广度优先搜索

入门：抓住那头牛

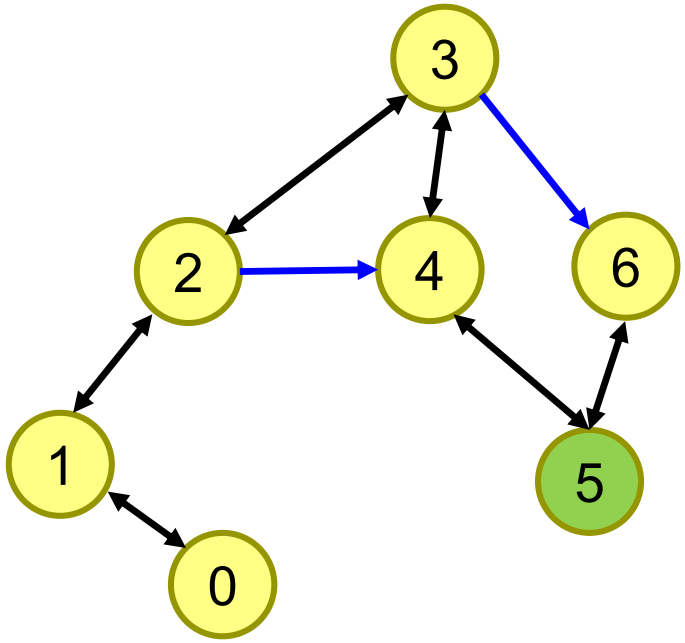
抓住那头牛(POJ3278)

农夫知道一头牛的位置，想要抓住它。农夫和牛都位于数轴上，农夫起始位于点N(0<=N<=100000)，牛位于点K(0<=K<=100000)。农夫有两种移动方式：

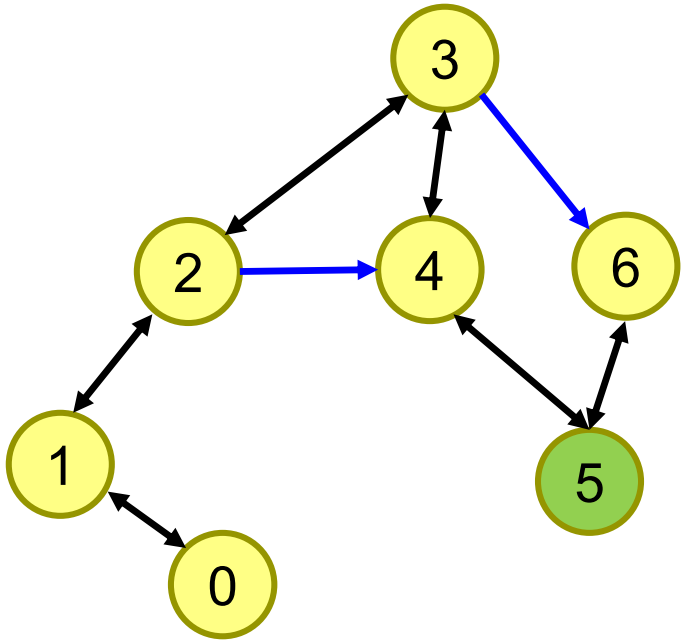
1、从X移动到X-1或X+1，每次移动花费一分钟
2、从X移动到2*X，每次移动花费一分钟

假设牛没有意识到农夫的行动，站在原地不动。农夫最少要花多少时间才能抓住牛？

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？

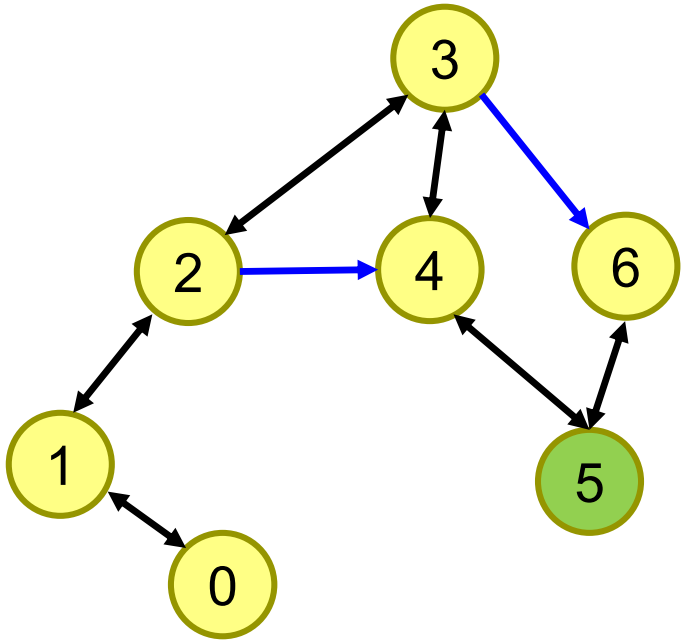


假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



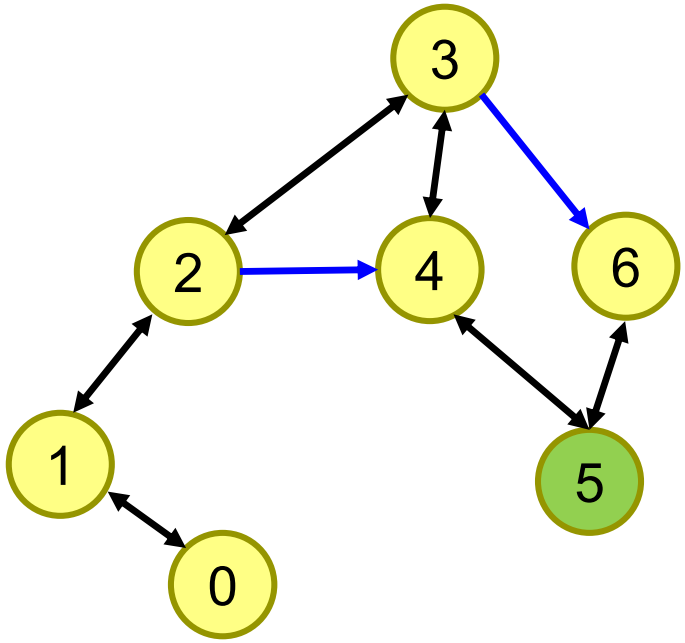
策略1）深度优先搜索：从起点出发，随机挑一个方向，能往前走就往前走(扩展），走不动了则回溯。不能走已经走过的点(要判重）。

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



运气好的话：
3->4->5
或
3->6->5
问题解决！

# 假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？

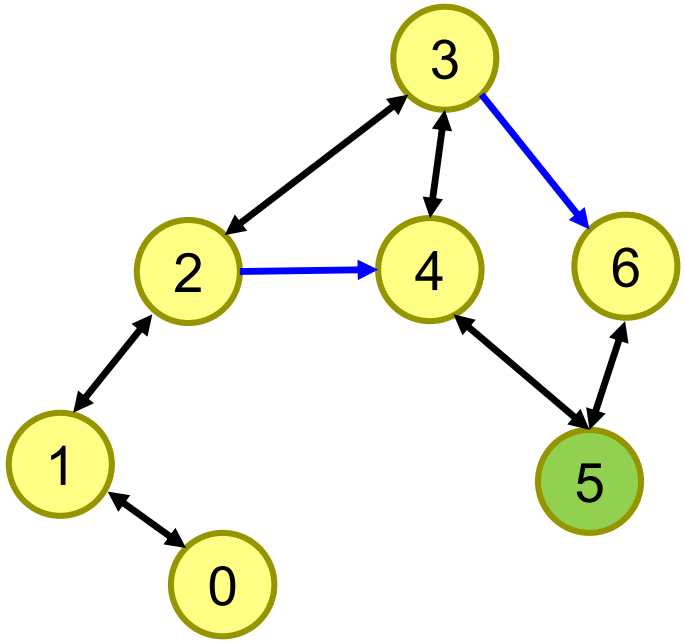


运气不太好的话：
3->2->4->5
运气最坏的话：
3->2->1->0->4->5

要想求最优(短）解，则要遍历所有走法。可以用各种手段优化，比如，若已经找到路径长度为n的解，则所有长度大于n的走法就不必尝试。

运算过程中需要存储路径上的节点，数量较少。
用栈存节点。

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？

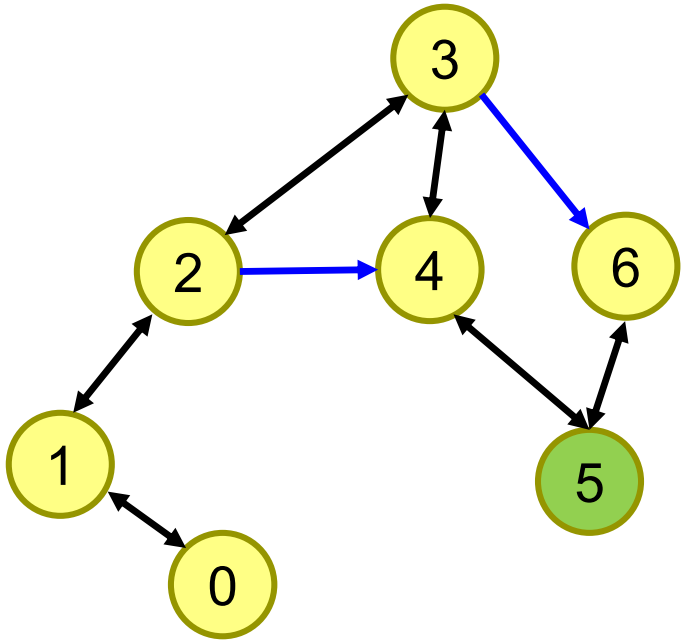


策略2）广度优先搜索：

给节点分层。起点是第0层。从起点最少需n步就能到达的点属于第n层。

第1层：2, 4, 6
第2层：1, 5
第3层：0

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？

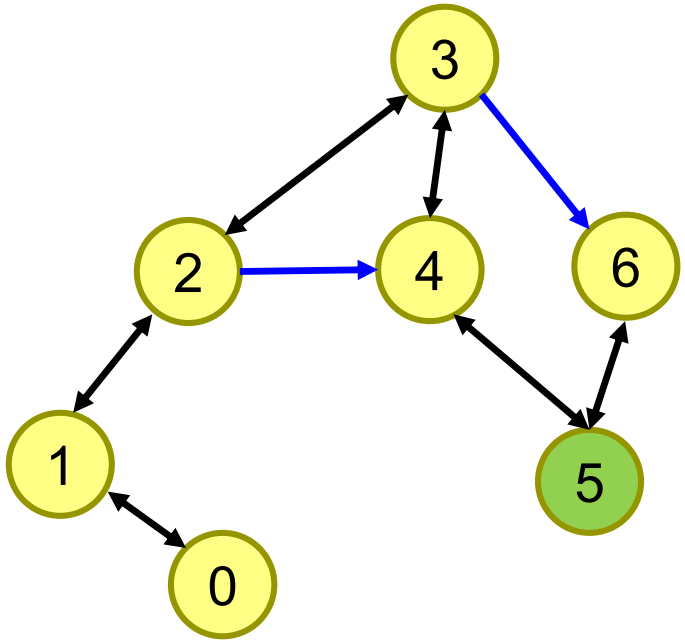


策略2）广度优先搜索：

给节点分层。起点是第0层。从起点最少需n步就能到达的点属于第n层。

依层次顺序，从小到大扩展节点。把层次低的点全部扩展出来后，才会扩展层次高的点。

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



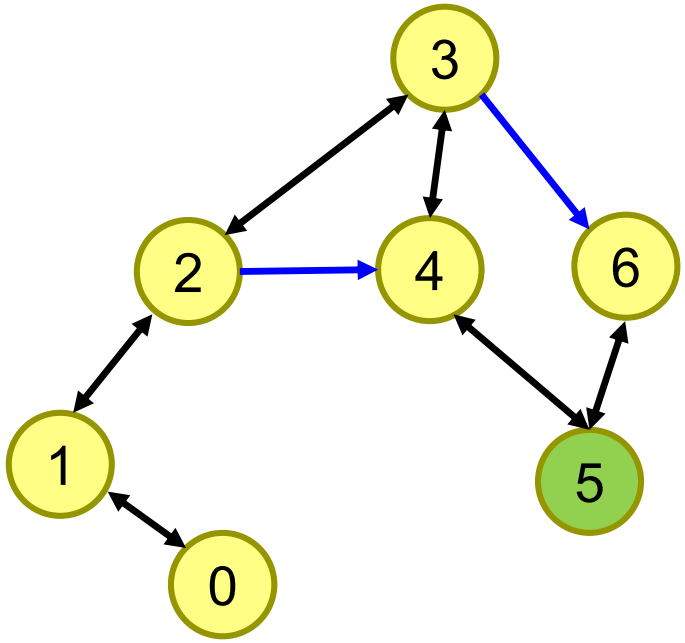
策略2）广度优先搜索：

搜索过程（节点扩展过程）：

3
2 4 6
1 5

问题解决。
扩展时，不能扩展出已经走过的节点(要判重) 。

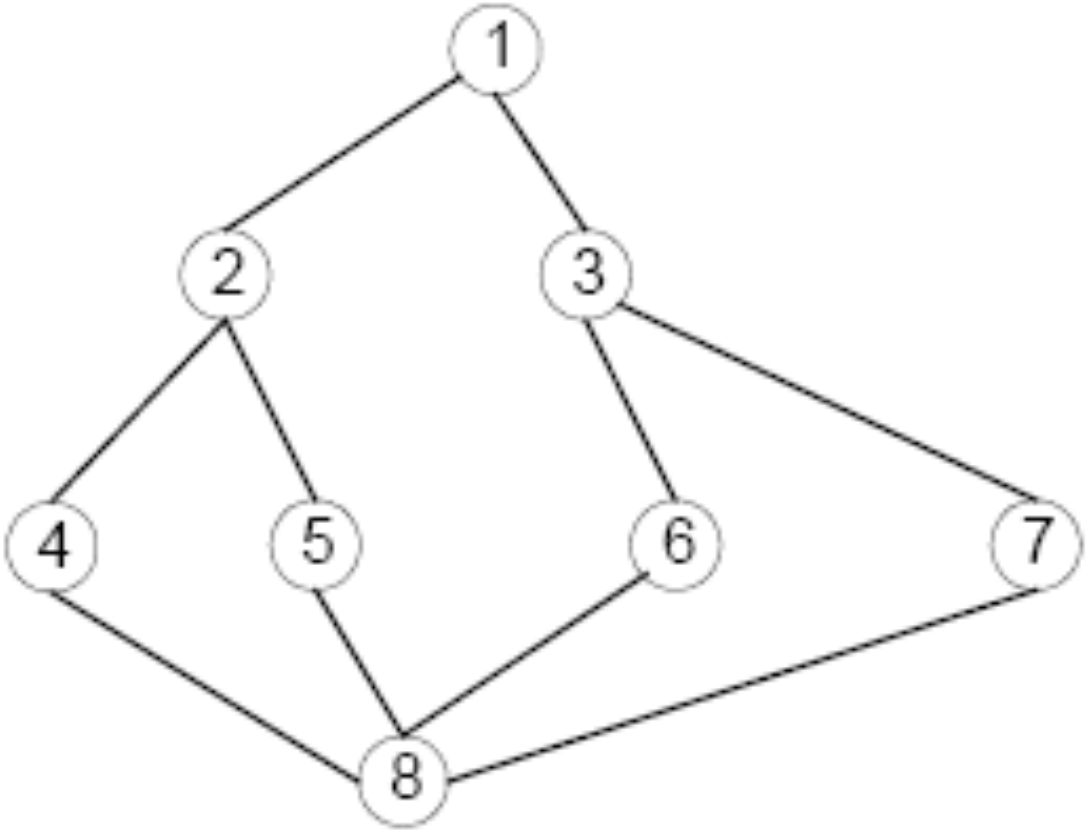
假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



策略2）广度优先搜索：

可确保找到最优解，但是因扩展出来的节点较多，且多数节点都需要保存，因此需要的存储空间较大。
用队列存节点。

深搜 vs. 广搜



若要遍历所有节点：

- 深搜

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

- 广搜

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

广搜算法

□广度优先搜索算法如下：（用QUEUE）

(1) 把初始节点S0放入Open表中；

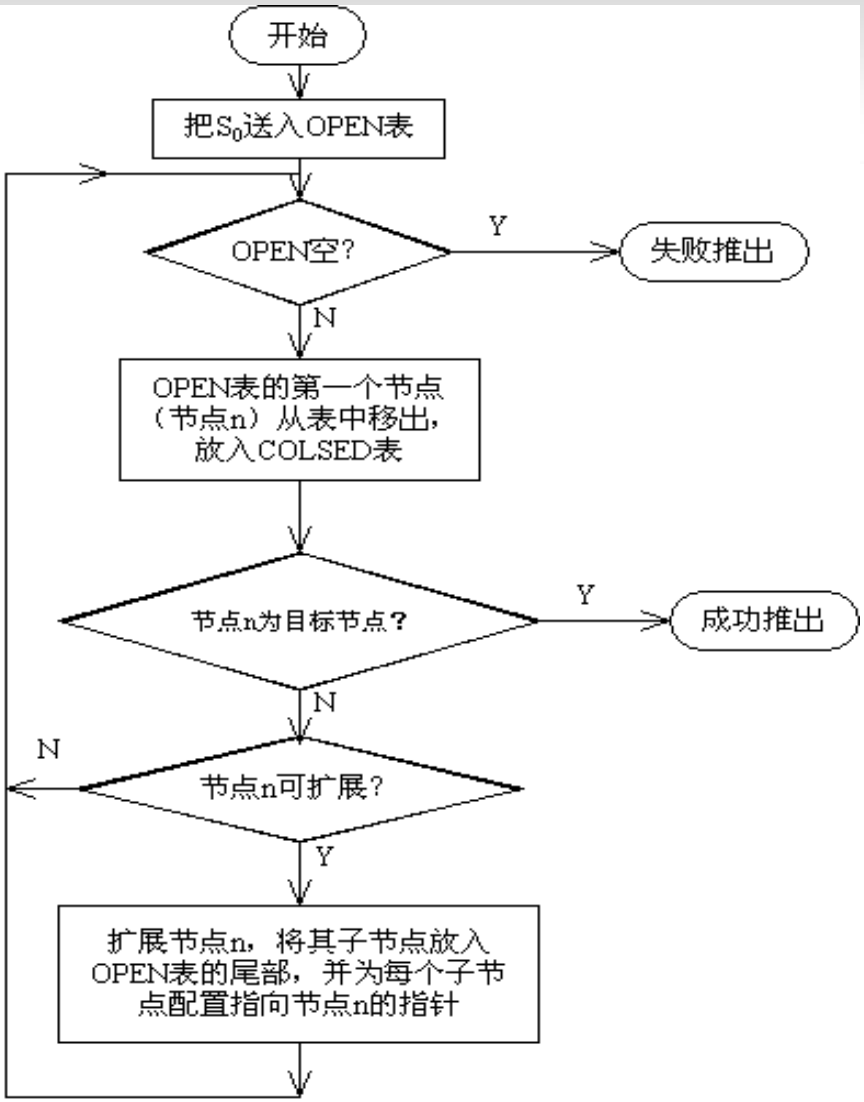
(2) 如果Open表为空，则问题无解，失败退出；

(3) 把Open表的第一个节点取出放入Closed表，并记该节点为n；

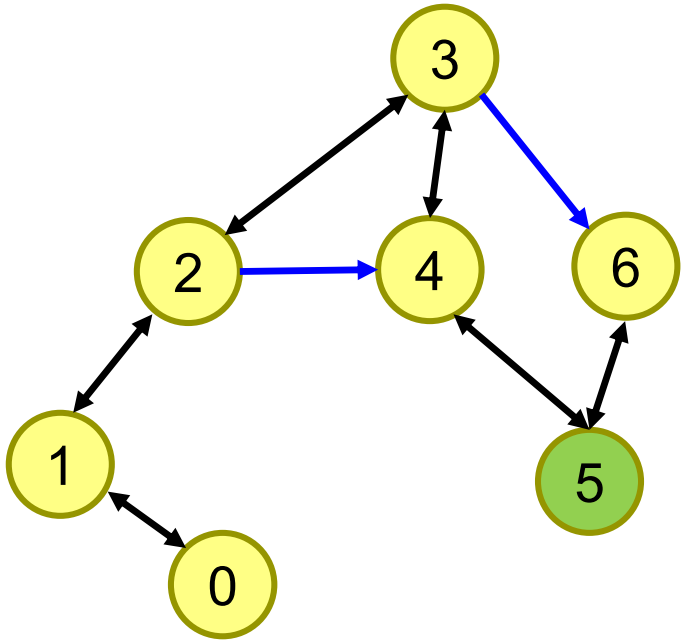
(4) 考察节点n是否为目标节点。若是，则得到问题的解，成功退出；

(5) 若节点n不可扩展，则转第(2)步；

(6) 扩展节点n，将其不在Closed表和Open表中的子节点(判重）放入Open表的尾部，并为每一个子节点设置指向父节点的指针(或记录节点的层次），然后转第(2)步。



假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



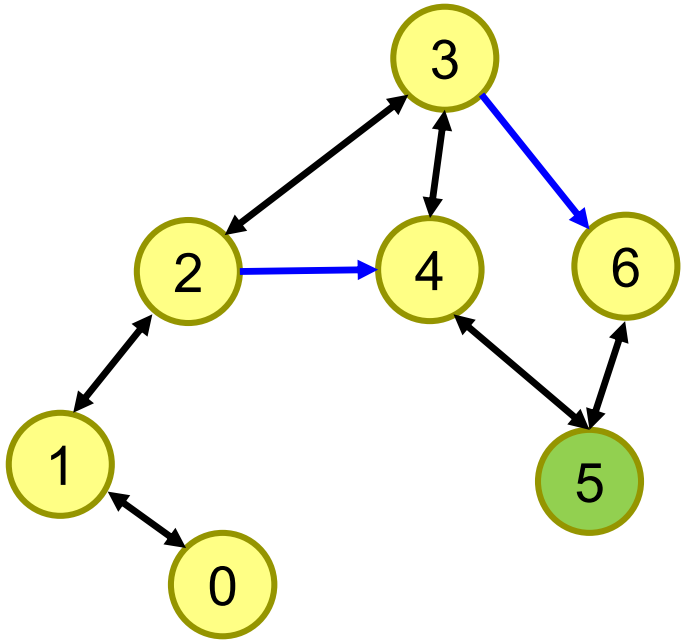
广度优先搜索队列变化过程：

Closed

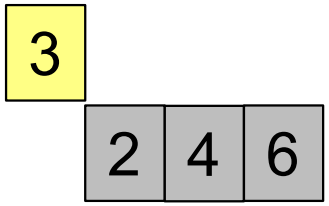
3

Open

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



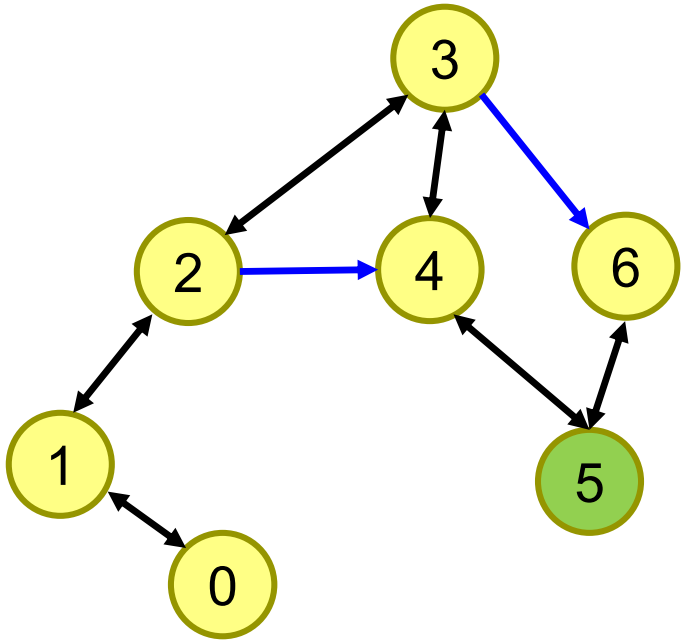
广度优先搜索队列变化过程：



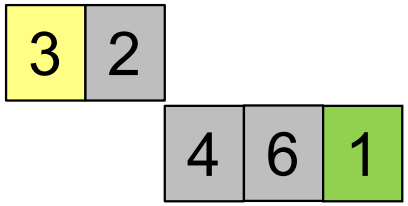
Closed

Open

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



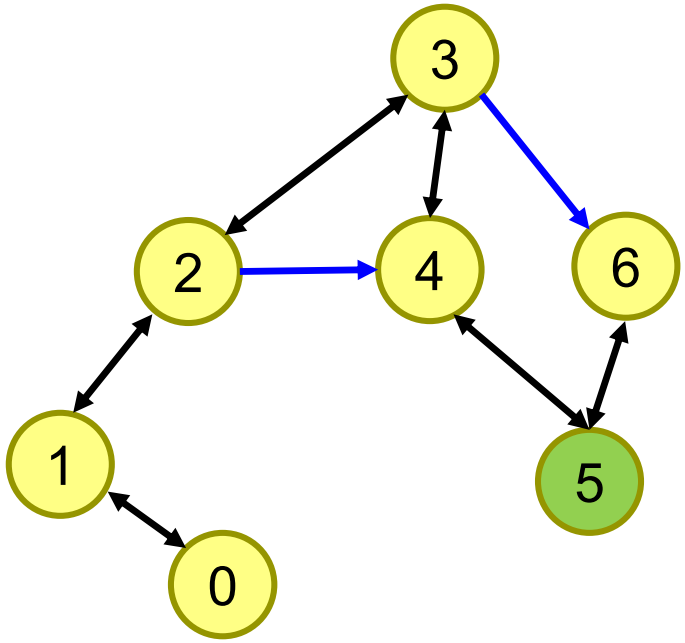
广度优先搜索队列变化过程：



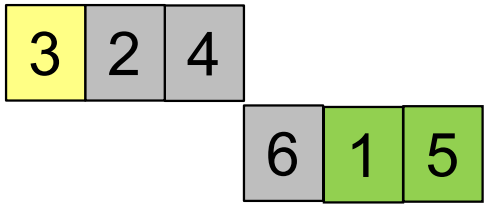
Closed

Open

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



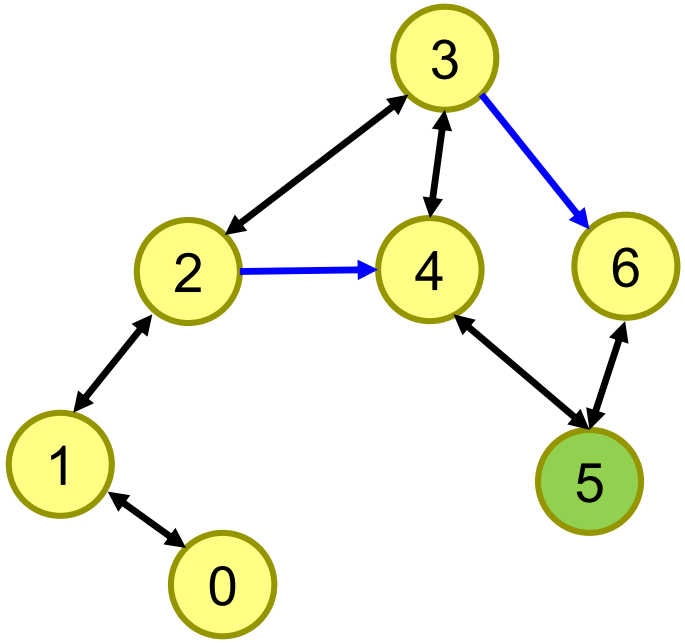
广度优先搜索队列变化过程：



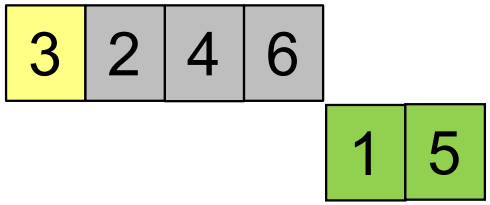
Closed

Open

假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



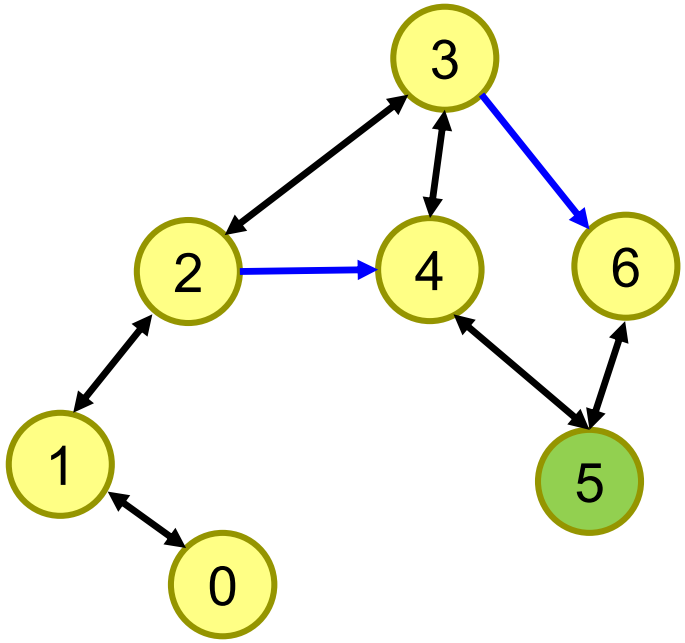
广度优先搜索队列变化过程：



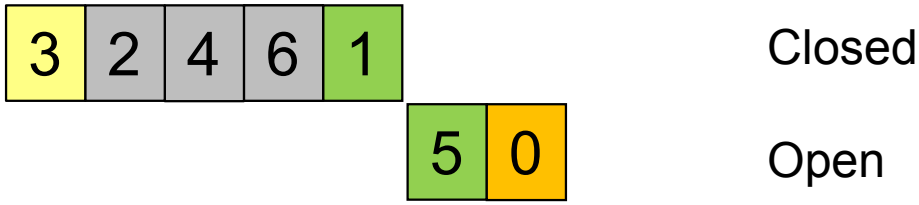
Closed

Open

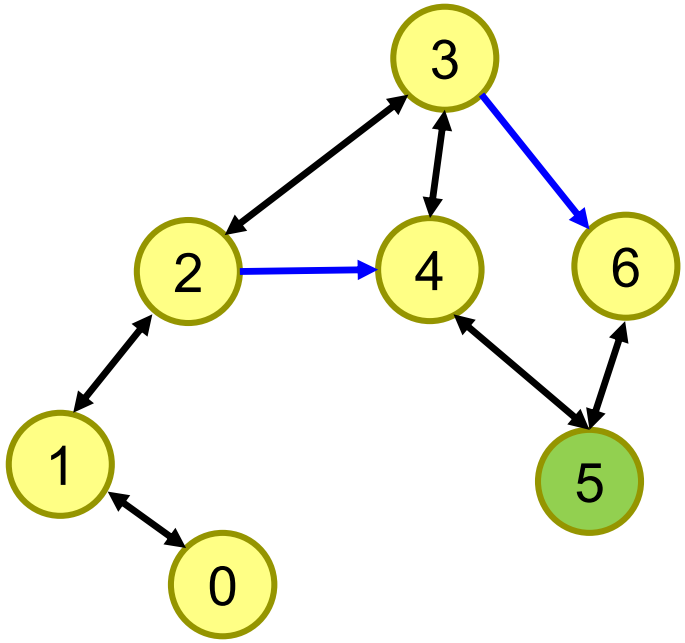
假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



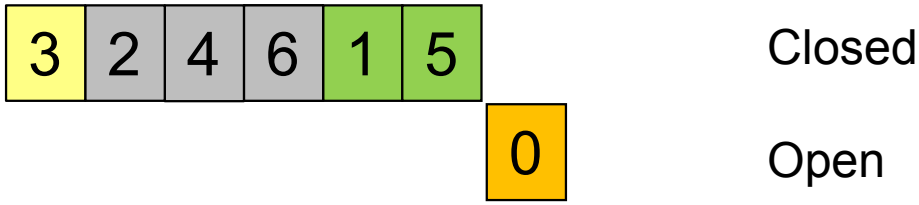
广度优先搜索队列变化过程：



假设农夫起始位于点3，牛位于5
N=3, K=5，最右边是6。
如何搜索到一条走到5的路径？



广度优先搜索队列变化过程：



目标节点5出队列，问题解决！

//poj3278 Catch That Cow

```
#include <iostream>
#include <cstring>
#include <queue>
using namespace std;
int N,K;
const int MAXN = 100000;
int visited[MAXN+10];  //判重标记,visited[i] = true表示i已经扩展过
struct Step{
        int x;  //位置
        int steps;  //到达x所需的步数
        Step(int xx,int s):x(xx),steps(s) { }
};
queue<Step> q;  //队列,即Open表
int main()   {
        cin >> N >> K;
        memset(visited,0,sizeof(visited));
        q.push(Step(N,0));
        visited[N] = 1;
```

```
while(!q.empty()) {
        Step s = q.front();
        if( s.x == K ) { //找到目标
                cout << s.steps <<endl;
                return 0;
        }
        else {
                if( s.x - 1 >= 0 && !visited[s.x-1] ) {
                        q.push(Step(s.x-1,s.steps+1));
                        visited[s.x-1] = 1;
                }
                if( s.x + 1 <= MAXN && !visited[s.x+1] ) {
                        q.push(Step(s.x+1,s.steps+1));
                        visited[s.x+1] = 1;
                }
```

```
                    if( s.x * 2 <= MAXN &&!visited[s.x*2]   ) {
                            q.push(Step(s.x*2,s.steps+1));
                            visited[s.x*2]   = 1;
                    }
                    q.pop();
            }
        }
        return 0;
}
```

POJ3984 迷宫问题

定义一个二维数组：

```
int maze[5][5] = {
        0, 1, 0, 0, 0,
        0, 1, 0, 1, 0,
        0, 0, 0, 0, 0,
        0, 1, 1, 1, 0,
        0, 0, 0, 1, 0,
};
```

它表示一个迷宫，其中的1表示墙壁，0表示可以走的路，只能横着走或竖着走，不能斜着走，要求编程序找出从左上角到右下角的最短路线。

POJ3984 迷宫问题

- 广搜
- 不能使用STL的queue，要自己用数组来实现队列
- 新的节点要进入队列时，需在该节点内部用father指针记录其父节点在队列中的下标（到达迷宫中某个位置的时候，要记录刚才是从哪个位置过来的）
- 当目标节点出队列时，沿着节点的father指针链，就能倒着找到从起点到目标的路径

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <cstring>
using namespace std;
struct Pos  {
        int r,c;
        int father; //父节点在队列中的下标,-1表示本节点是起点
        Pos(int rr=0,int cc=0,int ff=0):r(rr),c(cc),father(ff) { }
};
int maze[8][8];
Pos que[100];
int head,tail; //队列头尾指针
Pos dir[4] = {Pos(-1,0),Pos(1,0),Pos(0,-1),Pos(0,1)}; //移动方向
int main() {
        memset(maze,0xff,sizeof(maze));
        for( int i = 1;i <= 5; ++i)
                for (int j = 1; j <= 5; ++j )
                        cin >> maze[i][j];
        head = 0;
        tail = 1;
        que[0] = Pos(1,1,-1);
```

```
while( head != tail ) { //队列不为空
        Pos ps = que[head];
        if( ps.r == 5 && ps.c == 5 ) {   //目标节点出队列
                vector<Pos> vt;
                while(true) {
                        vt.push_back(Pos(ps.r,ps.c,0));
                        if( ps.father == -1 )//起点
                                break;
                        ps = que[ps.father];
                };
                for( int i = vt.size()-1; i >= 0; -- i )
                        cout << "(" << vt[i].r-1 << ", " <<
                        vt[i].c-1 << ")" << endl;
                return 0;
        }
```

```
            else {//队头节点不是目标节点
                int r = ps.r, c = ps.c;
                for( int i = 0;i < 4; ++i)
                    if(! maze[r+dir[i].r][c+dir[i].c]) {
                        que[tail++] =
                          Pos(r+dir[i].r,c+dir[i].c,head);
                //新扩展出来的节点的父节点在队列里的下标是head
                        maze[r+dir[i].r][c+dir[i].c] = 1;
                    }
                ++head;
            }
        }
        return 0;
}
```

迷宫问题变形一(百练4980, 拯救行动)

要从迷宫中的起点 r走到终点a，迷宫中各个字符代表道路（@）、墙壁（#）、和守卫（x）。

能向上下左右四个方向走。不能走到墙壁。每走一步需要花费1分钟

行走过程中一旦遇到守卫，必须杀死守卫才能继续前进。 杀死一个守卫需要花费额外的1分钟

求到达目的地最少用时

```
#@######@
#@a#@@r@
#@@#x@@@
@@#@@#@#
#@@@##@@
@#@@@@@@
@@@@@@@@
```

百练4980 拯救行动

解法一：

队列里放以下结构：

```
struct Position
{
        int r,c;
        int steps;
};
```

将‘x’对应的节点放入队列时，直接将其steps多加1

要求队列是 steps最小的在队头的优先队列！

```
2
7 8
#######
#@a#@@r@
#@@#x@@@
@@#@@#@#
#@@@##@@
@#@@@@@@
@@@@@@@@
```

迷宫问题变形一(百练4980, 拾救行动)

解法二：

●状态表示：

```
struct Pos {
        int r,c;  //本节点的位置
        bool kill; //是否杀死过守卫
        int t; //走到本节点花的时间
};
```

迷宫问题变形一(百练4980, 拯救行动)

●状态表示:

```
struct Pos {
        int r,c;  //本节点的位置
        bool kill; //是否杀死过守卫
        int t; //走到本节点花的时间
};
```

●若(r,c)处没有守卫，则由状态 (r,c,0,t)可以扩展出
(r+1,c,0,t+1)，(r-1,c,0,t+1)，(r,c+1,0,t+1)，(r,c-1,0,t+1)

迷宫问题变形一

- 状态表示：

```
struct Pos {
        int r,c;  //本节点的位置
        bool kill; //是否杀死过守卫
        int t; //走到本节点花的时间
};
```

- 若(r,c)处没有守卫，则由状态 (r,c,0,t)可以扩展出
(r+1,c,0,t+1)，(r-1,c,0,t+1)，(r,c+1,0,t+1)，(r,c-1,0,t+1)

- 若(r,c)处有守卫，则由状态 (r,c,0,t)只能扩展出 (r,c,1,t+1)

迷宫问题变形一

●状态表示：

```
struct Pos {
        int r,c;  //本节点的位置
        bool kill; //是否杀死过守卫
        int t; //走到本节点花的时间
};
```

●若(r,c)处没有守卫，则由状态 (r,c,0,t)可以扩展出
(r+1,c,0,t+1)，(r-1,c,0,t+1)，(r,c+1,0,t+1)，(r,c-1,0,t+1)

●若(r,c)处有守卫，则由状态 (r,c,0,t)只能扩展出 (r,c,1,t+1)

●由状态(r,c,1,t)可以扩展出：
(r+1,c,0,t+1)，(r-1,c,0,t+1)，(r,c+1,0,t+1)，(r,c-1,0,t+1)

迷宫问题变形一(百练4980,拯救行动)

判重数组:

```
int flag[M][N][2];
```

flag[r][c][0]表示在坐标(r,c)，尚未杀死守卫的情况
flag[r][c][1]表示在坐标(r,c)，已经杀死守卫的情况

其实只要 int flag[M][N]; 也可以.

迷宫问题变形二(百练6044, 鸣人和佐助)

要从迷宫中的起点 r走到终点a，迷宫中各个字符代表道路（@）、墙壁（#）、和守卫（x）。

能向上下左右四个方向走。不能走到墙壁。每走一步需要花费1分钟

行走过程中一旦遇到守卫，必须杀死守卫才能继续前进。 杀死一个守卫需要花费1块钱，最开始有n块钱。

求到达目的地最少用时

```
#@######@
#@a#@@r@
#@@#x@@@
@@#@@#@#
#@@@##@@
@#@@@@@@
@@@@@@@@
```

迷宫问题变形二(百练6044, 鸣人和佐助)

●状态表示:

```
struct Pos {
        int r,c;  //本节点的位置
        int m; //钱数
        int t; //走到本节点花的时间
 };
```

● 判重数组

flag[r][c][m]表示到达(r,c)时，钱数为m这种状态是否扩展过。

```
#@######@
#@a#@@r@
#@@#x@@@
@@#@@#@#
#@@@##@@
@#@@@@@@
@@@@@@@@
```

迷宫问题变形三(百练8436, Saving Tang Monk)

要从迷宫中的起点 r走到终点a，迷宫中各个字符代表道路（@）、墙壁（#）、和守卫（x），放有钥匙的道路（1--9，表示有9种钥匙）

行走过程中一旦遇到守卫，必须杀死守卫才能继续前进。 杀死一个守卫需要花费额外1分钟。最多5个守卫。

走到终点时，必须要每种钥匙至少有一把才算完成任务。钥匙不全，也可以经过终点。

想拿第k种钥匙，必须手里已经有第k-1种钥匙。拿不了钥匙，也可以经过放钥匙的地方

求完成任务最少用时

```
#@######@
#@a#@@r@
#@@#x@@@
@@#@@#1#
#@@2##@@
@#@@5@@@
@@@@@@@@
```

```
struct Status
{
        short r,c;
        short keys;
        short fighted;          //守卫是否打过
        int steps;
        short layout;           //守卫的局面(哪些被杀，哪些还没被杀)
};
char flags[100][100][10][33];   //判重
```

flags[r][c][k][x] 对应的状态是：

在位置(r,c)，手里有k把钥匙，守卫的局面是x

一共只有5个守卫，他们被杀或没被杀的情况一共有32种，可以用5个bit表示

广度优先搜索

八数码问题

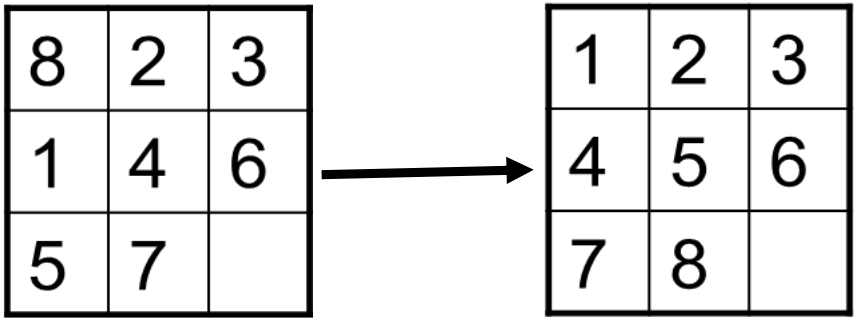
八数码（POJ1077）

- 八数码问题是人工智能中的经典问题

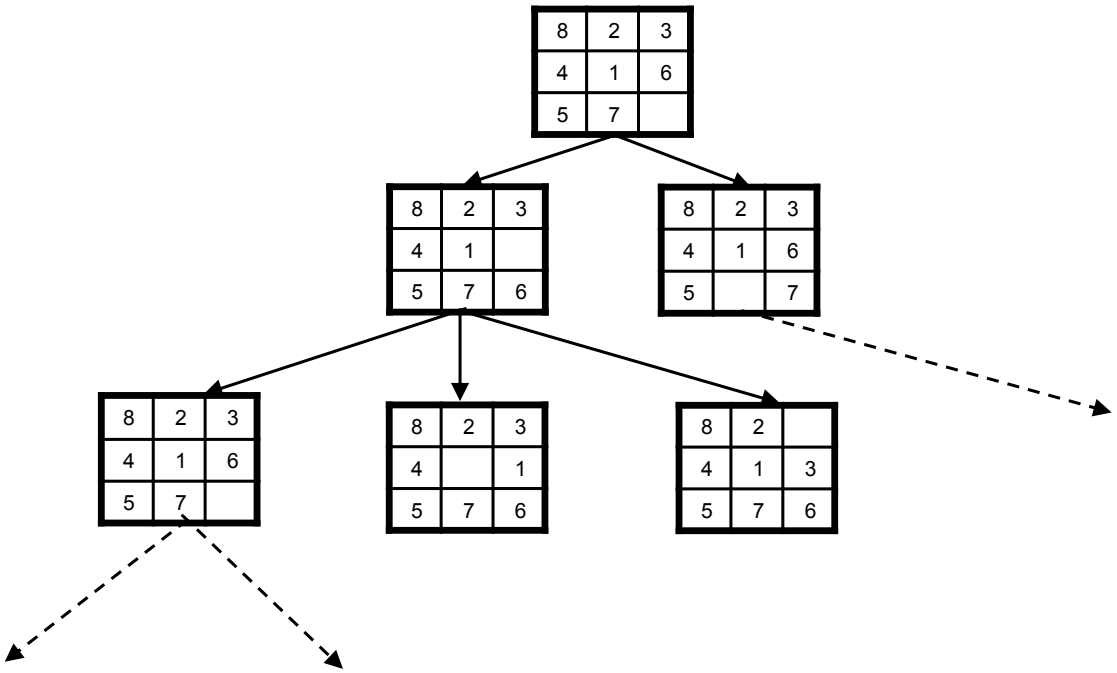
有一个3*3的棋盘，其中有0-8共9个数字，0表示空格，其他的数字可以和0交换位置。求由初始状态到达目标状态

1 2 3
4 5 6
7 8 0

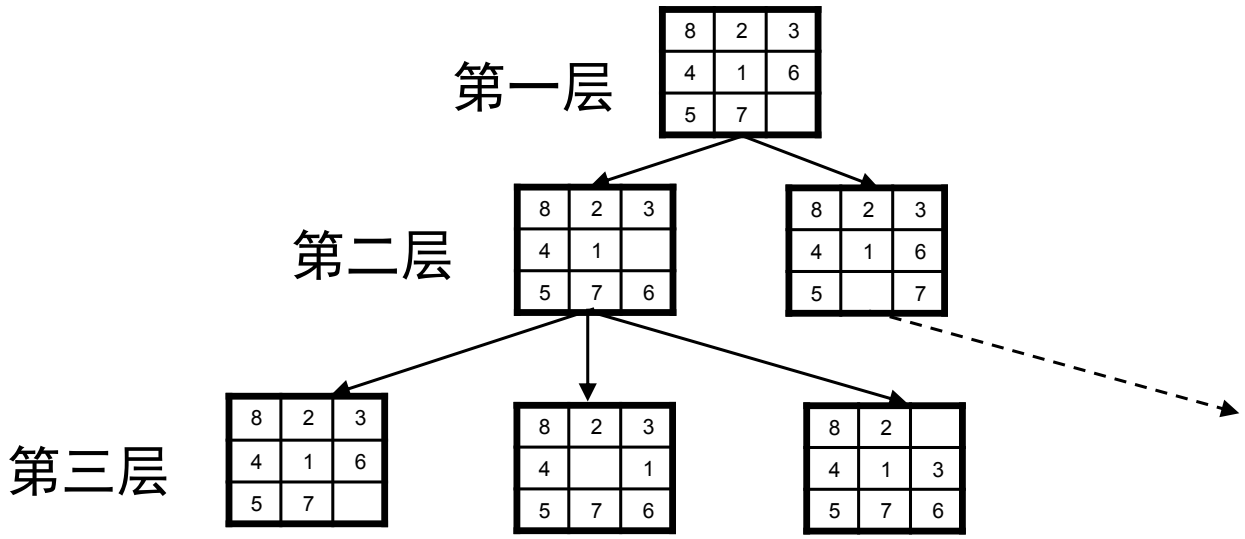
的步数最少的解。



- 状态空间

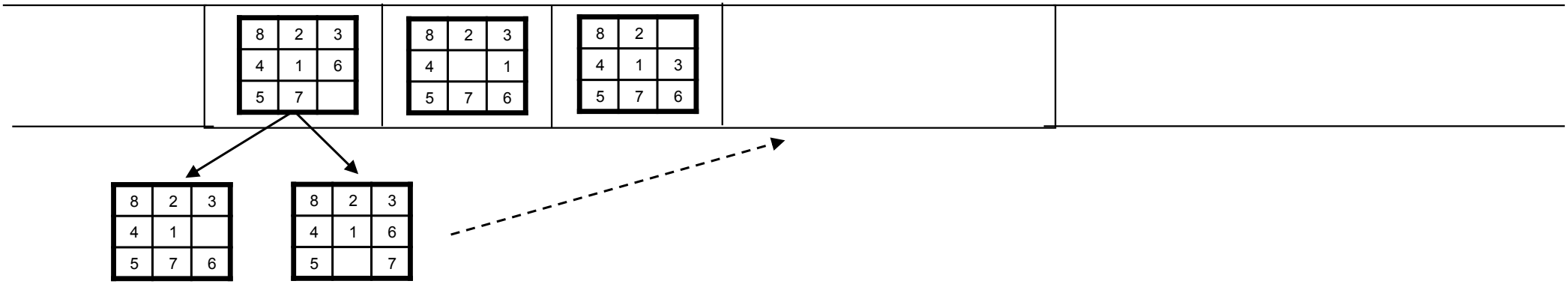


- 广度优先搜索（bfs）
  - 优先扩展浅层节点(状态)，逐渐深入



广度优先搜索

- 用队列保存待扩展的节点
- 从队首队取出节点，扩展出的新节点放入队尾，直到队首出现目标节点（问题的解）

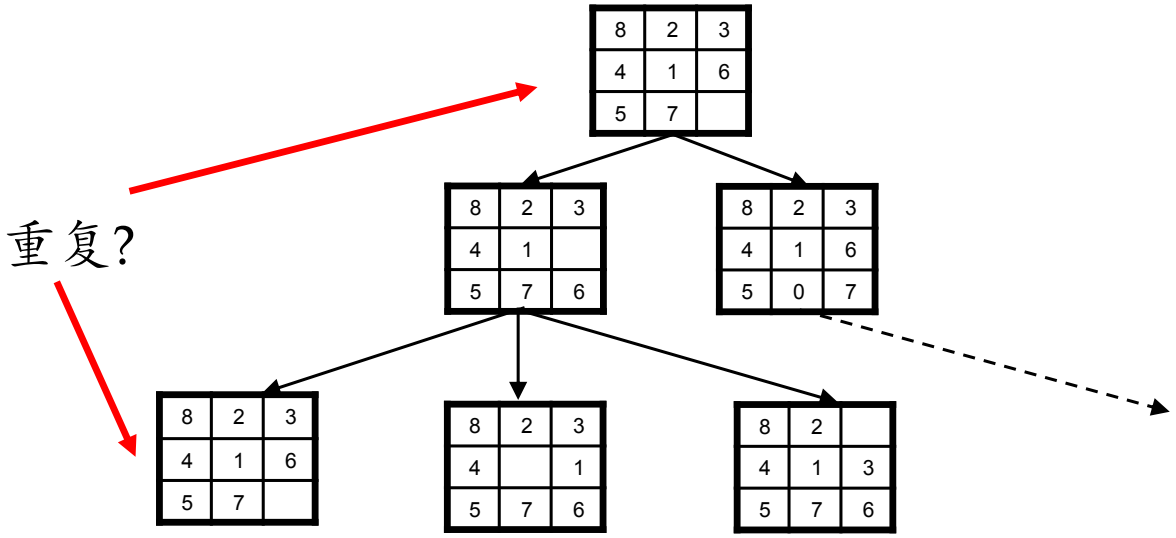


- 广度优先搜索的代码框架

```
BFS()
{
        初始化队列
        while(队列不为空且未找到目标节点)
        {
          取队首节点扩展，并将扩展出的非重复节点放入队尾；
                必要时要记住每个节点的父节点；
        }
}
```

关键问题：判重

- 新扩展出的节点如果和以前扩展出的节点相同，则则个新节点就不必再考虑
- 如何判重？



关键问题：判重

- 状态(节点）数目巨大，如何存储？
- 怎样才能较快判断一个状态是否重复？

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案一：

8	2	3
4	1	6
5	7	

每个状态用一个字符串存储，

要9个字节，太浪费了！！！

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案二：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 每个状态对应于一个9位数，则该9位数最大为876,543,210，小于2^{31}，则int 就能表示一个状态。
- 判重需要一个标志位序列，每个状态对应于标志位序列中的1位，标志位为0表示该状态尚未扩展，为1则说明已经扩展过了
- 标志位序列可以用字符数组a存放。a的每个元素存放8个状态的标志位。最多需要876,543,210位，因此a数组需要876,543,210 /8 + 1个元素，即 109,567,902 字节
- 如果某个状态对应于数x ,则其标志位就是a[x/8]的第x%8位
- 空间要求还是太大!!!!

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案三：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 将每个状态的字符串形式看作一个9位九进制数，则该9位数最大为$876543210_{(9)}$, 即 $381367044_{(10)}$ 需要的标志位数目也降为$381367044_{(10)}$ 比特,即47,670,881字节。
- 如果某个状态对应于数x ,则其标志位就是a[x/8]的第x%8位
- 空间要求还是有点大！！！！

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案三：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 状态数目一共只有9! 个，即$362880_{(10)}$个，怎么会需要 $876543210_{(9)}$ 即 $381367044_{(10)}$ 个标志位呢？

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案三：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 状态数目一共只有9! 个，即$362880_{(10)}$个，怎么会需要 $876543210_{(9)}$ 即 $381367044_{(10)}$ 个标志位呢？
- 如果某个状态对应于数x ,则其标志位就是a[x/8]的第x%8位
- 因为有浪费！例如，$666666666_{(9)}$ 根本不对应于任何状态，也为其准备了标志位！

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案四：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 把每个状态都看做’0’-’8’的一个排列，以此排列在全部排列中的位置作为其序号。状态用其排列序号来表示
- 012345678是第0个排列，876543210是第9!-1个
- 状态总数即排列总数：9!=362880
- 判重用的标志数组a只需要362,880比特即可。
- 如果某个状态的序号是x ,则其标志位就是a[x/8]的第x%8位

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案四：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 在进行状态间转移，即一个状态通过某个移动变化到另一个状态时，需要先把int形式的状态（排列序号），转变成字符串形式的状态，然后在字符串形式的状态上进行移动，得到字符串形式的新状态，再把新状态转换成int形式（排列序号）。

用合理的编码表示“状态”，减小存储代价

- 方案四：

8	2	3
4	1	6
5	7	

- 需要编写给定排列（字符串形式）求序号的函数
- 需要编写给定序号，求该序号的排列（字符串形式）的函数

给定排列求序号：

整数 1, 2…k的一个排列：
a1 a2 a3 …ak
求其序号
基本思想：算出有多少个排列比给定排列小。
先算1到a1-1放在第1位，会有多少个排列：(a1-1)*((k-1)!)
再算a1不变，1到a2-1 放在第2位(左边出现过的不能再用），会有多少个排列：(a2-1)*((k-2)!)
再算a1，a2不变，1到a3-1 放在第3位，会有多少个排列
….全加起来。 时间复杂度：$O(n^2)$

3241
1, 2放在第一位，有 2*3! = 12 种
3在第一位，1放在第2位，有 2! = 2种
32？ 1放在第3位，有 1种
=>前面共 12+2+1 = 15种。所以 3241是第16个排列

给定序号n求排列：

1234的排列的第9号

第一位假定是1，共有3!种，没有到达9，所以第一位至少是2

第一位是2，一共能数到 3!+3!号，>= 9，所以第一位是2

第二位是1，21??，一共能数到 3!+2! = 8 不到9，所以第二位至少是 3

第二位是3，23??，一共能数到 3!+2!+2! >= 9，因此第二位是3

第三位是1，一共能数到3!+2!+1 = 9，所以第三位是1，第四位是 4

答案：2314

时间复杂度：$O(n^2)$

- 时间与空间的权衡
  - 对于状态数较小的问题，可以用最直接的方式编码以空间换时间
  - 对于状态数太大的问题，需要利用好的编码方法以时间换空间
  - 具体问题具体分析

用广搜解决八数码问题(POJ1077)

输入数据：
2 3 4 1 5 0 7 6 8
输出结果：
ullddrurdllurdruldr

输出数据是一个移动序列，使得移动后结果变成

1 2 3
4 5 6
7 8

输入样例：

2 3 4
1 5
7 6 8

移动序列中
u 表示使空格上移
d 表示使空格下移
r 表示使空格右移
l 表示使空格左移

八数码问题有解性的判定

- 八数码问题的一个状态实际上是0~8的一个排列，对于任意给定的初始状态和目标，不一定有解，即从初始状态不一定能到达目标状态。
  - 因为排列有奇排列和偶排列两类，从奇排列不能转化成偶排列或相反。
- 如果一个数字0~8的随机排列，用F(X) (X!=0)表示数字X前面比它小的数（不包括0)的个数，全部数字的F(X)之和为Y=∑(F(X))，如果Y为奇数则称该排列是奇排列，如果Y为偶数则称该排列是偶排列。
  - 871526340排列的 Y=0+0+0+1+1+3+2+3=10，10是偶数，所以是偶排列。
  - 871625340排列的Y=0+0+0+1+1+2+2+3=9 9是奇数，所以是奇排列。
  - 因此，可以在运行程序前检查初始状态和目标状态的奇偶性是否相同，相同则问题可解，应当能搜索到路径。否则无解。

八数码问题有解性的判定

证明：移动0的位置，不改变排列的奇偶性

a1 a2 a3 a4 0 a5 a6 a7 a8 a9

0向上移动：

a1 0 a3 a4 a2 a5 a6 a7 a8 a9

八数码问题 ，单向广搜，用set判重，

```
#include <iostream>
#include <bitset>
#include <cstring>
#include <cstdio>
#include <cstdlib>
#include <set>
using namespace std;
int goalStatus = 123456780; //目标状态
const int MAXS = 400000;
char result[MAXS];    //要输出的移动方案
struct Node {
        int status; //状态
        int father; //父节点指针，即myQueue的下标
        char move;    //父节点到本节点的移动方式 u/d/r/l
        Node(int s,int f,char m):status(s), father(f),move(m) { }
        Node() { }
};
Node myQueue[MAXS];  //状态队列，状态总数362880
int qHead = 0;         //队头指针
int qTail = 1;  //队尾指针
char moves[] = "udrl"; //四种移动
```

```
int NewStatus( int status, char move) {
//求从status经过 move 移动后得到的新状态。若移动不可行则返回-1
        char tmp[20];
        int zeroPos; //字符'0'的位置
        sprintf(tmp,"%09d",status); //需要保留前导0
        for( int i = 0;i < 9; ++ i )
                if( tmp[i] == '0' ) {
                        zeroPos = i;
                        break;
                } //返回空格的位置
        switch( move) {
                case 'u':
                        if( zeroPos - 3 < 0 )
                                return -1; //空格在第一行
                        else {
                                tmp[zeroPos] = tmp[zeroPos - 3];
                                tmp[zeroPos - 3] = '0';
                        }
                        break;
```

```
case 'd':
        if( zeroPos + 3 > 8 )
                return -1; //空格在第三行
        else {
                tmp[zeroPos] = tmp[zeroPos + 3];
                tmp[zeroPos + 3] = '0';
        }
        break;
case 'l':
        if( zeroPos % 3 == 0)
                return -1; //空格在第一列
        else {
                tmp[zeroPos] = tmp[zeroPos -1];
                tmp[zeroPos -1 ] = '0';
        }
        break;
```

```
            case 'r':
                    if( zeroPos % 3 == 2)
                            return -1; //空格在第三列
                    else {
                            tmp[zeroPos] = tmp[zeroPos + 1];
                            tmp[zeroPos + 1 ] = '0';
                    }
                    break;
        }
        return atoi(tmp);
}
```

```
bool Bfs(int status) {
//寻找从初始状态status到目标的路径，找不到则返回false
        int newStatus;
        set<int> expanded;
        myQueue[qHead] = Node(status,-1,0);
        expanded.insert(status);
        while ( qHead != qTail) { //队列不为空
                status = myQueue[qHead].status;
                if( status == goalStatus ) //找到目标状态
                        return true;
                for( int i = 0;i < 4;i ++ ) { //尝试4种移动
                        newStatus = NewStatus(status,moves[i]);
                        if( newStatus == -1 )
                                continue; //不可移，试下一种
                        if(expanded.find(newStatus)!=expanded.end())
                                continue; //已扩展过，试下一种
                        expanded.insert(newStatus);
```

```
                    myQueue[qTail++] =
                            Node(newStatus,qHead,moves[i]);
                            //新节点入队列
                }
                qHead ++;
        }
        return false;
}
```

```
int main(){
        char line1[50];  char line2[20];
        while( cin.getline(line1,48)) {
                int i,j;
                //将输入的原始字符串变为数字字符串
                for( i = 0, j = 0; line1[i]; i ++ ) {
                        if( line1[i] != ' ' ) {
                                if( line1[i] == 'x' )
                                        line2[j++] = '0';
                                else
                                        line2[j++] = line1[i];
                        }
                }
                line2[j] = 0; //字符串形式的初始状态
```

```
            if( Bfs(atoi(line2))) {
                    int moves = 0;
                    int pos = qHead;
                    do {  //通过father找到成功的状态序列，输出相应步骤
                            result[moves++] = myQueue[pos].move;
                            pos = myQueue[pos].father;
                    } while( pos); //pos = 0 说明已经回退到初始状态了
                    for( int i = moves -1; i >= 0; i -- )
                            cout << result[i];
            }
            else
                    cout << "unsolvable" << endl;
    }
}
```

广度优先搜索

八数码问题进一步讨论

广搜与深搜的比较

- 广搜一般用于状态表示比较简单、求最优策略的问题
  - 优点：是一种完备策略，即只要问题有解，它就一定可以找到解。并且，广度优先搜索找到的解，还一定是路径最短的解。
  - 缺点：盲目性较大，尤其是当目标节点距初始节点较远时，将产生许多无用的节点，因此其搜索效率较低。需要保存所有扩展出的状态，占用的空间大
- 深搜几乎可以用于任何问题
  - 只需要保存从起始状态到当前状态路径上的节点
- 根据题目要求凭借自己的经验和对两个搜索的熟练程度做出选择

71