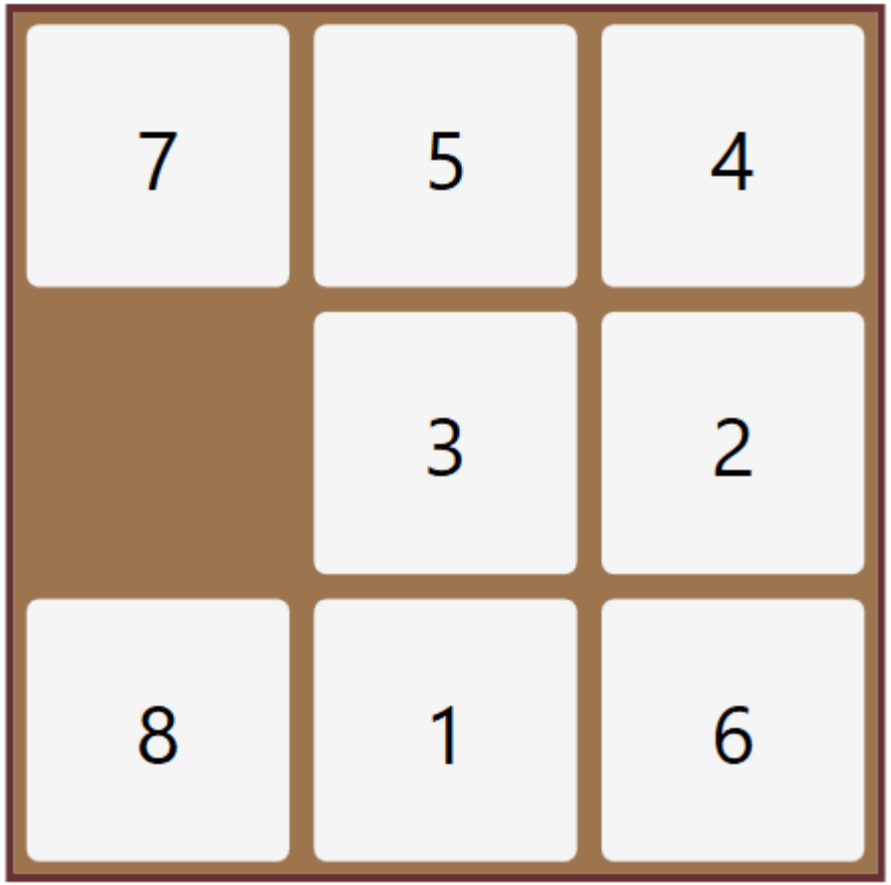


Evaluasi dari Teknik Pencarian

- Aspek untuk melihat seberapa ‘baik’ suatu teknik pencarian
  - *Completeness:* apakah menjamin ditemukannya solusi jika memang ada
  - *Optimality:* apakah teknik menjamin mendapatkan solusi yang optimal *(e.g: lowest path cost)?*
  - *Time Complexity:* waktu yang diperlukan untuk mencapai solusi
  - *Space Complexity:* memory yang diperlukan ketika melakukan pencarian

- Kompleksitas waktu dan ruang diukur dengan menggunakan istilah berikut.
  - *b*: (*branching factor*) maksimum pencabangan yang mungkin dari suatu simpul
  - *d*: (*depth*) kedalaman dari solusi terbaik (*cost* terendah)
  - *m*: maksimum kedalaman dari ruang status (bisa ∞)

Permainan 8-*Puzzle*



2	1	6
4		8
7	5	3

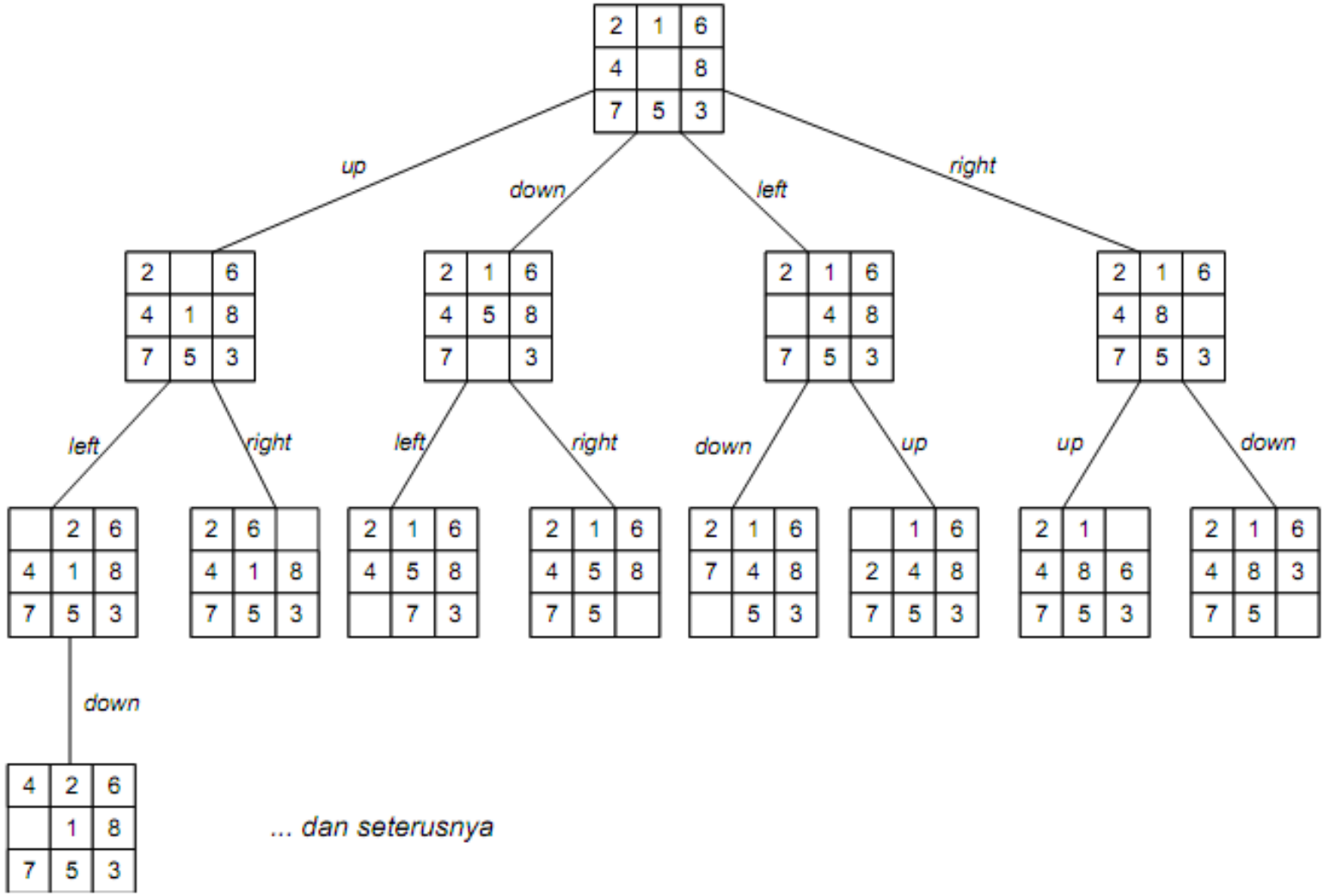
(a) Susunan awal (*initial state*)

1	2	3
8		4
7	6	5

(b) Susunan akhir (*goal state*)

- State berdasarkan ubin kosong (*blank*)
- Operator: *up*, *down*, *left*, *right*

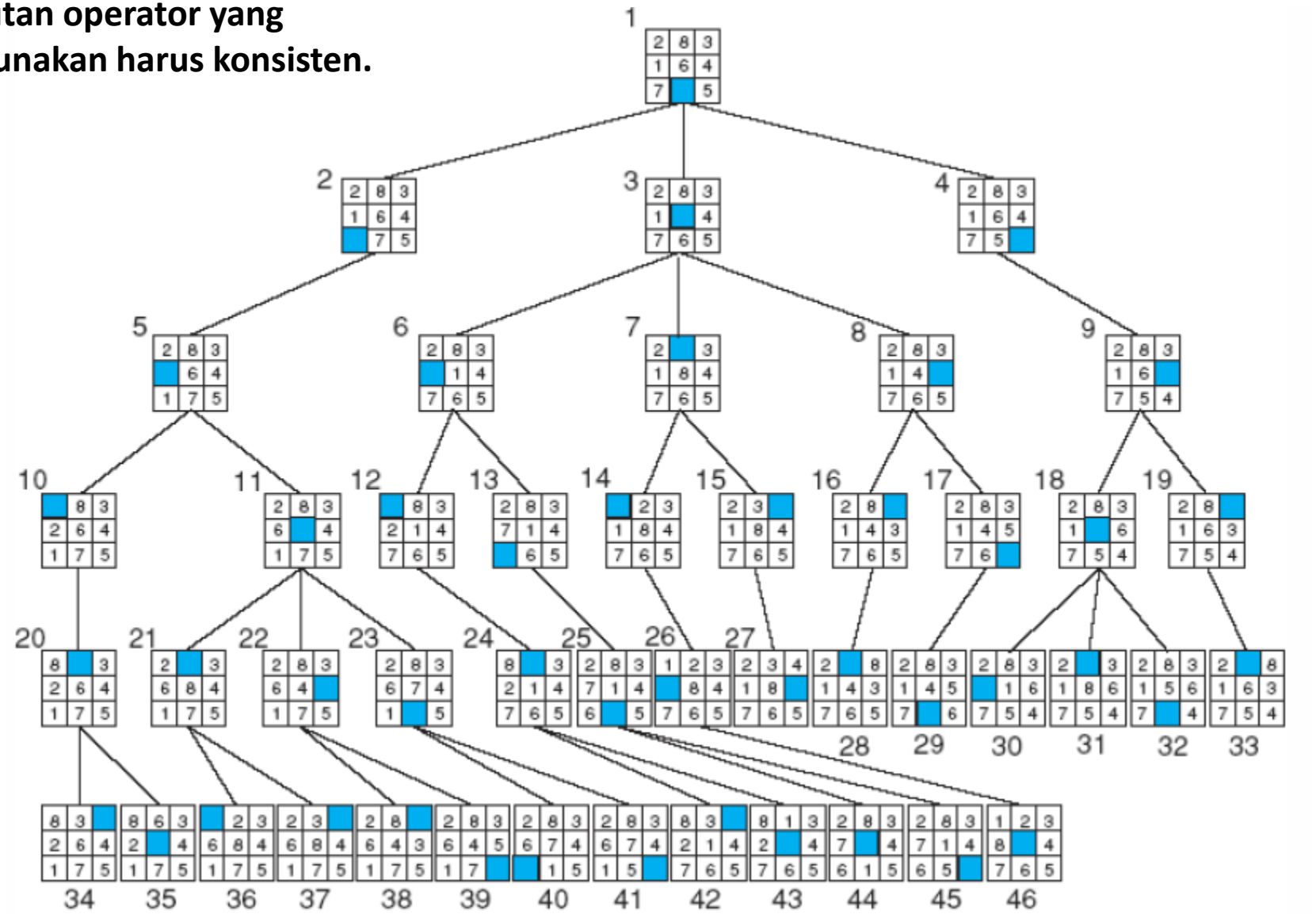
8-Puzzle: Pohon Ruang Status



BFS untuk 8-Puzzle

Catatan:

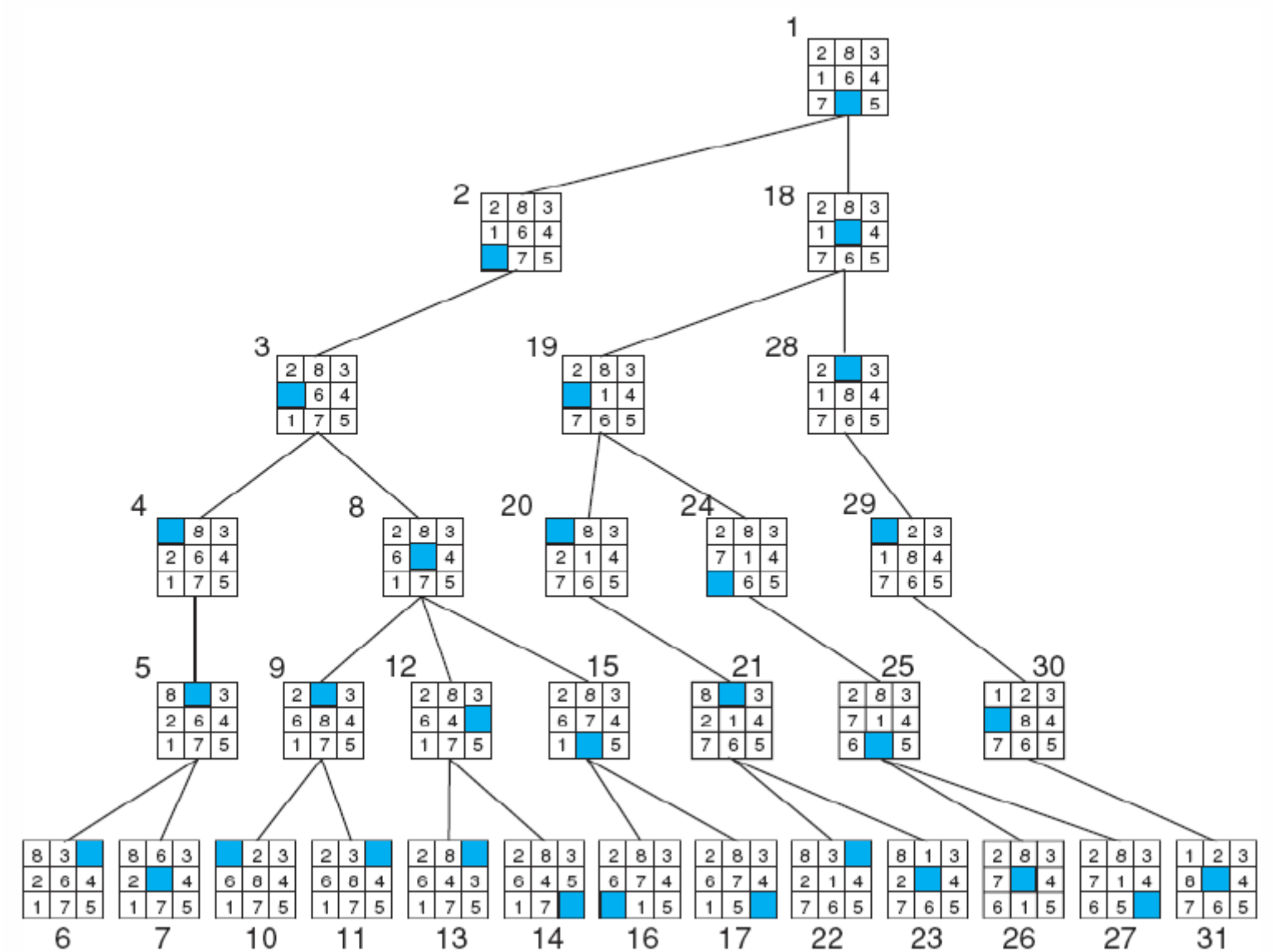
Urutan operator yang digunakan harus konsisten.



Bagaimana property dari BFS?

- *Completeness*?
  - Ya (selama nilai *b* terbatas)
- Optimality?
  - Ya, jika langkah = biaya
- Kompleksitas waktu:
  - $1+b+b^2+b^3+\ldots+b^d = O(b^d)$
- Kompleksitas ruang:
  - $O(b^d)$
- Kurang baik dalam kompleksitas ruang

DFS untuk 8-Puzzle



Bagaimana property dari DFS?

- *Completeness*?
  - Ya (selama nilai *b* terbatas, dan ada penanganan '*redundant paths*' dan '*repeated states*')
- *Optimality*?
  - Tidak
- Kompleksitas waktu:
  - O(b^m)
- Kompleksitas ruang:
  - O(*bm*)

- Kurang baik dalam kompleksitas waktu, lebih baik dalam kompleksitas ruang

Aplikasi *Backtracking* di dalam DFS untuk Pencarian Solusi

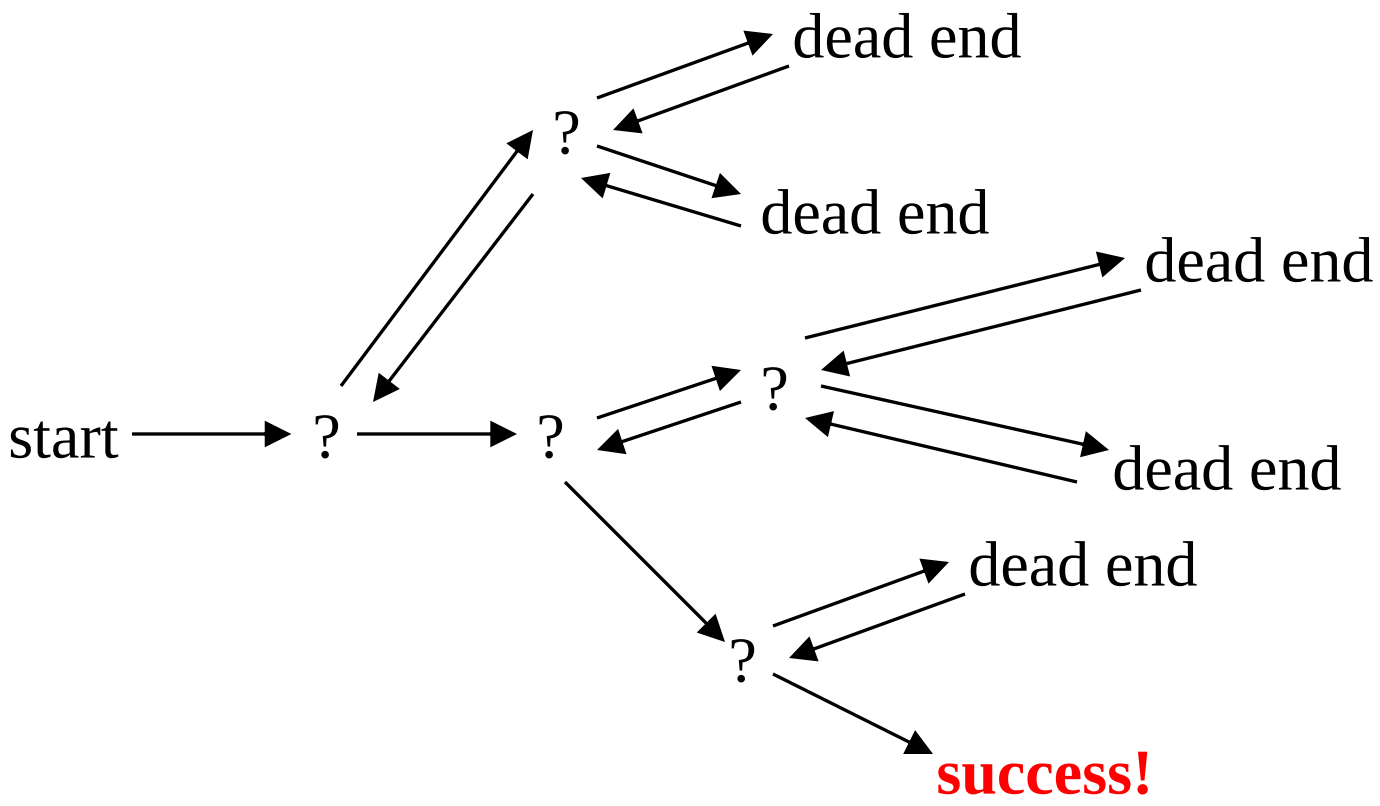
- Karakteristik *backtracking* di dalam algoritma DFS berguna untuk memecahkan persoalan pencarian solusi yang memiliki banyak alternatif pilihan selama pencarian.

- Solusi diperoleh dengan mengekspansi pencarian menuju *goal* dengan aturan "depth-first"
  - Anda tidak punya cukup informasi untuk mengetahui apa yang akan dipilih
  - Tiap keputusan mengarah pada sekumpulan pilihan baru
  - Beberapa sekuens pilihan (bisa lebih dari satu) mungkin merupakan solusi persoalan

- Backtracking di dalam algoritma DFS adalah cara yang metodologis mencoba beberapa sekuens keputusan,

- sampai Anda menemukan sekuens yang "bekerja"

Animasi *Backtracking* *)



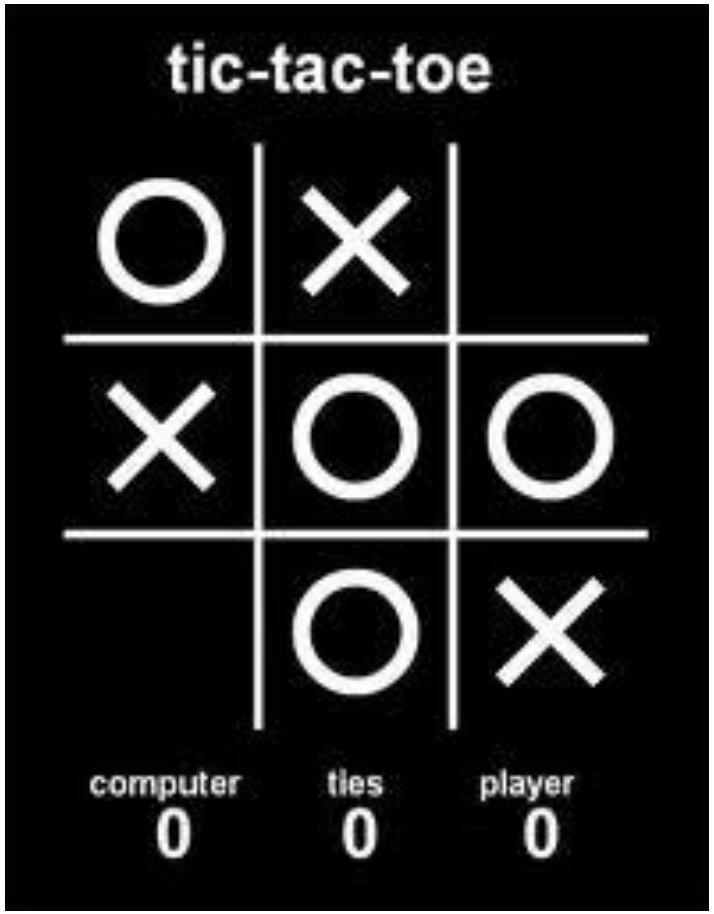
*) Sumber: *www.cis.upenn.edu/.../35-**backtracking**.ppt*

- Backtracking di dalam algoritma DFS banyak diterapan untuk mencari solusi persoalan games seperti:

  - permainan *tic-tac-toe*,
  - menemukan jalan keluar dalam sebuah labirin,
  - Catur, *crossword puzzle*, *sudoku*, dan masalah-masalah pada bidang kecerdasan buatan (*artificial intelligence*).

Crossword puzzle:

Tic-Tac-Toe



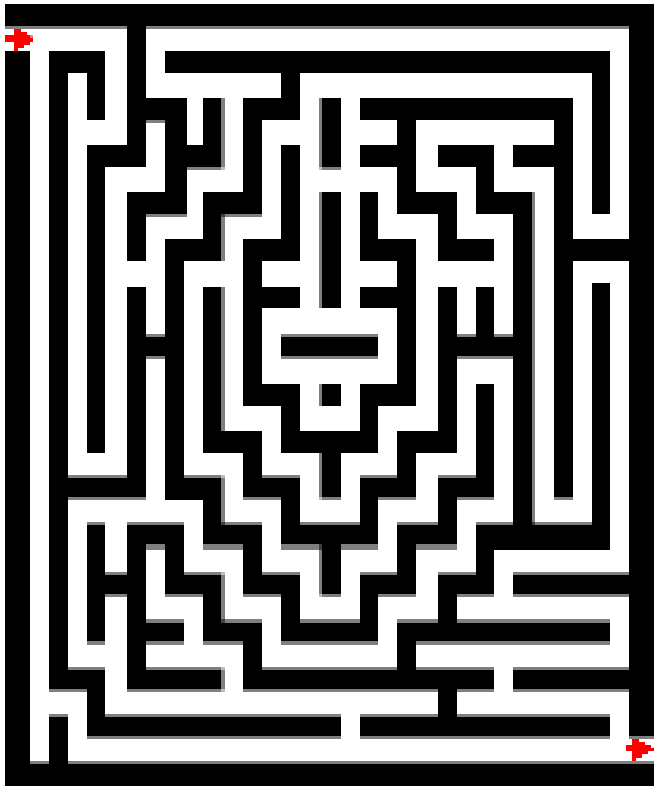
Sudoku

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

Catur

Maze Problem

Diberikan sebuah labirin (*maze*), temukan lintasan dari titik awal sampai titik akhir



- Pada tiap perpotongan, anda harus memutuskan satu diantara tiga pilihan:
  - Maju terus
  - Belok kiri
  - Belok kanan

- Anda tidak punya cukup informasi untuk memilih pilihan yang benar (yang mengarah ke titik akhir)

- Tiap pilihan mengarah ke sekumpulan pilihan lain

- Satu atau lebih sekuens pilihan mengarah ke solusi.

Penyelesaian Maze Problem dengan DFS:

- Bagi lintasan menjadi sederetan langkah.
- Sebuah langkah terdiri dari pergerakan satu unit sel pada arah tertentu.
- Arah yang mungkin: lurus (*straight*), kiri (*left*), ke kanan (*right*).

Garis besar algoritma DFS:

```
while belum sampai pada tujuan do
  if terdapat arah yang benar sedemikian sehingga kita belum pernah
     berpindah ke sel pada arah tersebut
  then
     pindah satu langkah ke arah tersebut
  else
     backtrack langkah sampai terdapat arah seperti yang disebutkan
     di atas
  endif
endwhile
```

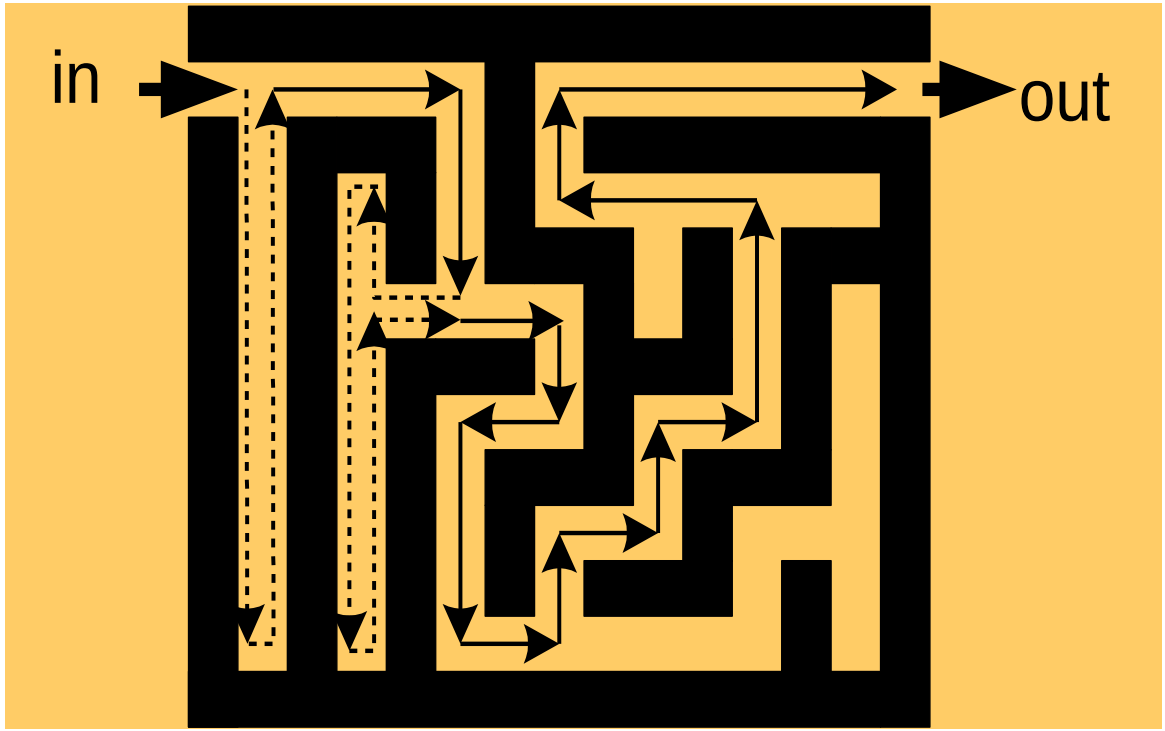
- Bagaimana mengetahui langkah yang mana yang perlu dijejaki kembali?

- Ada dua solusi untuk masalah ini:
  1. Simpan semua langkah yang pernah dilakukan, atau
  2. gunakan rekursi (yang secara implisit menyimpan semua langkah).

- Rekursi adalah solusi yang lebih mudah.

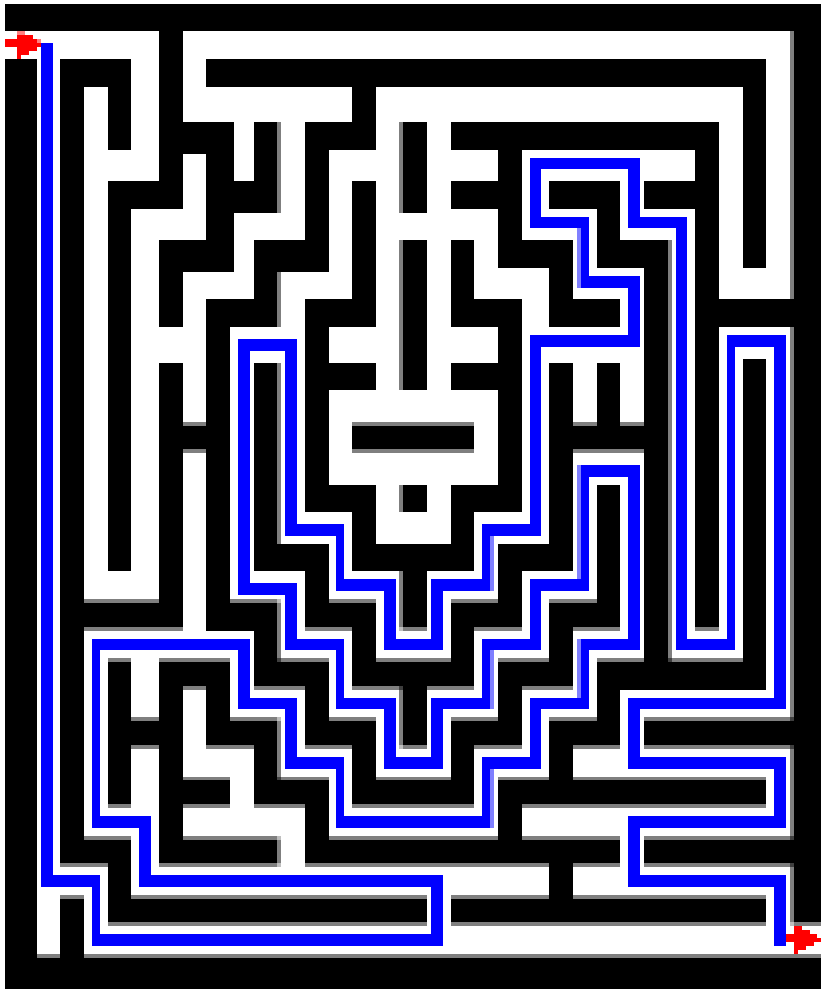
```
Depth-First-Search-Kickoff( Maze m )
    Depth-First-Search( m.StartCell )
End procedure

Depth-First-Search( MazeCell c )
    If c is the goal
        Exit
    Else
        Mark c "Visit In Progress"
        Foreach neighbor n of c
            If n "Unvisited"
                Depth-First-Search( n )
        Mark c "Visited"
End procedure
```

{Source: https://courses.cs.washington.edu/courses/cse326/03su/homework/hw3/dfs.html}



Contoh runut-balik pada sebuah labirin. Runut-balik diperlihatkan dengan garis putus-putus.

Contoh lainnya:



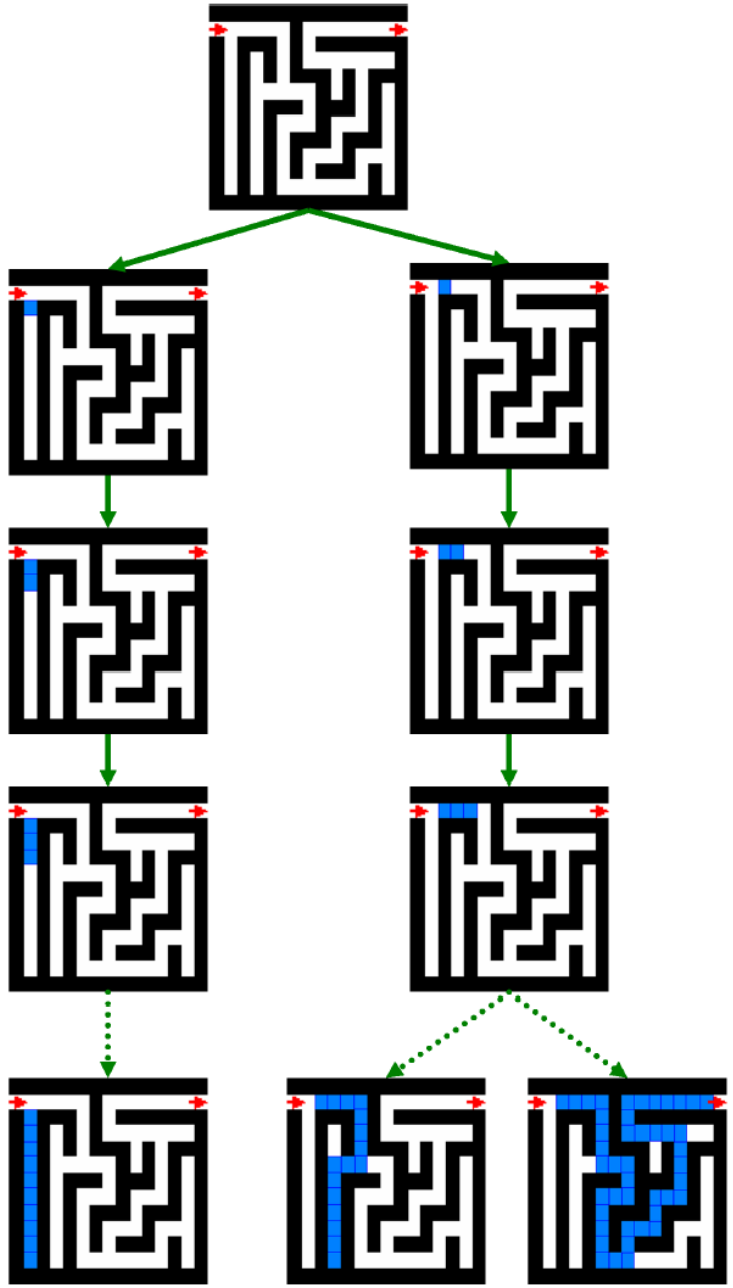
Jika kita menggambarkan sekuens pilihan yang kita lakukan, maka diagram berbentuk seperti pohon.

Simpul daun merupakan:

1. Titik *backtrack*, atau
2. Simpul *goal*

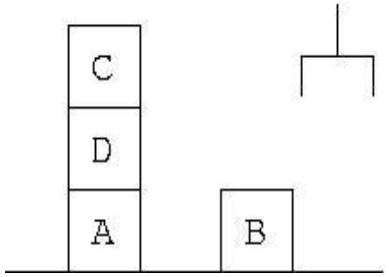
Pada titik *backtrack*, simpul tersebut menjadi mati (tidak bisa diekspansi lagi)

Aturan pembentukan simpul: DFS

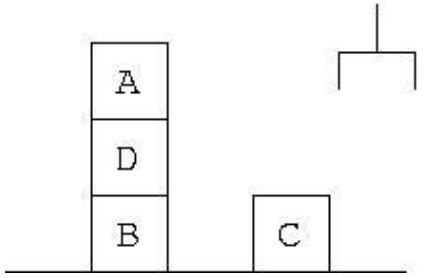


Block World Problem
(Soal UTS 2018)

- Terdapat beberapa buah balok berbentuk kubus yang ditempatkan di atas meja atau di atas balok yang lain sehingga membentuk sebuah kofigurasi. Sebuah robot yang memiliki lengan bercapit harus memindahkan balok-balok kubus tersebut sehingga membentuk konfigurasi lain dengan jumlah perpindahan yang minimum. Persyaratannya adalah hanya boleh memindahkan satu balok setiap kali ke atas balok lain atau ke atas meja. Gambarkan pohon ruang status pencarian solusi secara BFS dan DFS untuk *initial state* dan *goal state* di bawah ini. Setiap status digambarkan sebagai tumpukan balok kubus setelah pemindahan satu balok. Beri nomor setiap status sesuai aturan BFS dan DFS. Hitung berapa banyak status yang dibangkitkan sampai ditemukan *goal state.*



Initial state

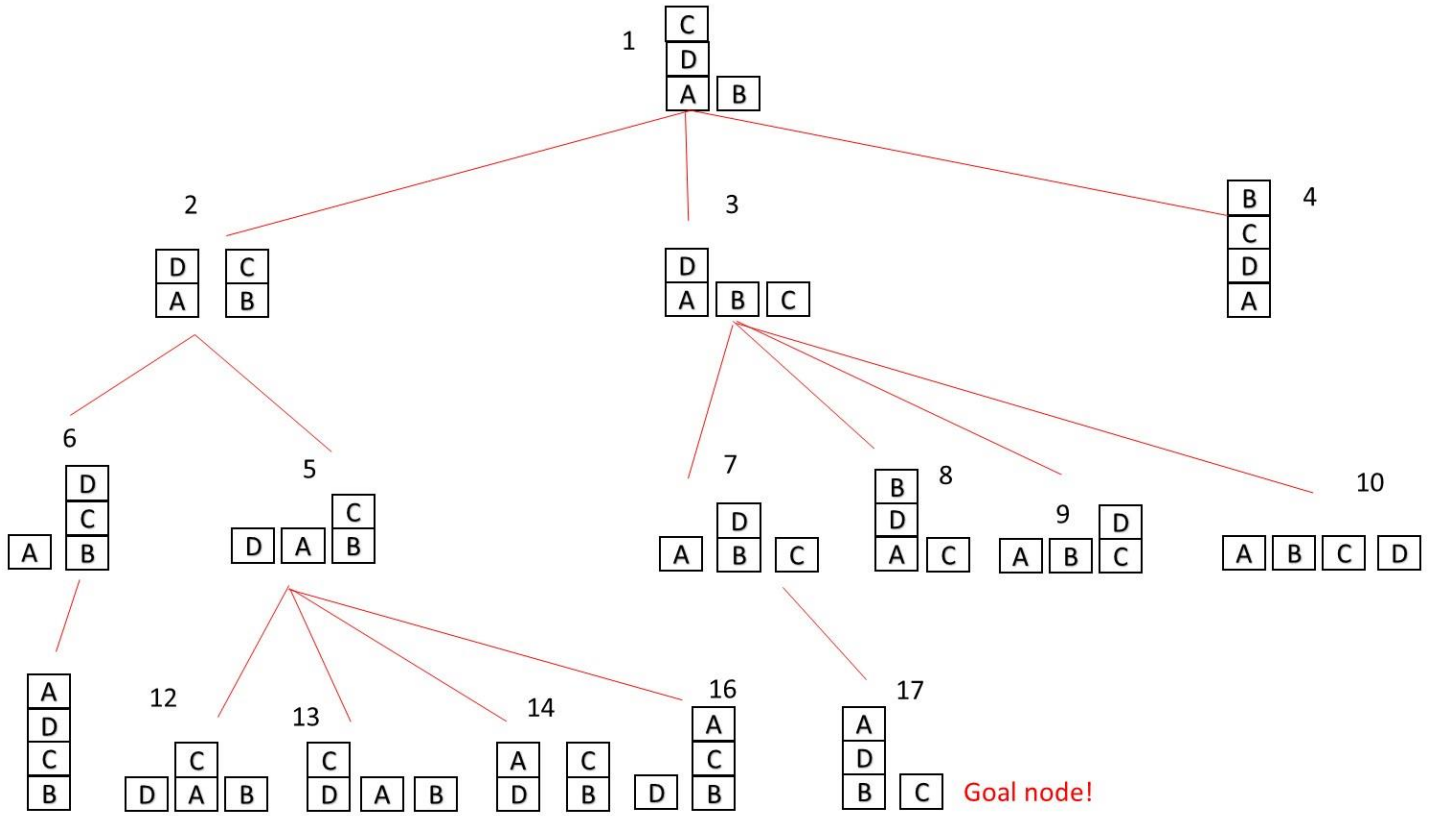


Goal state

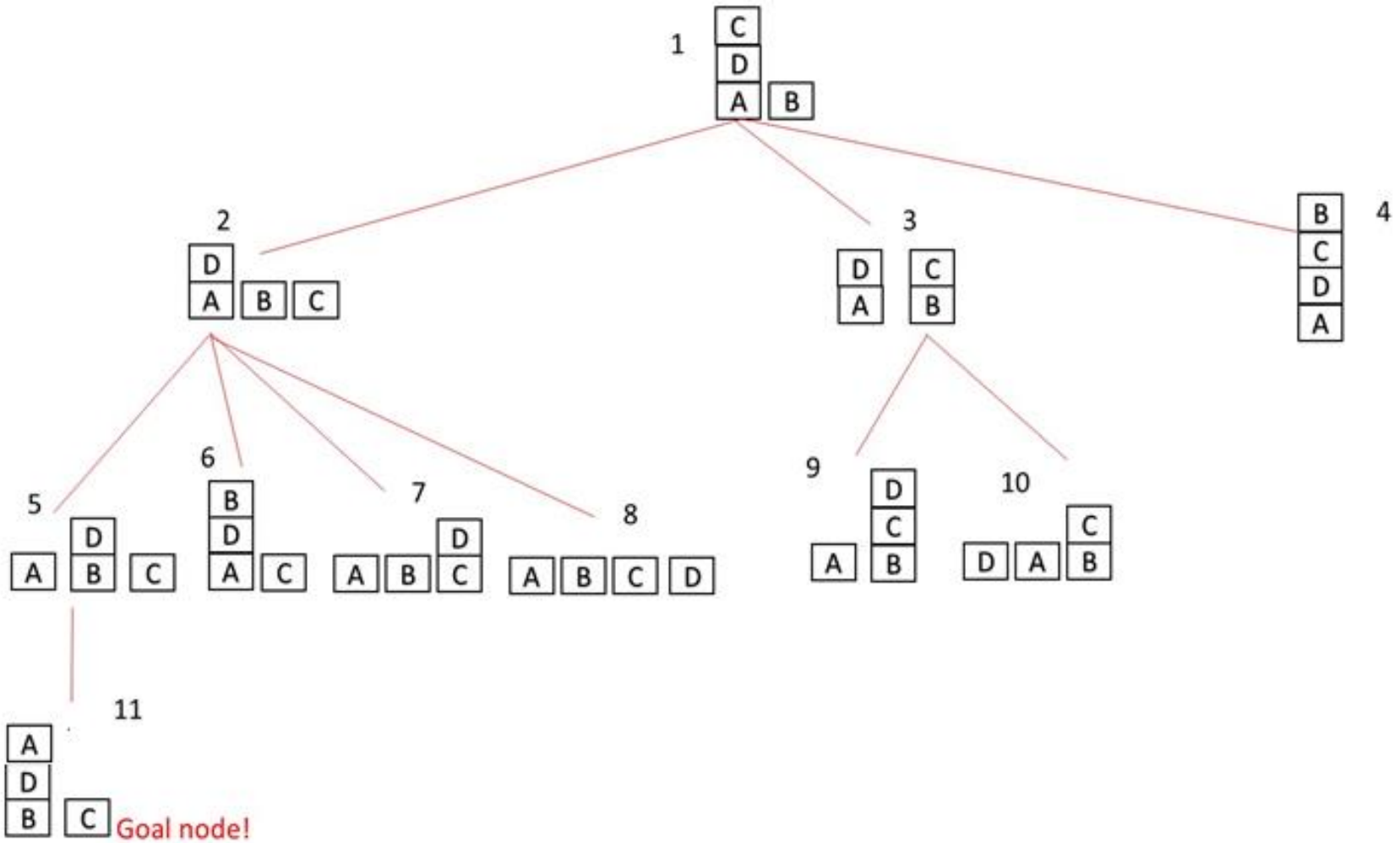
Penyelesaian:

(a) BFS

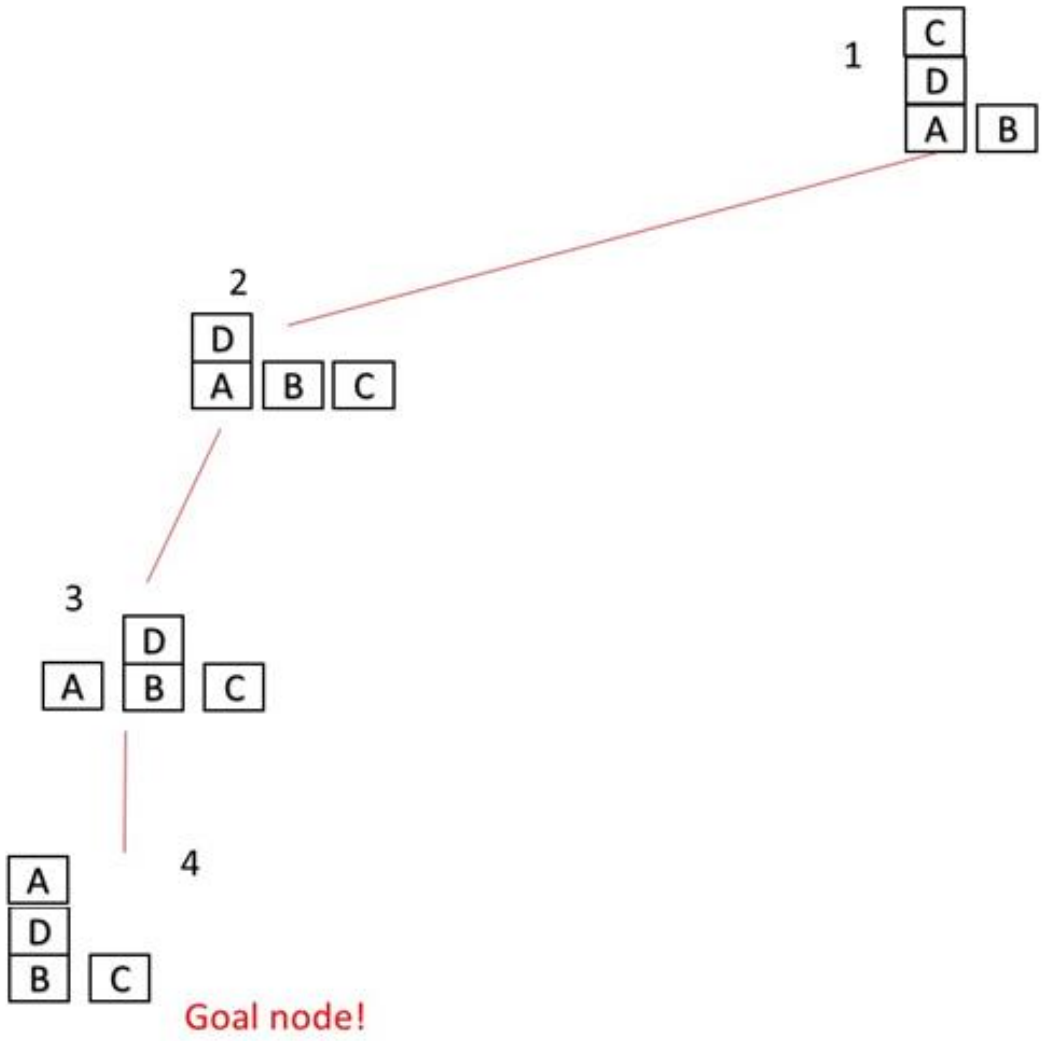
Salah satu kemungkinan solusi:



Kemungkinan lain:

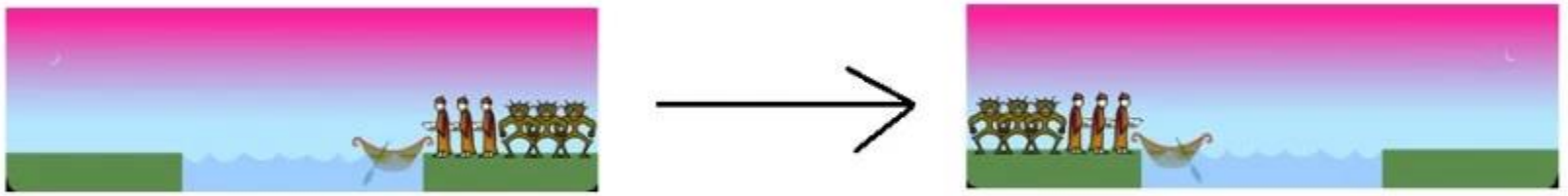


(b) DFS



Persoalan Missionaris dan Kanibal

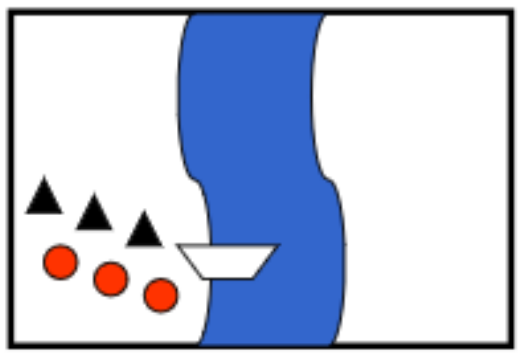
- Terdapat 3 misionaris dan 3 kanibal yang harus menyebrang ke sisi sungai menggunakan sebuah perahu. Perahu hanya boleh berisi penumpang maksimal 2 orang. Jumlah kanibal tidak boleh lebih banyak dari jumlah misionaris di salah satu sisi, jika tidak maka misionaris akan dimakan oleh kanibal.



- Bagaimana menyeberangkan keenam orang tadi sehingga semuanya selamat sampai di sisi sungai seberangnyya? Selesaikan dengan BFS dan DFS

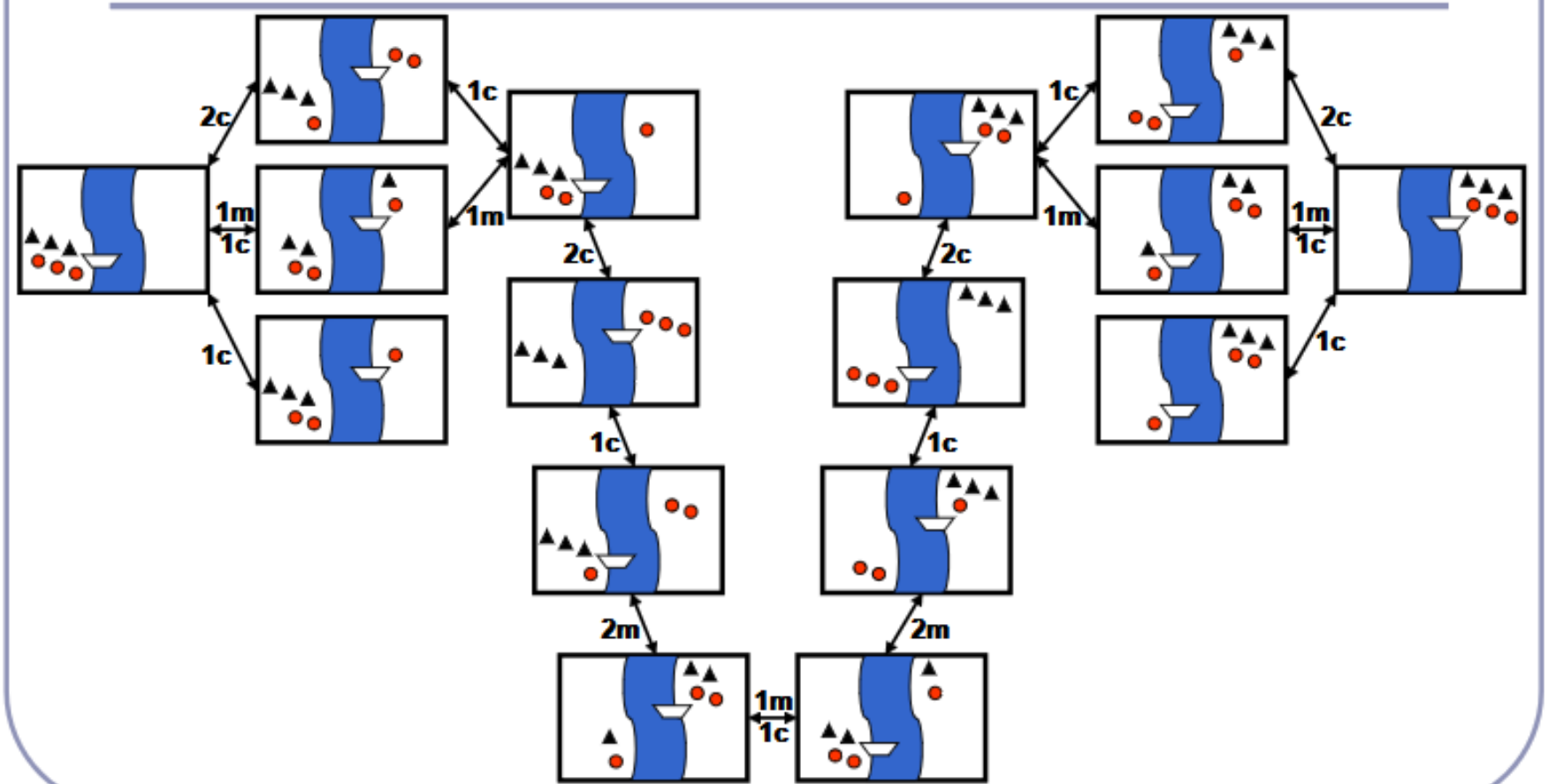
Missionaries and Cannibals: Initial State and Actions

- initial state:
  - all missionaries, all cannibals, and the boat are on the left bank

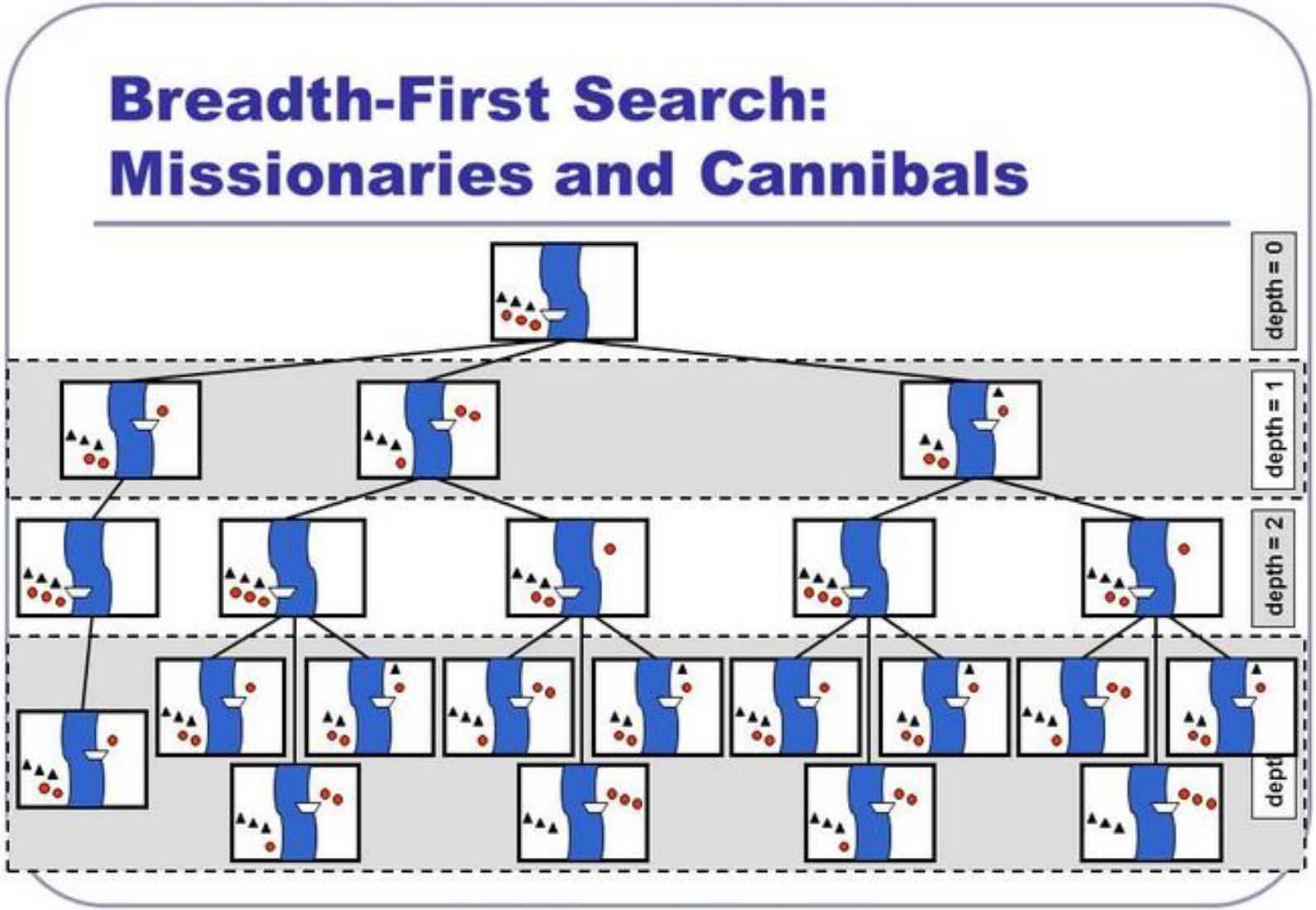


- 5 possible actions:
  - one missionary crossing
  - one cannibal crossing
  - two missionaries crossing
  - two cannibals crossing
  - one missionary and one cannibal crossing

Missionaries and Cannibals: State Space



Sebagian pohon ruang status dengan BFS



Algoritma Pencarian Lainnya

- Depth-limited search
- Iterative deepening search

Depth-Limited Search

- BFS: dijamin menemukan path dgn langkah minimum tapi membutuhkan ruang status yang besar

- DFS: efisien, tetapi tidak ada jaminan solusi dgn langkah minimum
  - DFS dapat memilih langkah yang salah, sehingga path panjang bahkan infinite. Pemilihan langkah sangat penting

- Salah satu solusi: DFS-limited search
  - DFS dengan pembatasan kedalaman sampai l
  - Simpul pada level l dianggap tidak memiliki successor
  - Masalah: penentuan batas level ($\geq$ shallowest goal)

DLS Algorithm

```
Function DLS (problem, limit)
→rec_DLS(make_node(init_state),problem,limit)

Function Rec_DLS (node,problem, limit)
  if isGoal(node) then → solution(node)
  else if depth(node)=limit then → cutoff
  else
       for each successor in Expand(node,problem) do
         result ←rec_DLS(successor,problem,limit)
         if result=cutoff then cutoff_occured← true
         else if result≠failure then → result
  if cutoff_occured then → cutoff
  else → failure
```

Bagaimana property dari DLS?

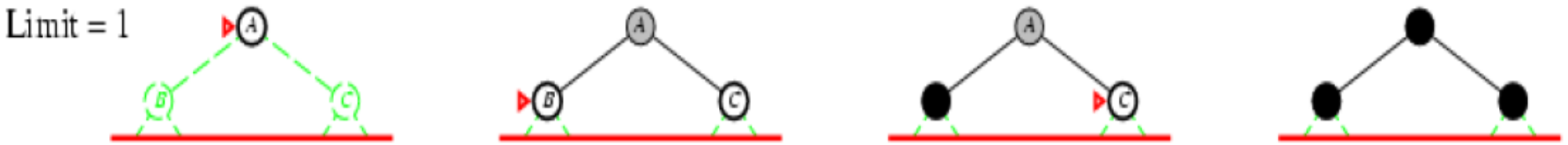
- *Completeness*?
  - Tidak
- *Optimality*?
  - Tidak
- Kompleksitas waktu:
  - $O(b^l)$
- Kompleksitas ruang:
  - $O(bl)$

Iterative Deepening Search (IDS)

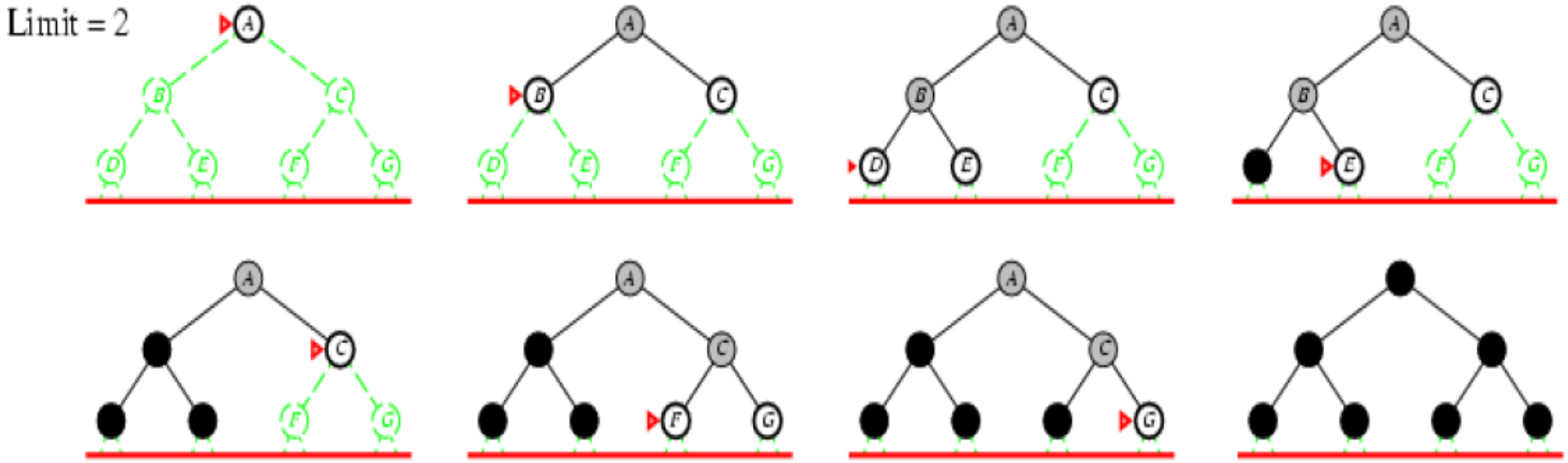
- IDS: melakukan serangkaian DFS, dengan peningkatan nilai kedalaman-cutoff, sampai solusi ditemukan
- Asumsi: simpul sebagian besar ada di level bawah, sehingga tidak menjadi persoalan ketika simpul pada level-level atas dibangkitkan berulang kali

```
Depth ← 0
Iterate
  result← DLS(problem,depth)
stop: result ≠ cutoff
  depth← depth+1
→ result
```

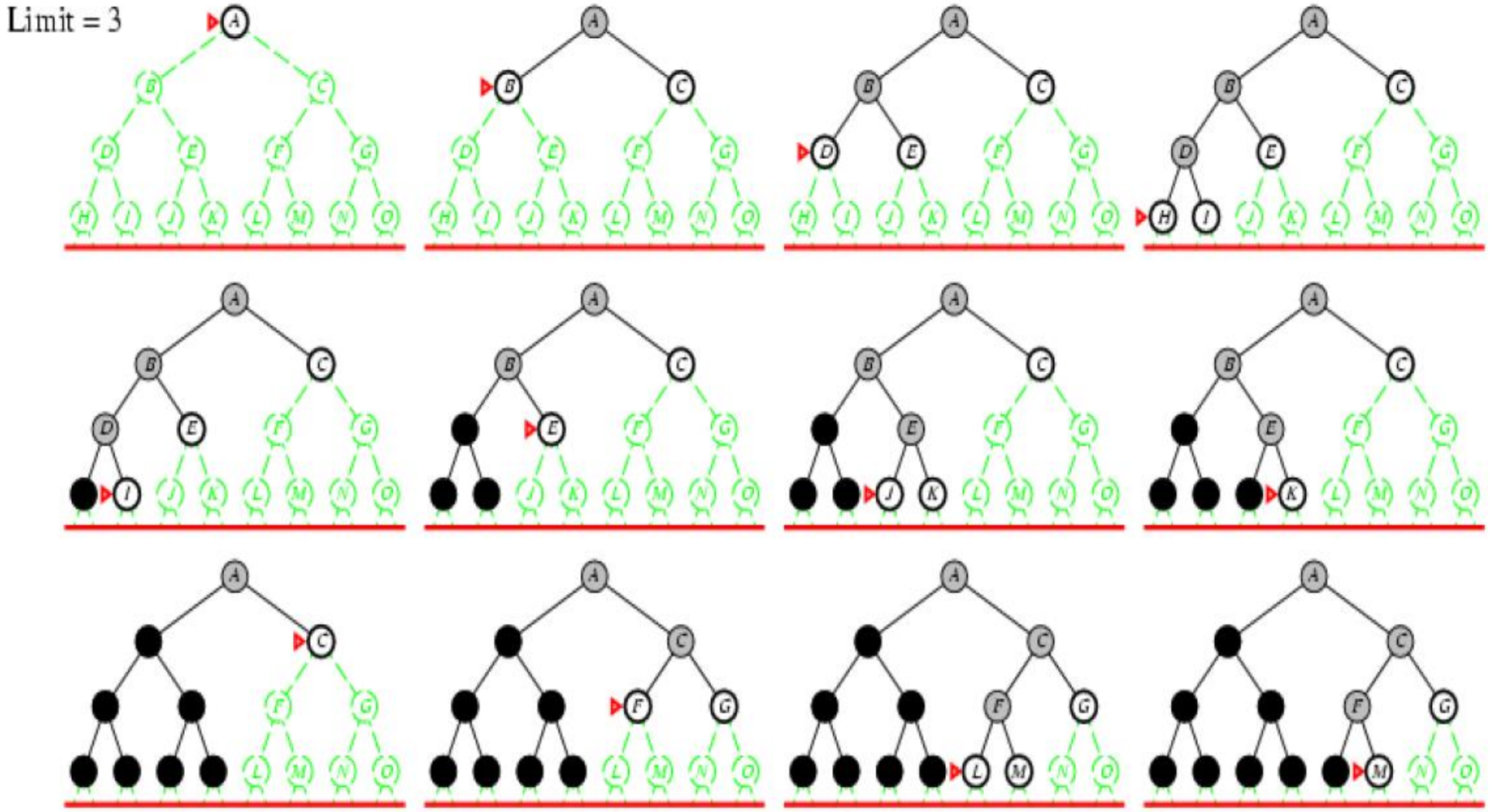
IDS dengan d=1



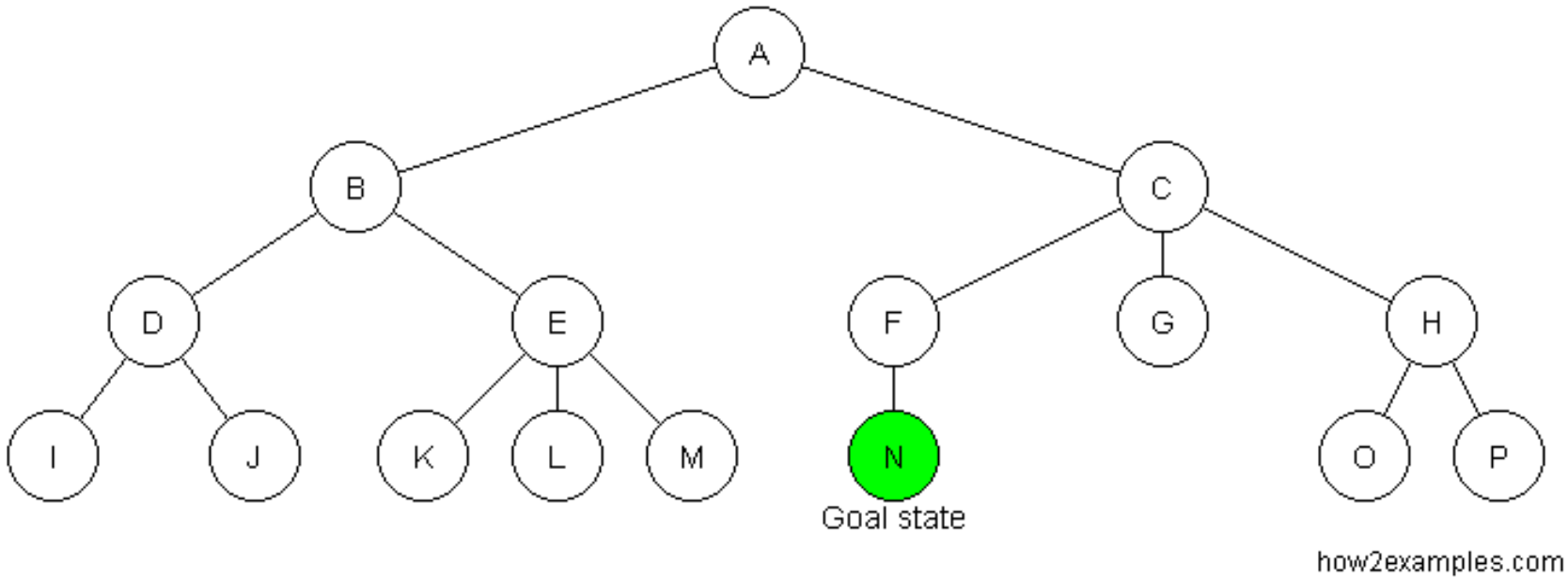
IDS dengan d=2



IDS dengan d=3



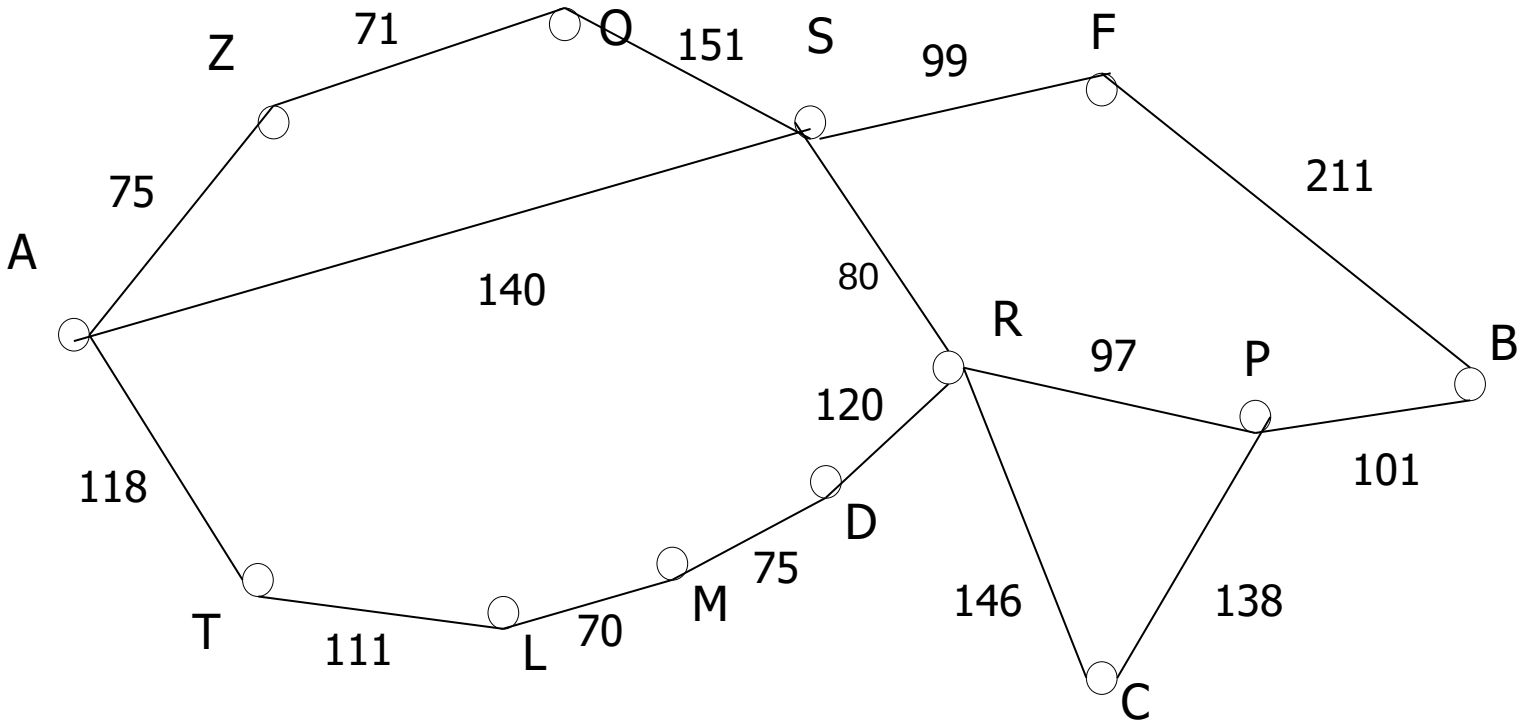
IDS (animasi)



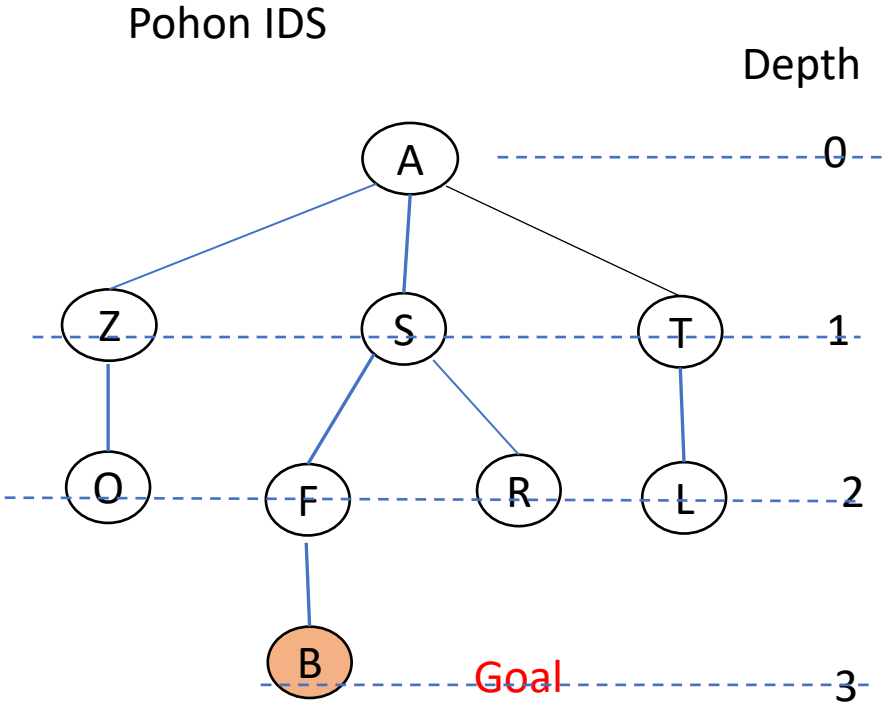
Bagaimana property dari IDS?

- Completeness?
  - Ya, jika b terbatas
- Optimality?
  - Ya, jika langkah = biaya
- Kompleksitas waktu:
  - $O(b^d)$
- Kompleksitas ruang:
  - O(bd)

Iterative Deepening Search (IDS)



Pohon IDS



Depth=0: A: cutoff

Depth=1: A → Z_A,S_A,T_A → Z_A: cutoff, S_A: cutoff, T_A: cutoff

Depth=2: A → Z_A,S_A,T_A → O_{AZ}, S_A,T_A → O_{AZ} : cutoff → F_{AS}, R_{AS},T_A → F_{AS} : cutoff → R_{AS} : cutoff → L_{AT} → L_{AT} : cutoff

Depth=3: A → Z_A,S_A,T_A → O_{AZ}, S_A,T_A → S_{AZO},S_A,T_A → S_{AZO}: cutoff → F_{AS}, R_{AS},T_A → B_{ASF}, R_{AS},T_A → B_{ASF}

Stop: B=goal, path: A→ S → F → B, path-cost = 450

SELAMAT BELAJAR