中国地质大学 China University of Geosciences

目 录

盲目搜索策略

- 无信息搜索又名盲目搜索：
  - 在搜索时，只有问题定义信息可用。
  - 在搜索时，当有策略可以确定一个非目标状态比另一种更好的搜索，称为**有信息的搜索**。
- 盲目搜索策略仅利用了问题定义中的信息，所有的搜索策略是由节点扩展的顺序加以区分。
  - 宽度优先搜索
  - 深度优先搜索
  - 迭代深度搜索
  - 代价一致搜索
  - 深度有限搜索
  - 双向搜索

搜索策略评价

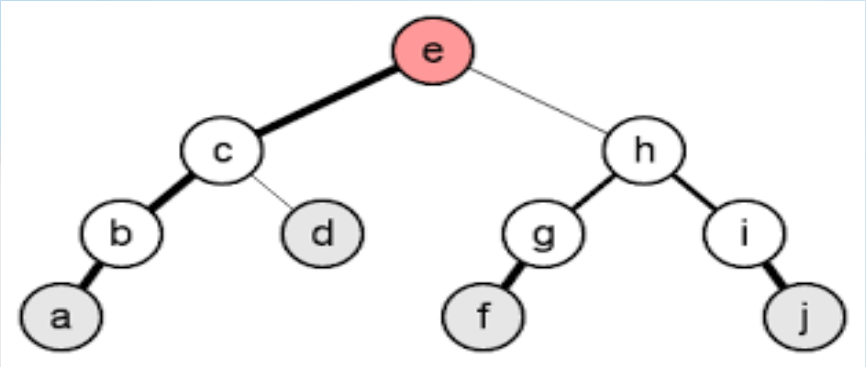
- 搜索**策略**指节点扩展顺序的选择。
- 搜索策略的**性能**由下面四个方面来评估:
  - **完备性:** 如果问题的解存在时它总能找到解。
  - **时间复杂性:** 产生的节点个数。
  - **空间复杂性:** 搜索过程中内存中的最大节点数。
  - **最优性:** 它总能找到一个代价最小的解。

搜索策略评价

- 问题难度由时间和空间复杂度的定义来度量的：

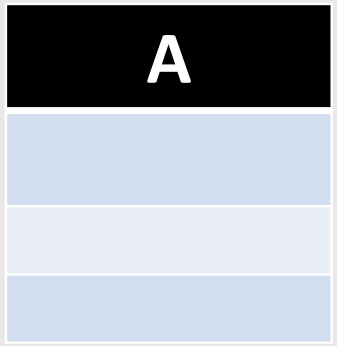
✓时间和空间复杂度根据下面三个量来表达：

- *b:* 搜索树的最大分支数
- *d:* 最小代价解所在的深度
- *m*: 状态空间的最大深度(可能是∞)

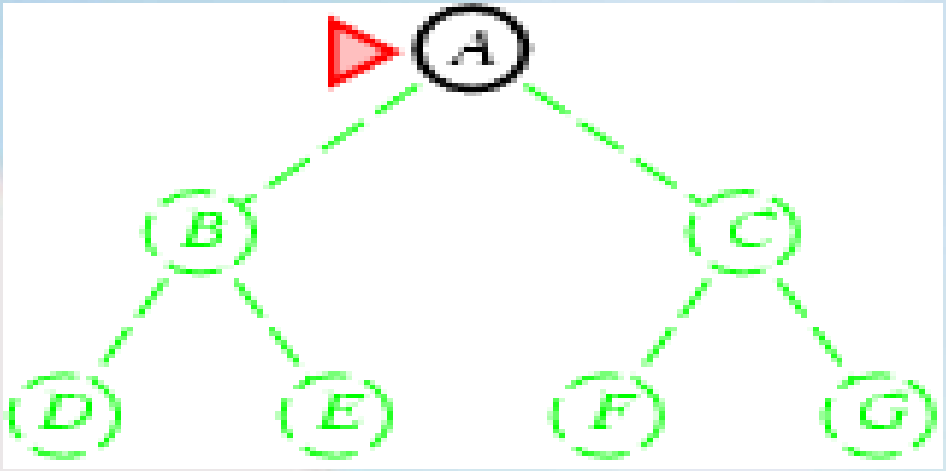


4.1 宽度优先搜索

- 优先扩展最浅层的未扩展节点
- 实现方法:
  - Fringe表采用先进先出队列（ FIFO queue），即新的后续节点总是放在队列的末尾

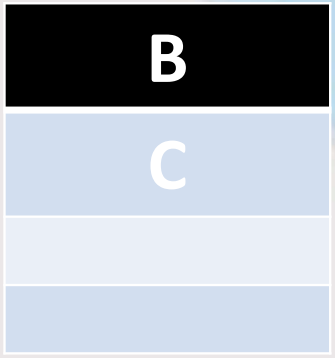


Fringe表

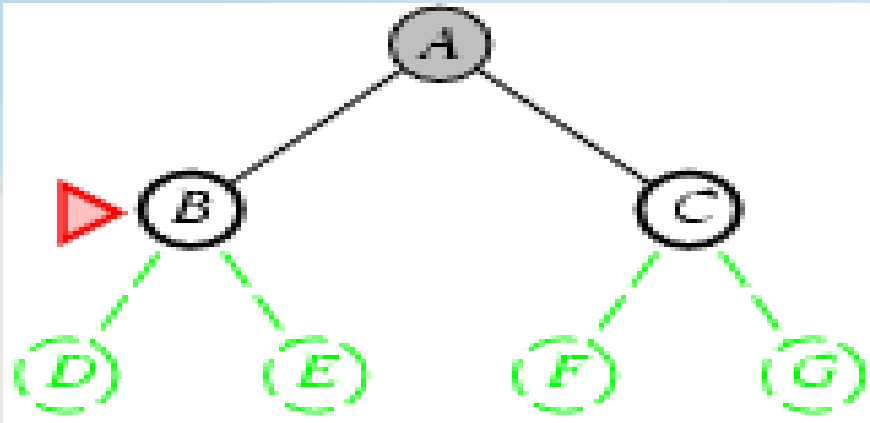


宽度优先搜索

- 优先扩展最浅层的未扩展节点
- 实现方法:
  - Fringe表采用先进先出队列（ FIFO queue），即新的后续节点总是放在队列的末尾



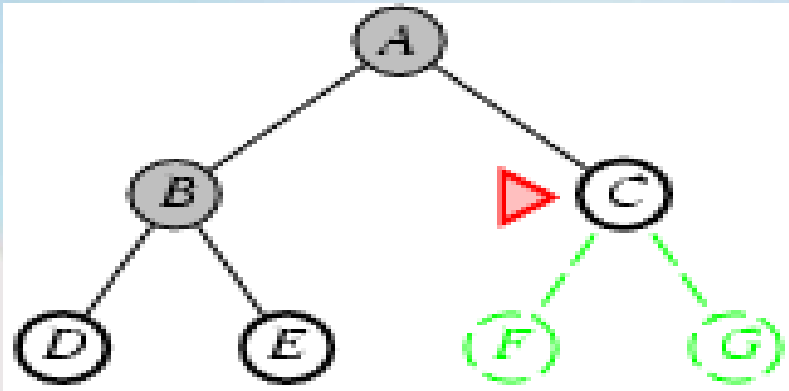
Fringe表



宽度优先搜索

- 优先扩展最浅层的未扩展节点
- 实现方法:
  - Fringe表采用先进先出队列（ FIFO queue），即新的后续节点总是放在队列的末尾

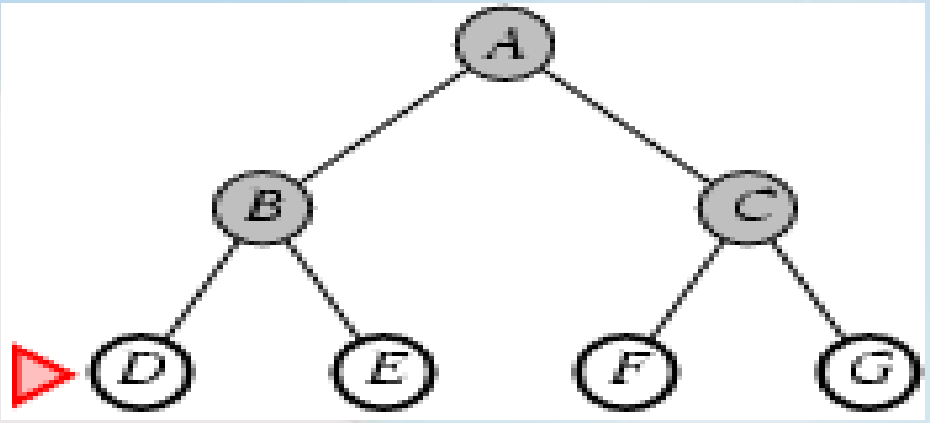
C
D
E



宽度优先搜索

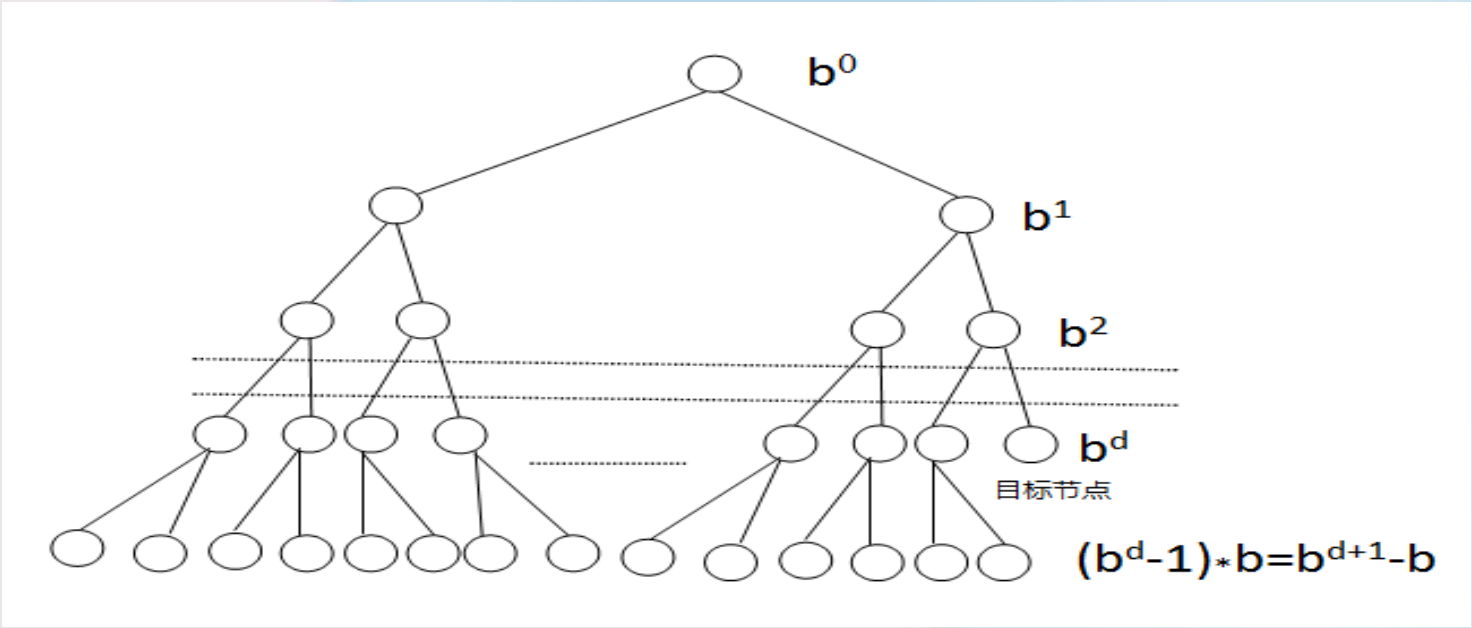
- 优先扩展最浅层的未扩展节点
- 实现方法:
  - Fringe表采用先进先出队列（ FIFO queue），即新的后续节点总是放在队列的末尾

D
E
F
G



宽度优先搜索的性能指标

- 时间？ $1+b+b^2+b^3+\ldots+b^d+(b^d-1)*b=O(b^{d+1})$



宽度优先搜索的性能指标

- 完备性? Yes (只要 *b* 是有限的)
- 时间? $1+b+b^2+b^3+\ldots+b^d + b(b^d-1) = O(b^{d+1})$
- 空间? $O(b^{d+1})$
- 最优性? Yes (只要单步代价是一样的)

Assume: branch factor b=10, 1 million nodes/s, 1 Kbytes/node:

DEPTH2	NODES	TIME	MEMORY
2	110	0.11 milliseconds	107 kilobyte
4	11,110	11 milliseconds	10.6 megabytes
6	10^6	1.1 seconds	1 gigabytes
8	10^8	2 minutes	103 gigabytes
10	10^{10}	3 hours	10 terabytes
12	10^{12}	13 days	1 petabytes
14	10^{14}	3.5 years	1 exabyte
16	10^{16}	350 years	10 exabyte

- 空间是一个比时间更严重的问题.
- 指数复杂性的搜索问题不能通过无信息搜索的方法求解。（除了最小的实例）

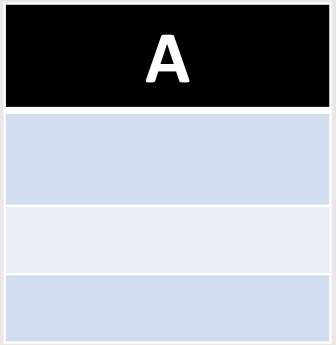
4.2一致代价搜索

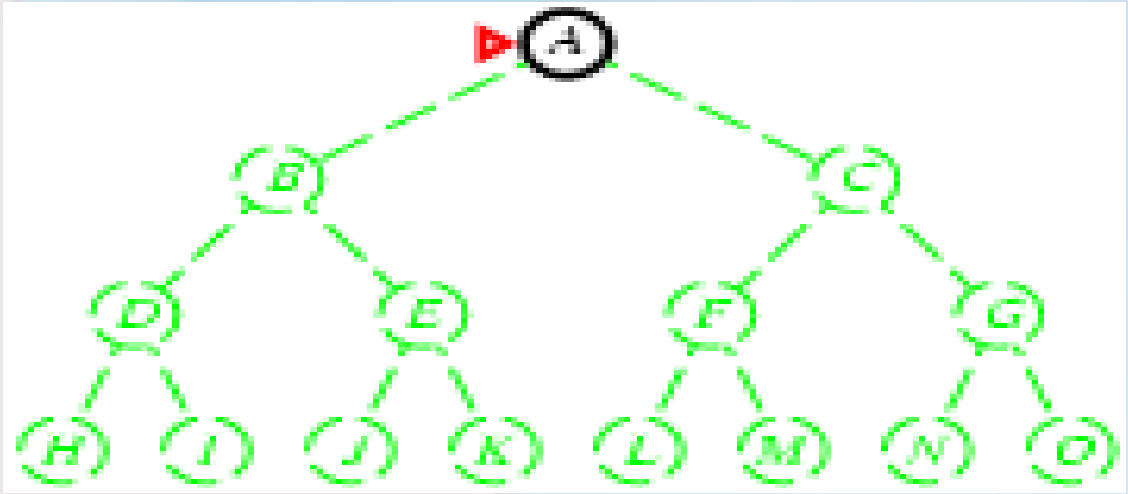
- 优先扩展具有最小代价的未扩展节点
- 实现：　　*fringe* 是根据路径代价排序的队列
- 在单步代价相等时与宽度优先搜索一样
- 完备性？　Yes，只要单步代价不是无穷小
- 时间？　　代价小于最优解的节点个数，$O(b^{ceiling(C^*/\ \varepsilon)})$
- 空间？　　代价小于最优解的节点个数，$O(b^{ceiling(C^*/\ \varepsilon)})$
- 最优性？　Yes　－　节点是根据代价排序扩展的

注：　C^* 最优解的代价
　　ε 是至少每个动作的代价
　　ceiling取上整

4.3深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

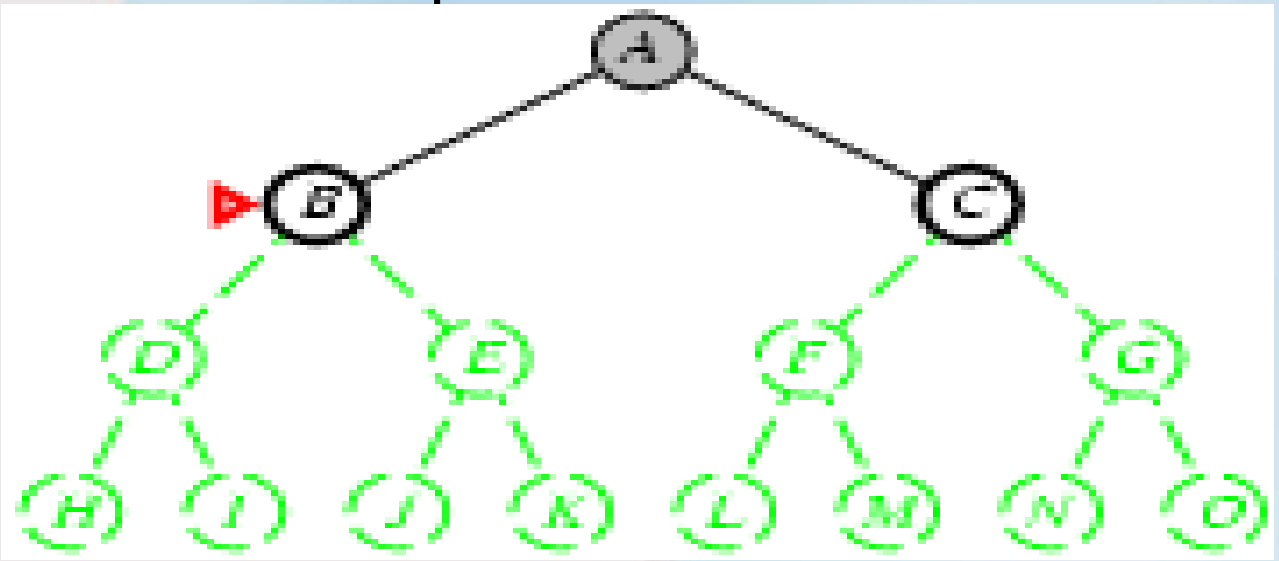




深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

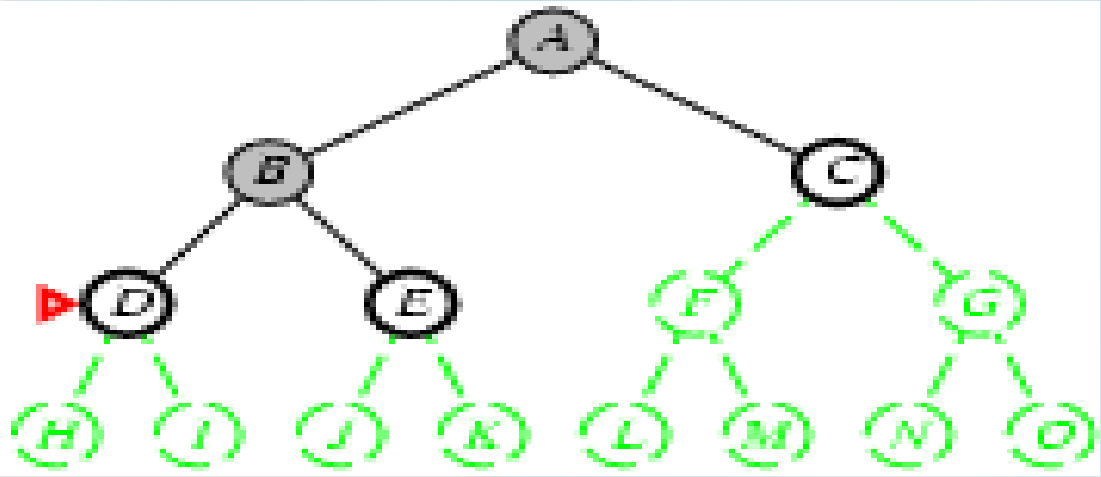
B
C



深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

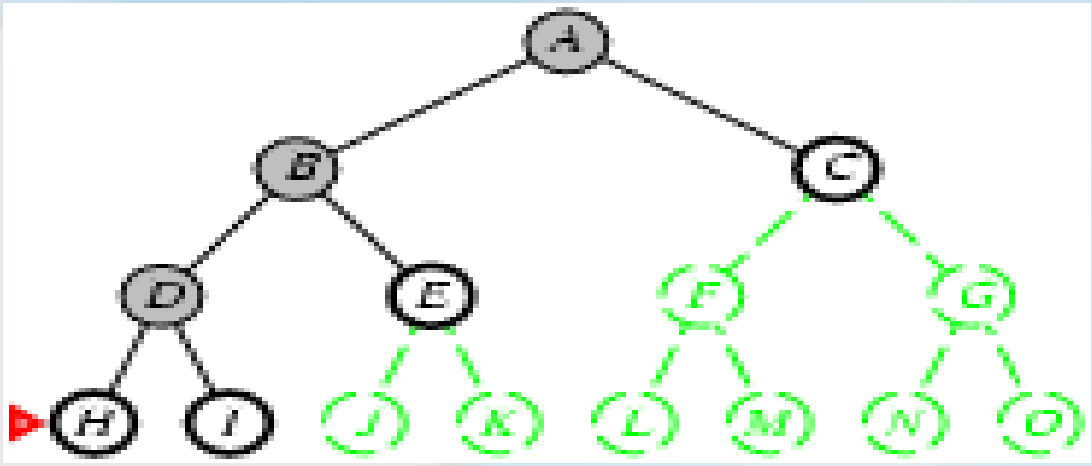
D
E
C



深度优先搜索

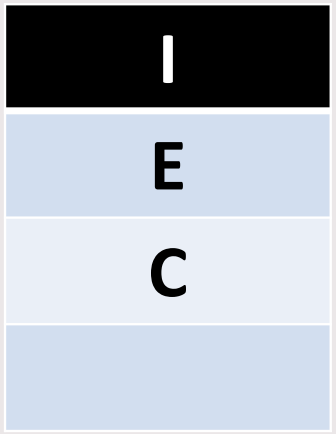
- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

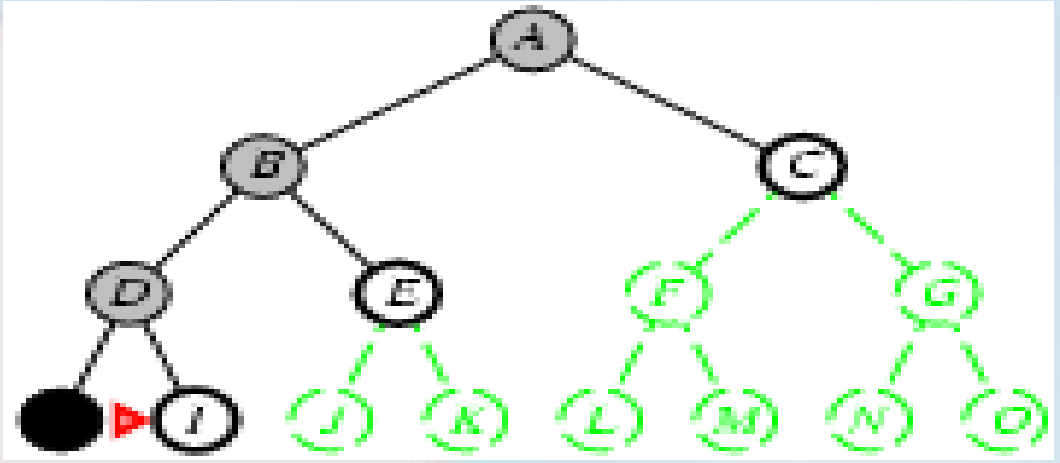
H
I
E
C



深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

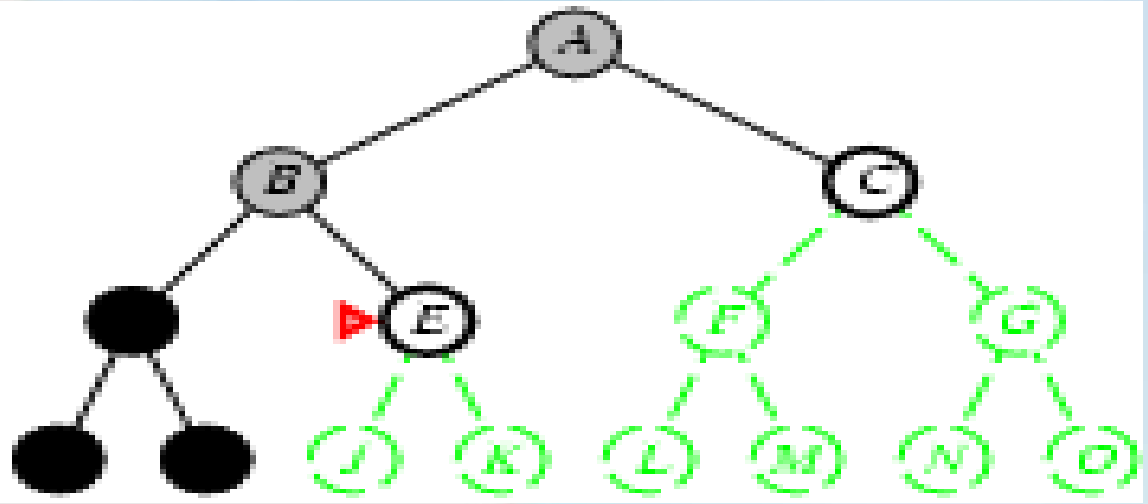




深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

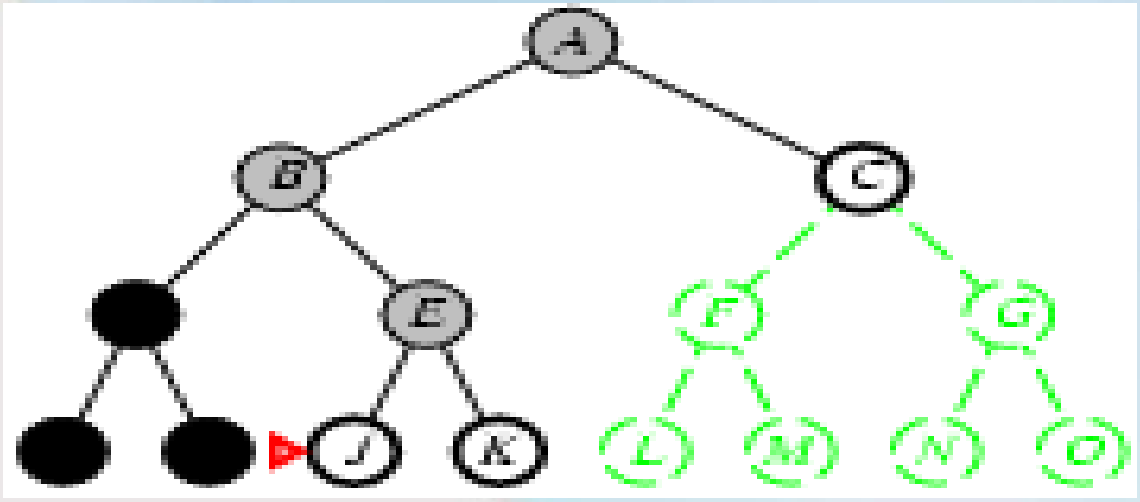
E
C



深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

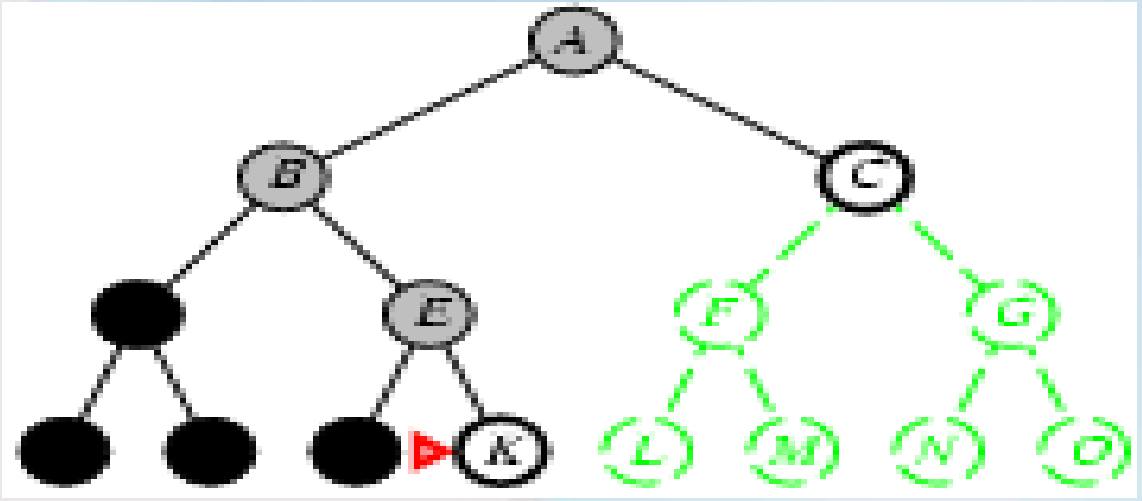
J
K
C



深度优先搜索

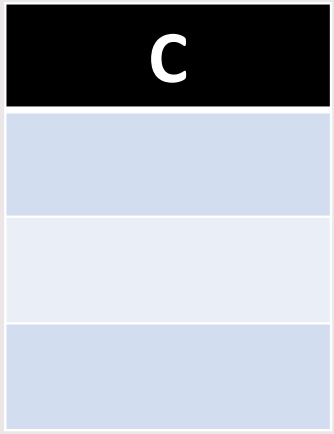
- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

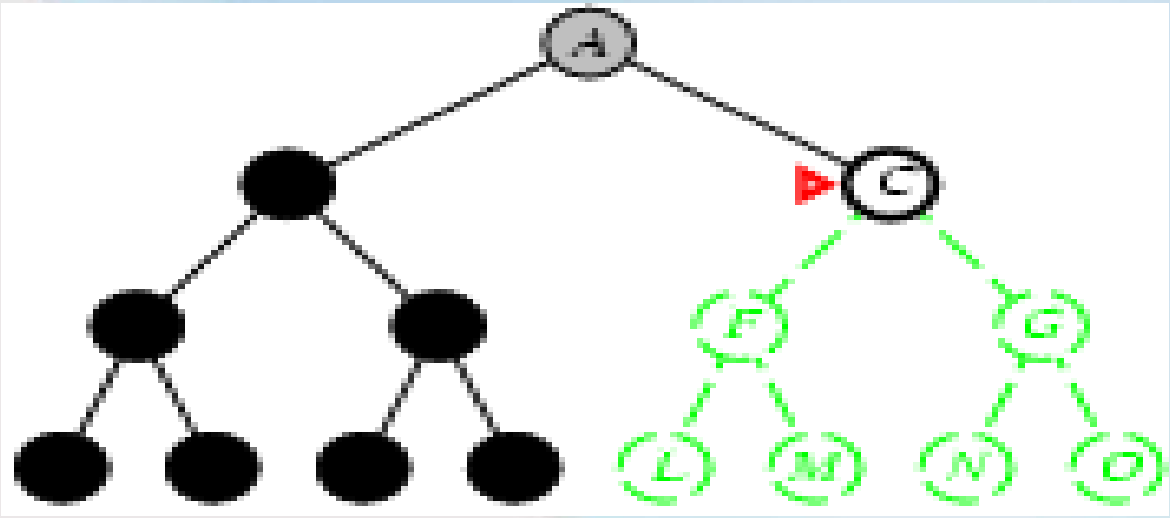
K
C



深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

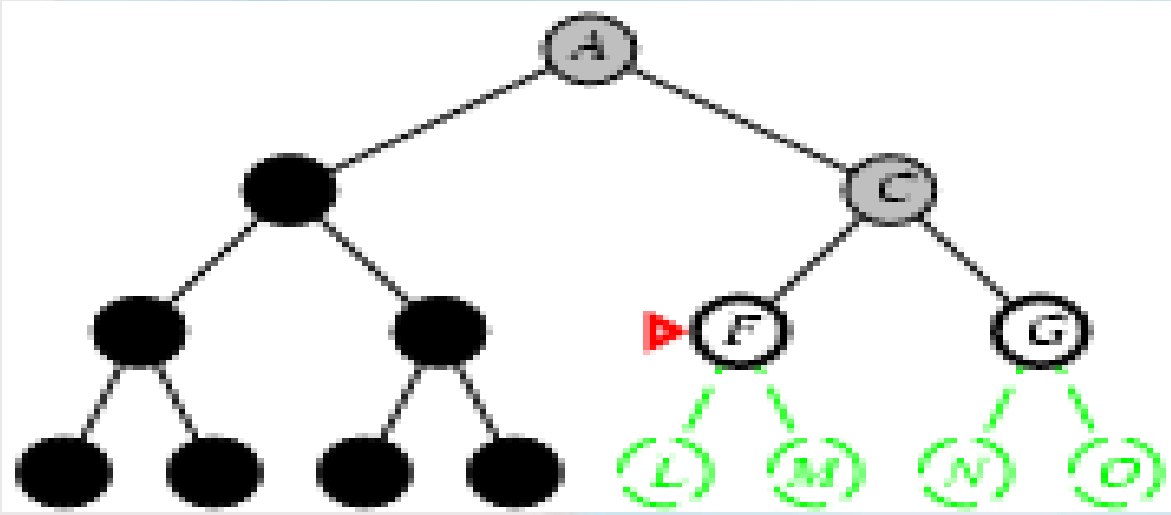




深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

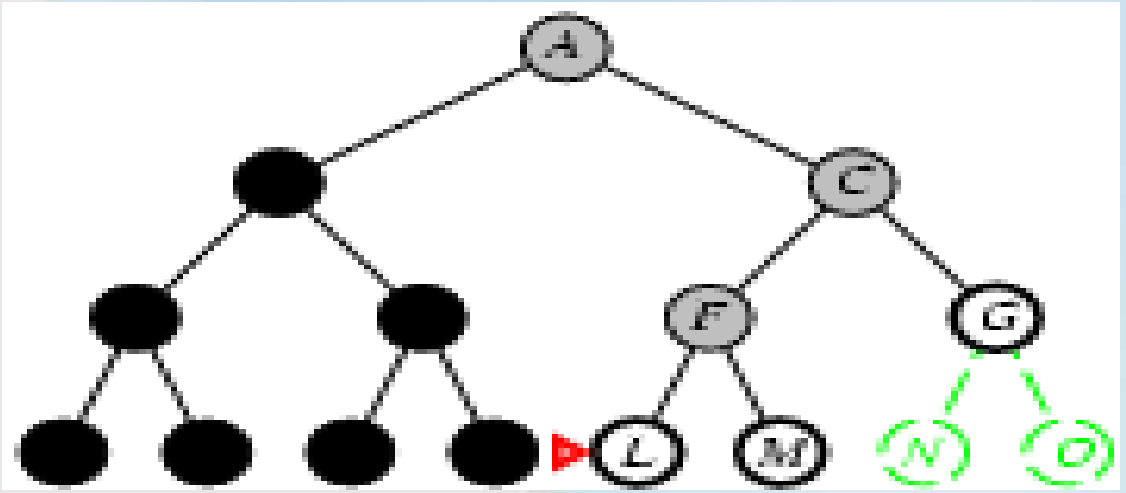
F
G



深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

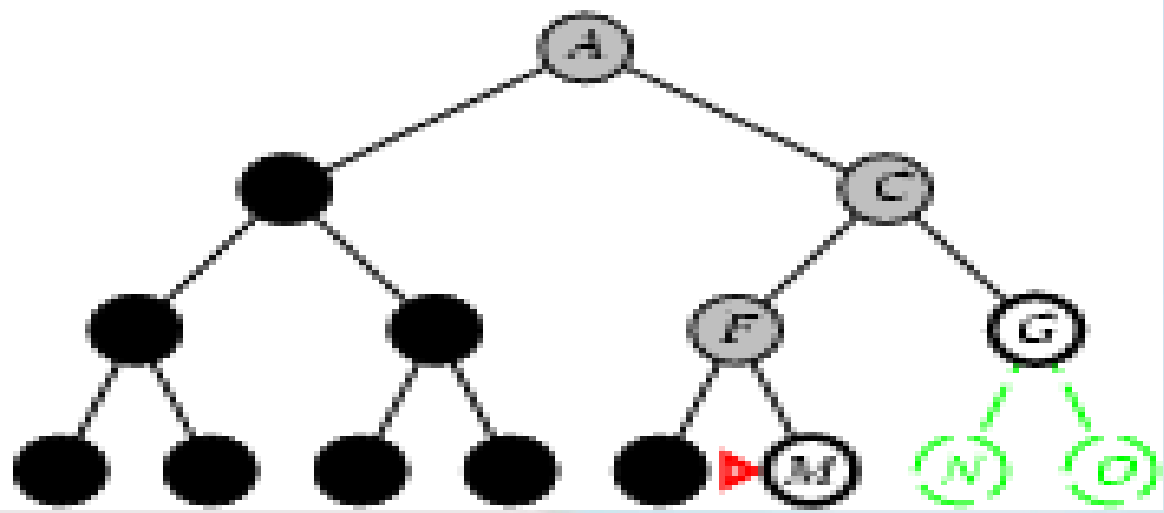
L
M
G



深度优先搜索

- 扩展最深层的未扩展节点
- 实现:*fringe* = 后进先出队列（LIFO queue）

M
G



深度优先搜索的性能指标

- 完备性? No: 在无限状态空间中不能保证找到解
-
- 时间? $O(b^m)$
-
- 空间? $O(bm)$, i.e., 线性空间!
-
- 最优性? No

4.4 深度优先搜索改进

深度优先搜索

4.4.1有深度限制的深度优先搜索

- 递归实现:

```
function DEPTH-LIMITED-SEARCH( problem, limit) returns soln/fail/cutoff
    RECURSIVE-DLS(MAKE-NODE(INITIAL-STATE[problem]), problem, limit)

function RECURSIVE-DLS(node, problem, limit) returns soln/fail/cutoff
    cutoff-occurred? ← false
    if GOAL-TEST[problem](STATE[node]) then return SOLUTION(node)
    else if DEPTH[node] = limit then return cutoff
    else for each successor in EXPAND(node, problem) do
        result ← RECURSIVE-DLS(successor, problem, limit)
        if result = cutoff then cutoff-occurred? ← true
        else if result ≠ failure then return result
    if cutoff-occurred? then return cutoff else return failure
```

深度有限搜索的性质

- 完备性? No
-
- 时间? $O(b^l)$
-
- 空间? $O(bl)$, i.e., 线性空间!
-
- 最优性? No
-

4.4.2迭代深入搜索

function ITERATIVE-DEEPENING-SEARCH(*problem*) **returns** a solution, or failure

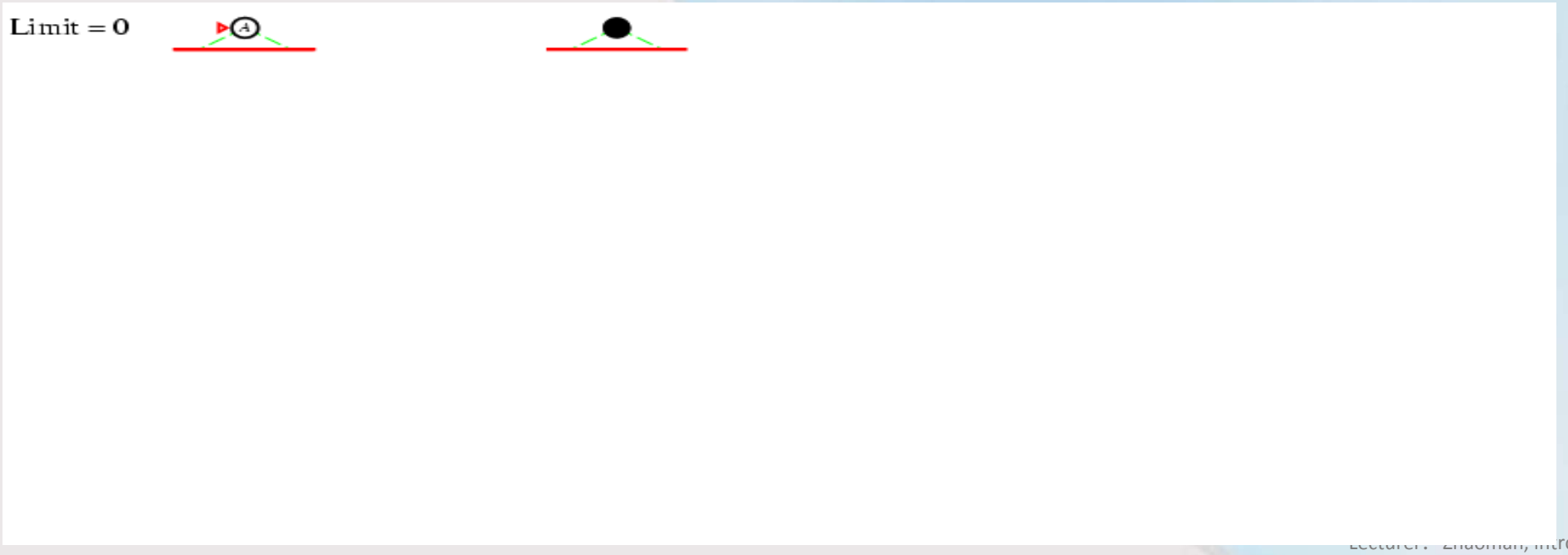
inputs: *problem*, a problem

for *depth* ← 0 **to** ∞ **do**

result ← DEPTH-LIMITED-SEARCH(*problem*, *depth*)

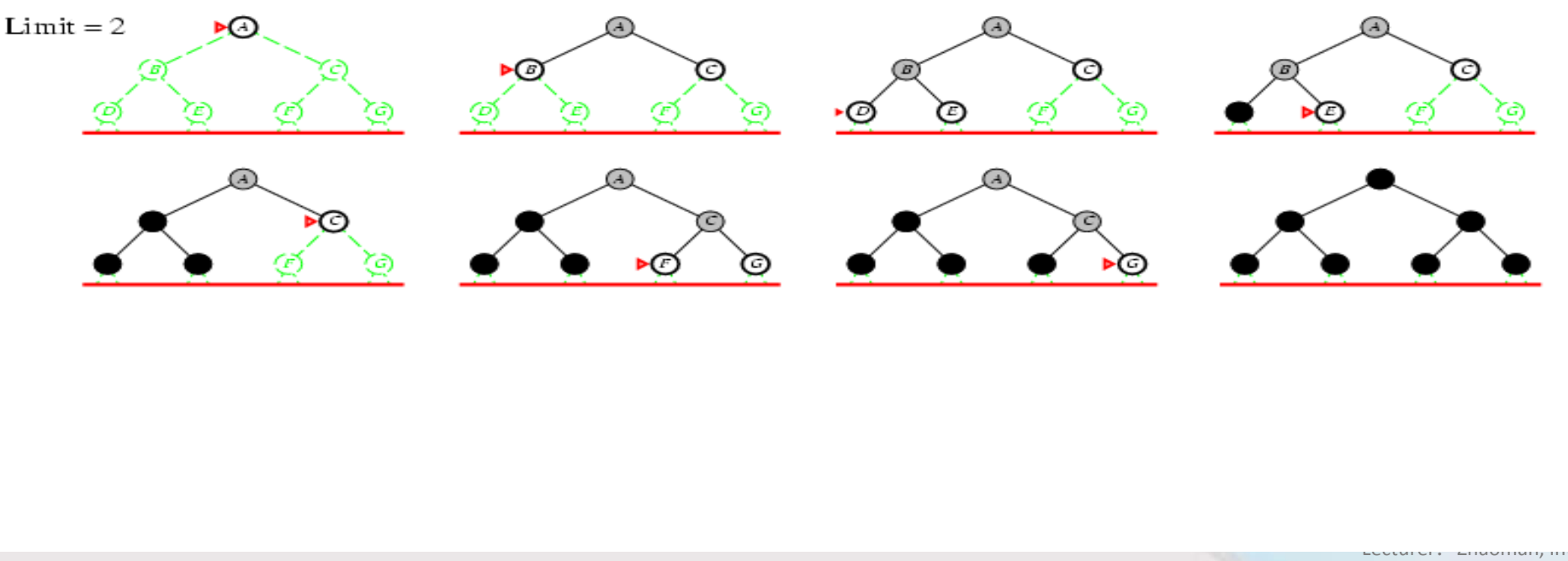
if *result* ≠ cutoff **then return** *result*

迭代深入搜索/=0

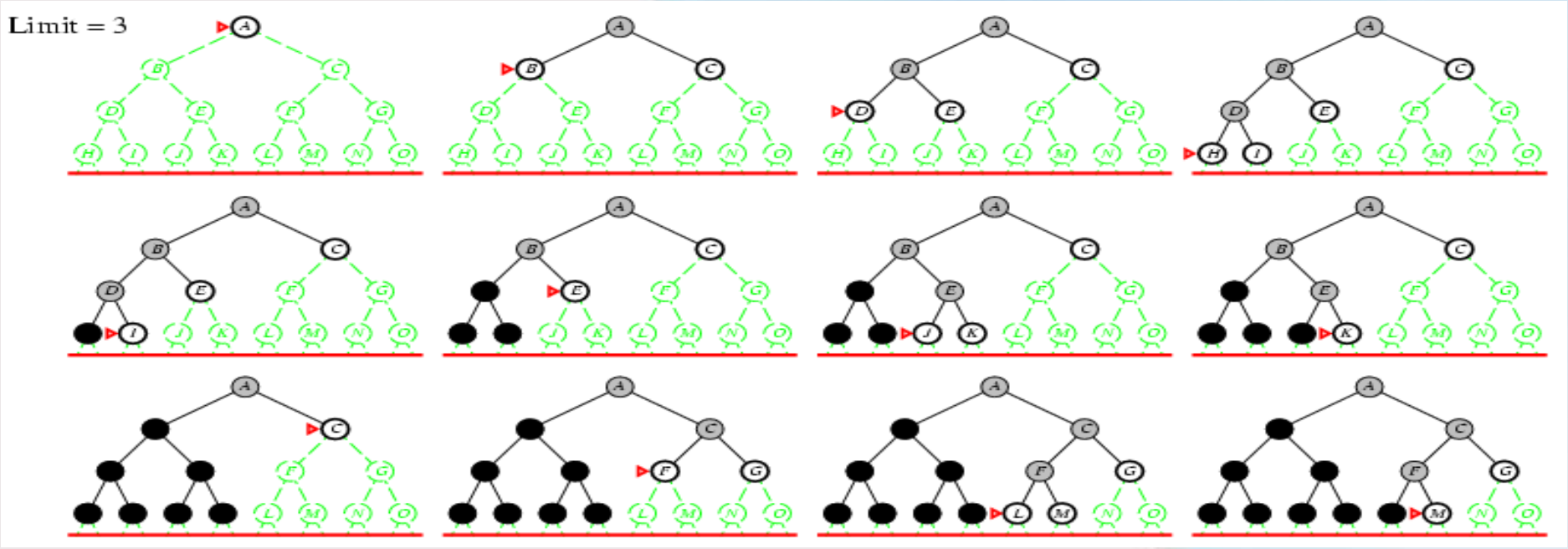


迭代深入搜索/ =1

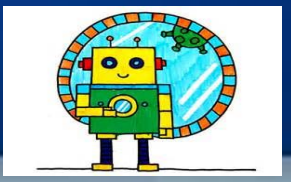
迭代深入搜索/ =2



迭代深入搜索/=3



迭代深入搜索性能分析



- 深度有限搜索（Deep limited search, DLS）搜索到d层时产生的节点数：

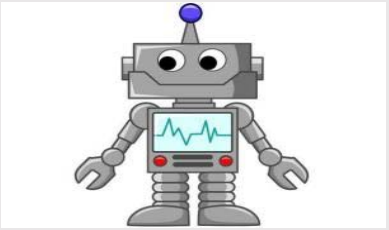
$$N_{DLS} = b^0 + b^1 + b^2 + \ldots + b^{d-2} + b^{d-1} + b^d$$

- 迭代深入搜索（iterative deepening search ， IDS）搜索到d层时产生的节点数：

$$N_{IDS} = (d+1)b^0 + d\,b^1 + (d-1)b^2 + \ldots + 3b^{d-2} + 2b^{d-1} + 1b^d$$

注： 宽度优先搜索 $1+b+b^2+b^3+\ldots+b^d + (b^d-1)*b = O(b^{d+1})$

迭代深入搜索性能分析



- 对于分支数$b = 10$, 深度$d = 5$的问题

深度有限：$N_{DLS} = b^0 + b^1 + b^2 + \ldots + b^{d-2} + b^{d-1} + b^d$

$N_{DLS} = 1 + 10 + 100 + 1{,}000 + 10{,}000 + 100{,}000 = 111{,}111$

迭代深度有限：$N_{IDS} = (d+1)b^0 + d\,b^1 + (d-1)b^2 + \ldots + 3b^{d-2} + 2b^{d-1} + 1b^d$

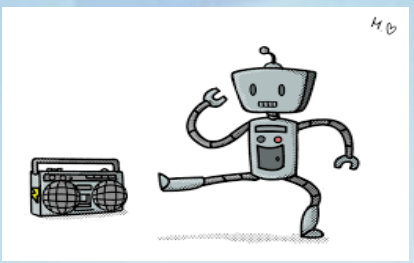
- $N_{IDS} = 6 + 50 + 400 + 3{,}000 + 20{,}000 + 100{,}000 = 123{,}456$
- 超出比率 = (123,456 - 111,111)/111,111 = 11%

而宽度优先：$1+b+b^2+b^3+\ldots+b^d + (b^d-1)*b = O(b^{d+1})$

N= 1 + 10 + 100 + 1,000 + 10,000 + 100,000 +10(100000-1)=1,111,101

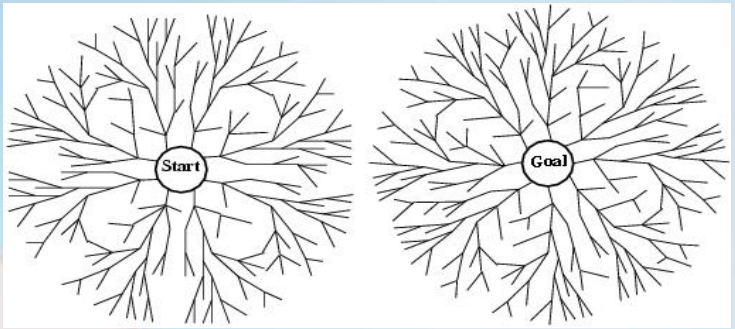
超出比达：88.9%

迭代深入搜索的性质



- 完备性? **Yes**
-
- 时间? $(d+1)b^0 + d\,b^1 + (d-1)b^2 + \ldots + b^d = O(b^d)$
-
- 空间? $O(bd)$
-
- 最优性? **Yes,**只要单步代价相等

4.5 双向搜索



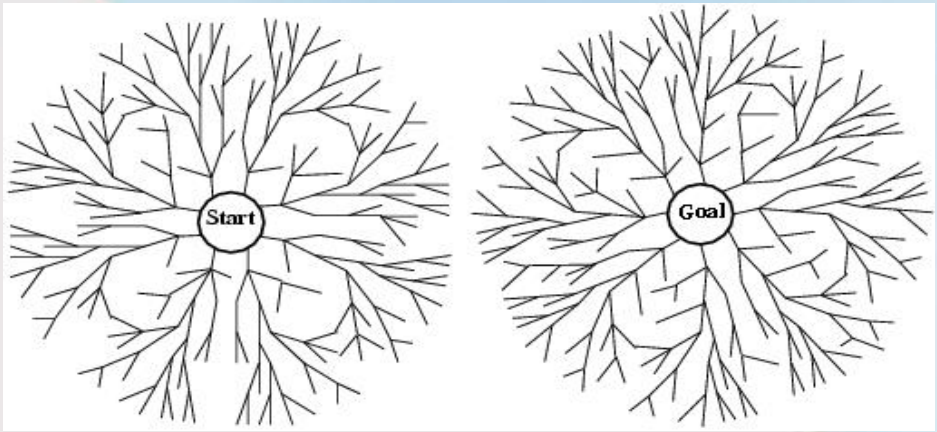
- 从初始状态和目标状态同时出发：
  - 原理： $b^{d/2} + b^{d/2} \leq b^d$
- 检查当前节点是否是其他**fringe**表的节点。
- 空间复杂度仍然是最大的问题。
- 如果双向都采用宽度优先则算法是完备的和最优性的.

比较 **b=10** 以及 **d=6** 的问题扩展节点数：

$$N(\mathrm{BiD}) = 2*(10+100+1000) = 2220$$

$$N(BFS) = 10+100+1000+10000+100000+1000000 = 1111110$$

如何反向搜索?



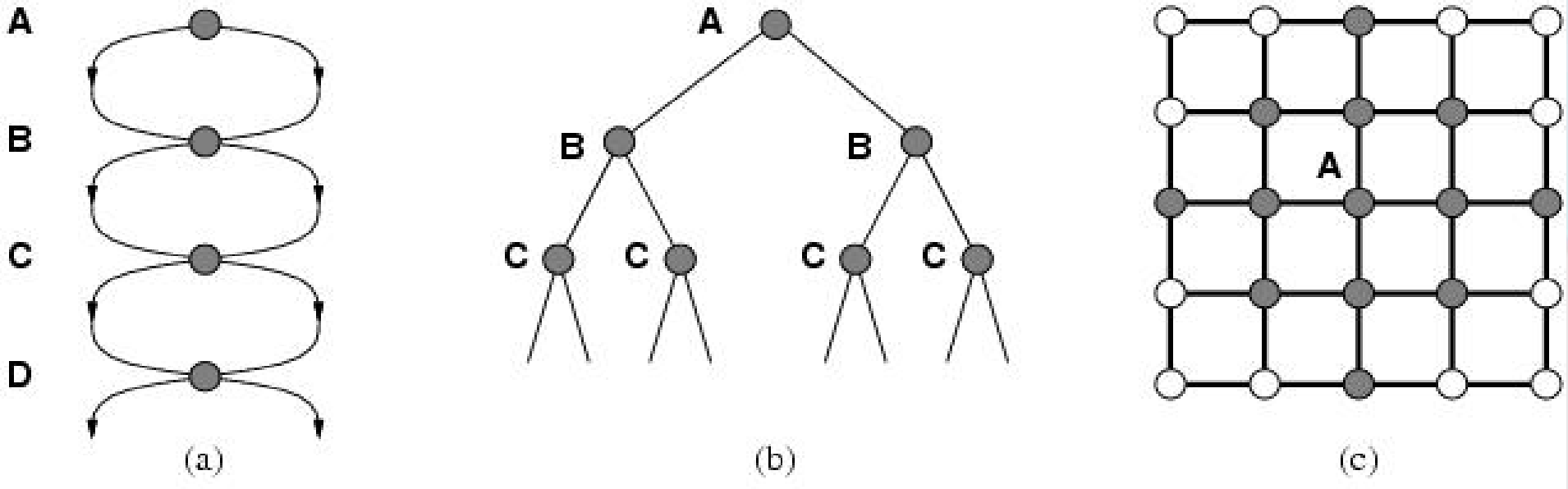
- 每个节点的前状态应是有效的可计算。
- 行动是容易可逆的。

4.6 无信息搜索算法性能评价小结

评价	宽度优先	代价一致	**Depth-First**	**Depth-limited**	**Iterative deepening**	**Bidirectional search**
完备性	YES*	YES*	NO	YES, if $l \geq d$	YES	YES*
时间复杂度	b^{d+1}	$b^{C^*/\varepsilon}$	b^m	b^l	b^d	$b^{d/2}$
空间复杂度	b^{d+1}	$b^{C^*/\varepsilon}$	bm	bl	bd	$b^{d/2}$
最优性	YES*	YES*	NO	NO	YES	YES

重复状态

- 如果不能检测重复的状态，会导致把一个线性空间问题变成指数级的问题（不可解）。



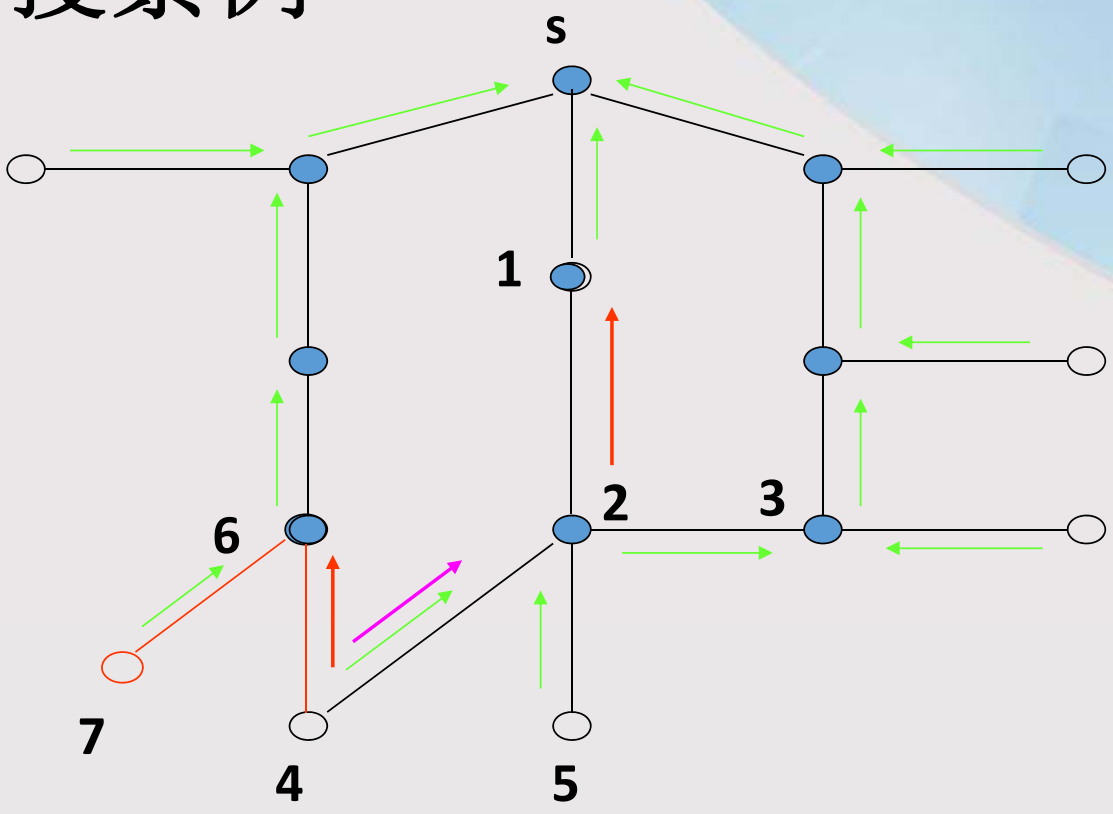
实现：图搜索算法

```
//explored 存储所有已扩展的节点
function GRAPH-SEARCH( problem, fringe) return a solution or failure
    explored ← an empty set
  fringe ← INSERT(MAKE-NODE(INITIAL-STATE[problem]), fringe)
  loop do
    if EMPTY?(fringe) then return failure
        node ← REMOVE-FIRST(fringe)
   if GOAL-TEST[problem] applied to STATE[node] succeeds
        then return SOLUTION(node)
   if STATE[node] is not in explored then
        add STATE[node] to explored
        fringe ← INSERT-ALL(EXPAND(node, problem), fringe)
```

fringe(1,4,7,5,…)

explored (s,2,3, 6,…)

图搜索例



cost(4)=5 cost(2)=4

Expand 6，⇒7，4

cost(4)=4

Modify 4 pointer， point to 6

Expand 1， ⇒ 2

cost(2)=2

Modify 2 pointer， Point to 1

cost(4)=3

Modify 4 pointer， Point to 2

图搜索

- 完备性：是的
- 最优性：
  - 图搜索截断了新路径，这可能导致局部最优解。
  - 当单步代价相同宽度搜索或代价一致的搜索时是最优的。
- 时间和空间复杂度：
  - 与状态空间的大小成比例的（可能远远小于$O(b^d)$）
  - 深度和迭代深度搜索算法不再是线性空间。（因为，需要保存**explored**表）。

无信息搜索课堂思考题：

- 传教士和野人问题M-C问题（Missionaries & Cannibals Problem）

✓ 已知：传教士人数M=3，野人人数C=3，一条船一次可以装载不超过2人K<=2。

✓ 条件：任何情况下，如果传教士人数少于野人人数则有危险。

✓ 问题：传教士为了安全起见，应如何规划摆渡方案，使得任何时刻，河两岸以及船上的野人数目总是不超过传教士的数目。

即求解传教士和野人从左岸全部摆渡到右岸的过程中，任何时刻满足：

M(传教士数)≥C(野人数)和M+C≤k的摆渡方案。

✓要求：（1）形式化该问题，并计算状态空间大小；

（2）应用无信息搜索算法求解；（*考虑重复状态？*）

（3）这个问题状态空间很简单，你认为是什么导致人们求解它和困难？

问题表示

- **问题形式化：**

用一个**三元组(m，c，b)**来表示河岸上的状态，其中m、c分别代表某一岸上传教士与野人的数目，b=1表示船在这一岸，b=0则表示船不在。

✓**条件**是: 两岸上M≥C, 船上M+C≤2。

说明：由于传教士与野人的总数目是一常数，所以只要表示出河的某一岸上的情况就可以了，为方便起见，我们选择传教士与野人开始所在的岸为所要表示的岸，并称其为左岸，另一岸称为右岸。显然仅用描述左岸的三元组就足以表示出整个情况了。

✓综上，我们的**状态空间**可表示为：**(ML，CL，BL)**，其中0≤ML，CL≤N，BL∈{0, 1}。

状态空间的总状态数为**(N+1)×(N+1)×2**，

✓ 问题的**初始状态**是(N，N，1)，**目标状态**是(0，0，0)。

转换模型

- 该问题主要有两种操作：从左岸划向（条件）右岸和从右岸划向左岸，以及每次摆渡的传教士和野人个数变化（行动）。
我们可以使用一个2元组（BM，BC）来表示每次摆渡的传教士和野人个数，我们用i代表每次过河的总人数，i = 1~k，则每次有BM个传教士和BC=i-BM个野人过河，其中BM= 0~i，而且当BM!=0时需要满足BM>=BC。则

✓从左到右的操作为：（ML-BM，CL-BC，B = 1）

✓从右到左的操作为：（ML+BM，CL+BC，B = 0）

因此，当N=3，K=2时，满足条件的（BM，BC）有：

（0,1）、（0,2）、（0,3）、（1,0）、（1,1）、（2,0）、（2,1）、（2,2）、（3,0）、（3,1）、（3,2）、（3,3）。

由于从左到右与从右到左是对称的，所以此时一共有24种操作。