



浙江财经大学

Zhejiang University Of Finance & Economics



高级数据结构-Dijkstra

信智学院 陈琰宏

主要内容



01

Dijkstra算法

02

优先队列

03

案例实现

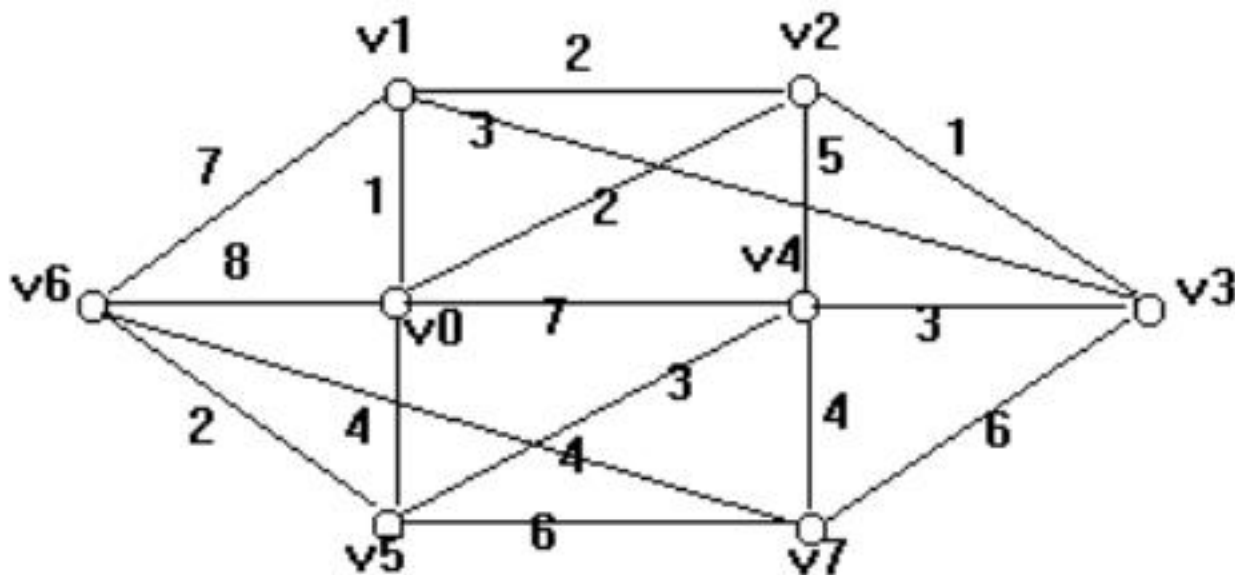
11.1 最短路径

交通的最短路径选择。



11.1 最短路径

8个城市 v_0, v_1, \dots, v_7 之间有一个公路网(如图所示), 每条公路为图中的边, 边上的权数表示通过该公路所需的时间. 设你处在城市 v_0 , 那么从 v_0 到其他各城市, 应选择什么路径使所需的时间最短?



11.1 最短路径

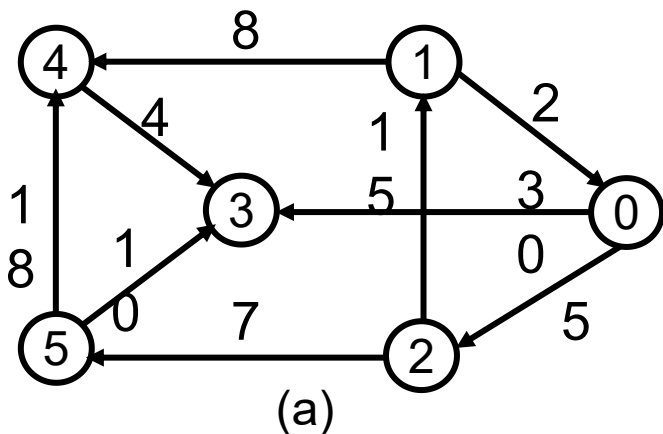


- ✓ **最短路径问题**：如果从图中某一顶点(称为**源点**)到达另一顶点(称为**终点**)的路径可能不止一条，如何找到一条路径，使得沿此路径各边上的权值总和达到最小。
 - ✓ 问题解法：
 1. **权值为非负的单源最短路径**问题(固定源点) — **Dijkstra** 算法(迪杰斯特拉算法)；
 2. **权值为任意值的单源最短路径**问题(固定源点) — **Bellman-Ford**算法(贝尔曼—福特算法)；
 3. **所有顶点之间的最短路径**问题 — **Floyd-Warshall**算法(弗洛伊德算法)；
-

11.1.1 Dijkstra算法

权值为非负的单源最短路径问题

- ✓ 问题的提出：给定一个带权有向图G与源点v，求从v到G中其它顶点的最短路径。限定各边上的权值大于或等于0。



在图(a)中，考虑顶点0到其他顶点的最短距离是多少？

顶点0到顶点1的最短路径距离是：20

顶点0到顶点2的最短路径距离是：5

顶点0到顶点3的最短路径距离是：22

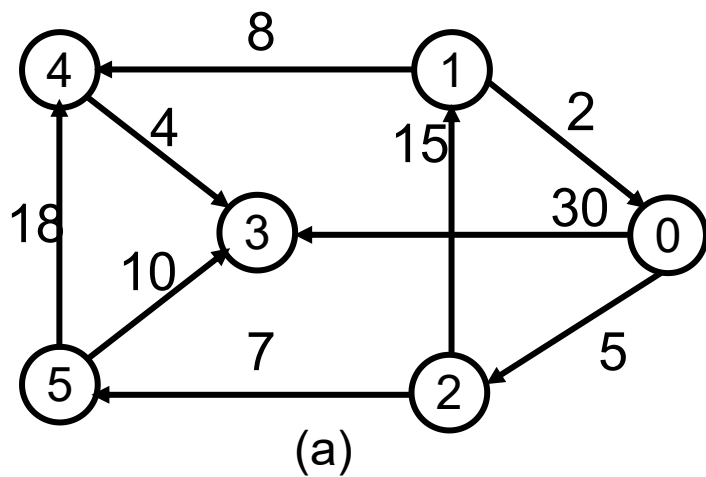
顶点0到顶点4的最短路径距离是：28

顶点0到顶点5的最短路径距离是：12

思考：这些最短距离是怎么求出来的？

11.1.1 Dijkstra算法

- ✓ 为求得这些最短路径，Dijkstra提出按路径长度的递增次序，逐步产生最短路径的算法。首先求出**长度最短**的一条最短路径，再参照它求出**长度次短**的一条最短路径，依次类推，直到从顶点 v 到其它各顶点的最短路径全部求出为止。



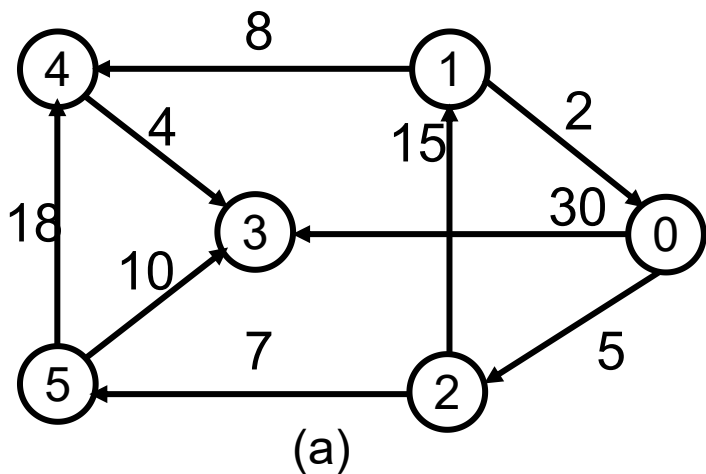
在图(a)中，考虑顶点0到其他顶点的最短距离是多少？

长度最短的最短路径是顶点0到顶点2的最短路径(就是顶点0到其他顶点的直接路径最短的路径)

长度次短的最短路径是顶点0到顶点5的最短路径(v_0, v_2, v_5)，其中(v_0, v_2)就是前面求出的长度最短的最短路径。

11.1.1 Dijkstra算法

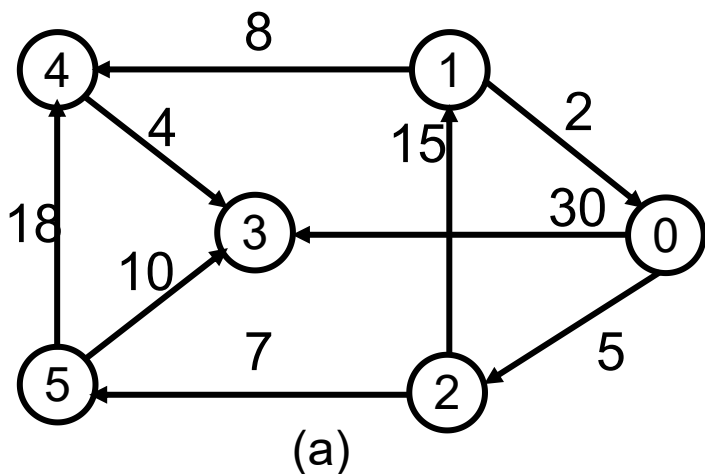
- ✓ 为求得这些最短路径，Dijkstra提出按路径长度的递增次序，逐步产生最短路径的算法。首先求出长度最短的一条最短路径，再参照它求出长度次短的一条最短路径，依次类推，直到从顶点v到其它各顶点的最短路径全部求出为止。



0	∞	5	30	∞	∞
2	0	∞	∞	8	∞
∞	15	0	∞	∞	7
∞	∞	∞	0	∞	∞
∞	∞	∞	4	0	∞
∞	∞	∞	10	18	0

11.1.1 Dijkstra算法的基本思想

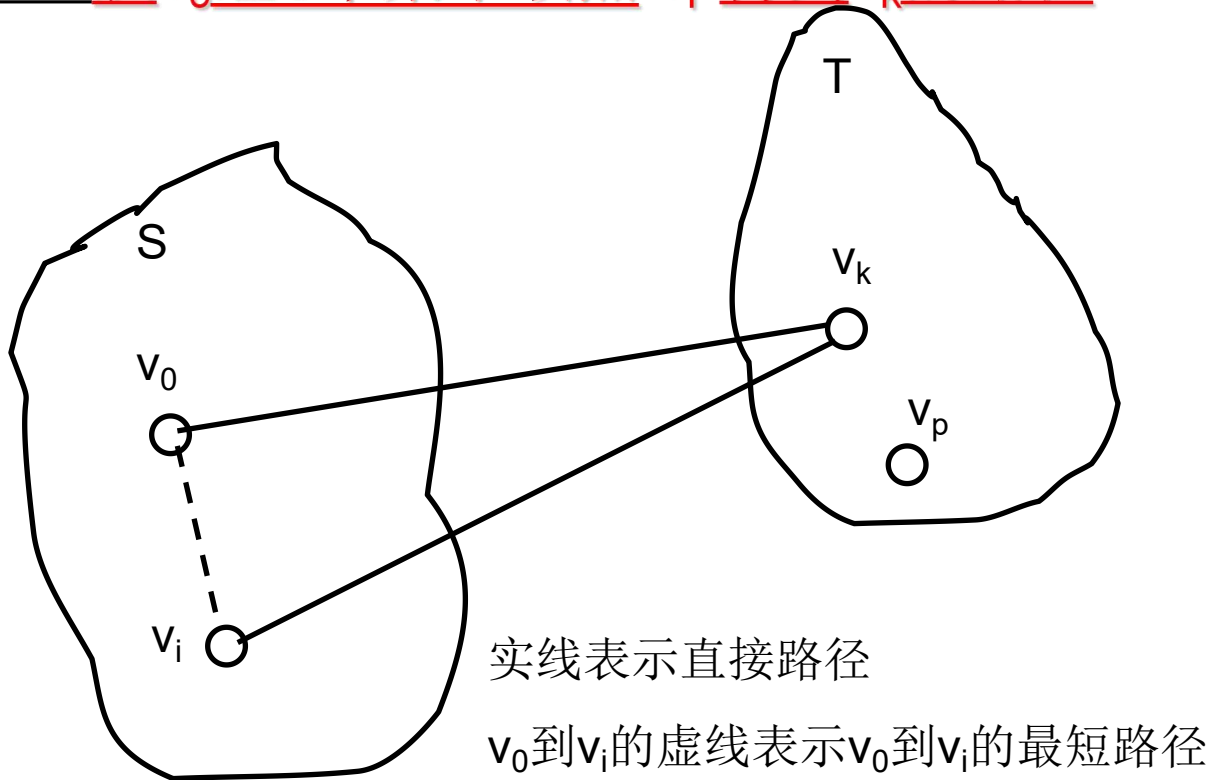
1. 设置两个顶点的集合**T**和**S**:
 - a. **S**中存放已找到最短路径的顶点，初始状态时，集合**S**中只有一个顶点，即源点 v_0 ;
 - b. **T**中存放当前还未找到最短路径的顶点;
2. 以后每求得一条最短路径 (v_0, \dots, v_k) ，就将 v_k 加入到顶点集合**S**中，直到所有的顶点都加入到集合**S**中，算法就结束了。



0	∞	5	30	∞	∞
2	0	∞	∞	8	∞
∞	15	0	∞	∞	7
∞	∞	∞	0	∞	∞
∞	∞	∞	4	0	∞
∞	∞	∞	10	18	0

11.1.1 Dijkstra算法的基本思想

- 可以证明 v_0 到T中顶点 v_k 的最短路径，要么是从 v_0 到 v_k 的直接路径；要么是从 v_0 经S中某个顶点 v_i 再到 v_k 的路径。



算法的具体步骤



1. 初始时， S 中包含源点 v_0 。
 2. 然后不断从 T 中选取到顶点 v_0 路径长度最短的顶点 u ，找到后：
 - a) 把顶点 u 加入到 S ；
 - b) 修改顶点 v_0 到 T 中剩余顶点的最短路径长度值。 T 中各顶点新的最短路径长度值为： **$\min\{\text{原来的最短路径长度值, 顶点}u\text{的最短路径长度}+u\text{到该顶点的路径长度值}\}$ ；**
 3. 重复2，直到 T 的顶点全部加入 S 为止。
-

算法的具体步骤



在dijkstra算法里设置2个数组:

- 1) **dist[n]**: $\text{dist}[i]$ 表示当前找到的从源点 v_0 到终点 v_i 的最短路径的长度, 初始状态下, $\text{dist}[i]$ 为 $E[v_0][i]$, 即邻接矩阵的第 v_0 行。
 - 2) **S[n]**: $S[i]$ 为0表示顶点 v_i 还未加入到集合S中, $S[i]$ 为1表示 v_i 已经加入到集合S中。初始状态下, $S[v_0]$ 为1, 其余为0, 表示最初集合S中只有顶点 v_0 。
-

算法的具体步骤

在dijkstra算法里重复做以下工作：

- 1) 在 $dist[]$ 里查找 $S[i] \neq 1$ ，并且 $dist[i]$ 最小的顶点 u ，
- 2) 将 $S[u]$ 改为1，表示顶点 u 已经加入进来了。
- 3) 修改其它顶点的 $dist[]$ 。当 $S[k] \neq 1$ ，且顶点 v_k 到顶点 v_u 有边 ($E[u][k] < MAX$)，且 $dist[u] + E[u][k] < dist[k]$ ，则修改 $dist[k]$ 为 $dist[u] + E[u][k]$ 。

递推公式：

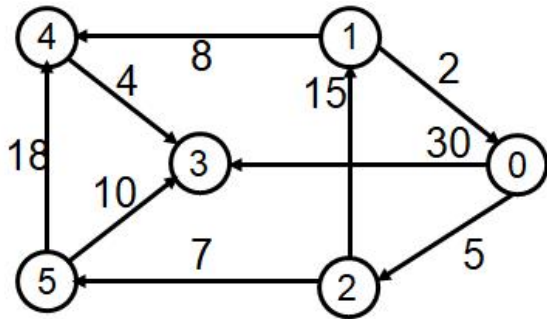
初始： $dist[k] = Edge[v_0][k]$ ， v_0 是源点

递推： $dist[k] = \min \{ dist[k], dist[u] + Edge[u][k] \}$ ， $v_k \in T$

其中 v_u 是当前 $dist[]$ 最小的顶点。

算法的具体步骤

源点为0



$$\begin{bmatrix} 0 & \infty & 5 & 30 & \infty & \infty \\ 2 & 0 & \infty & \infty & 8 & \infty \\ \infty & 15 & 0 & \infty & \infty & 7 \\ \infty & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 4 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 18 & 0 \end{bmatrix}$$

1. 在T选取dist[]最小的顶点u
2. 将u加入到S
3. 修改T中顶点的dist[]

	S	dist
0	1	0
1	0	∞
2	0	5
3	0	30
4	0	∞
5	0	∞

初始状态

0	1	0
1	1	20
2	1	5
3	0	22
4	0	28
5	1	12

(3)

	S	dist
0	1	0
1	0	20
2	1	5
3	0	30
4	0	∞
5	0	12

(1)

0	1	0
1	1	20
2	1	5
3	1	22
4	0	28
5	1	12

(4)

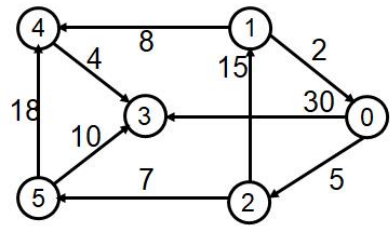
	S	dist
0	1	0
1	0	20
2	1	5
3	0	22
4	0	30
5	1	12

(2)

0	1	0
1	1	20
2	1	5
3	1	22
4	1	28
5	1	12

(5)

算法的具体步骤



	S	dist	path
0	1	0	-1
1	0	∞	-1
2	0	5	0
3	0	30	0
4	0	∞	-1
5	0	∞	-1

初始状态

	S	dist	path
0	1	0	-1
1	0	20	2
2	1	5	0
3	0	30	0
4	0	∞	-1
5	0	12	2

(1)

	S	dist	path
0	1	0	-1
1	0	20	2
2	1	5	0
3	0	22	5
4	0	30	5
5	1	12	2

(2)

0	∞	5	30	∞	∞
2	0	∞	∞	8	∞
∞	15	0	∞	∞	7
∞	∞	∞	0	∞	∞
∞	∞	∞	4	0	∞
∞	∞	∞	10	18	0

	S	dist	path
0	1	0	-1
1	1	20	2
2	1	5	0
3	0	22	5
4	0	28	1
5	1	12	2

(3)

	S	dist	path
0	1	0	-1
1	1	20	2
2	1	5	0
3	1	22	5
4	0	28	1
5	1	12	2

(4)

	S	dist	path
0	1	0	-1
1	1	20	2
2	1	5	0
3	1	22	5
4	1	28	1
5	1	12	2

(5)

算法的具体代码

该算法可以实现的功能为：指定一个源点，指定一个终点，求源点到终点的最短路径。

```
#define max_v_num 10
#define max 1000000
int Edge[max_v_num][max_v_num];
int vexnum;
```

```
/*
```

$dist[i]$ 表示当前找到的从源点 v_0 到终点 v_i 的最短路径的长度，初始状态下， $dist[i]$ 为 $E[v_0][i]$ ，即邻接矩阵的第 v_0 行。

$S[i]$ 为0表示顶点 v_i 还未加入到集合 S 中， $S[i]$ 为1表示 v_i 已经加入到集合 S 中。

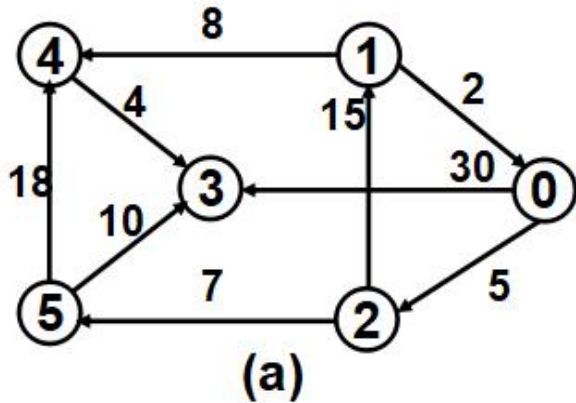
初始状态下， $S[v_0]$ 为1，其余为0，表示最初集合 S 中只有顶点 v_0 。

```
*/
```


算法的具体代码

```
13 void Dijistra(int v, int end){ //v 源点 end 终点
14     int dis[max_v_num], S[max_v_num];
15     int i, j, k;
16     for(i=0; i<vexnum; i++){
17         dis[i]=Edge[v][i]; //初始化dist[i]
18         S[i]=0; //让所有的顶点归到一个初始集合T
19     }
20     S[v]=1, dis[v]=0; //把源点v 加入到集合S 中, 初始化路径数组
21
22     for(i=0; i<vexnum-1; i++){ //寻路除源点外的其他顶点
23         int min=max, u=v;
24         for(j=0; j<vexnum; j++){
25             if(S[j]==0&&dis[j]<min){u=j; min=dis[j];}
26         } //1 找到当前的最短路径
27
28         S[u]=1; //2 把找到的顶点加入到集合S 中
29
30         for(k=0; k<vexnum; k++){ //u点加入到集合T后, 多出了新的路径,
31             //即通过u点可以达到新的顶点, 更新dis[] 数组
32             if(S[k]==0&&Edge[u][k]<max&&dis[u]+Edge[u][k]<dis[k]){
33                 dis[k]=dis[u]+Edge[u][k];
34             }
35         }
36     }
37     cout<<dis[end];
38 }
```

1 [3333]: 迪杰斯特拉



输入顶点数n 边数m, m条边的顶点和权值; 输出: 顶点0到每个顶点的最短路径

样例输入

```
6 9
0 2 5
0 3 30
1 0 2
1 4 8
2 1 15
2 5 7
4 3 4
5 3 10
5 4 18
0 4
```

样例输出

```
28
```

0	∞	5	30	∞	∞
2	0	∞	∞	8	∞
∞	15	0	∞	∞	7
∞	∞	∞	0	∞	∞
∞	∞	∞	4	0	∞
∞	∞	∞	10	18	0

```
34 int main(){
35     int i,j;
36     int n,m; // 顶点数和边数
37     int u,v,w; // 边的起始点和改边的权值
38     int x,y; // 源点和终点
39     cin>>n>>m;
40     vexnum=n;
41     for(i=0;i<n;i++)
42         for(j=0;j<n;j++)
43             if(i==j)Edge[i][j]=0;
44             else Edge[i][j]=max;
45     for(i=0;i<m;i++){
46         cin>>u>>v>>w;
47         Edge[u][v]=w;
48     }
49     cin>>x>>y;
50     Dijistra(x,y);
51     return 0;
52 }
```

```
1  #include<iostream>
2  using namespace std;
3  #define max_v_num 10
4  #define max 1000000
5  int Edge[max_v_num][max_v_num];
6  int vexnum;
7  /*
8  dist[i]表示当前找到的从源点v0到终点vi的最短路径的长度，
9  初始状态下，dist[i]为E[v0][i]，即邻接矩阵的第v0行。
10 s[i]为0表示顶点vi还未加入到集合S中，s[i]为1表示vi已经加入到集合S中。
11 初始状态下，s[v0]为1，其余为0，表示最初集合S中只有顶点v0。
12 */
```

```
13 void Dijistra(int v, int end) //v 源点 end终点
14     int dis[max_v_num], S[max_v_num];
15     int i, j, k;
16     for(i=0; i<vexnum; i++){
17         dis[i]=Edge[v][i]; //初始化dist[i]
18         S[i]=0; //让所有的顶点归到一个初始集合T
19     }
20     S[v]=1, dis[v]=0; //把源点v加入到集合S中, 初始化路径数组
21
22     for(i=0; i<vexnum-1; i++){ //寻路除源点外的其他顶点
23         int min=max, u=v;
24         for(j=0; j<vexnum; j++){
25             if(S[j]==0&&dis[j]<min){u=j; min=dis[j];}
26         } //1 找到当前的最短路径
27
28         S[u]=1; //2 把找到的顶点加入到集合S中
29
30         for(k=0; k<vexnum; k++){ //u点加入到集合T后, 多出了新的路径,
31             //即通过u点可以达到新的顶点, 更新dis[] 数组
32             if(S[k]==0&&Edge[u][k]<max&&dis[u]+Edge[u][k]<dis[k]){
33                 dis[k]=dis[u]+Edge[u][k];
34             }
35         }
36     }
37     cout<<dis[end];
38 }
```

比较： Prim和Dijkstra的区别

Prim和Dijkstra大同小异，唯一的区别是
prim是维护树到其余节点的最小路径，而
dijkstra是维护源节点到各个节点的最小路径。

比较：最小生成树和最短路径的区别



最小生成树：

最小生成树能够保证整个拓扑图的所有路径之和最小，但不能保证任意两点之间是最短路径。

最短路径：

最短路径是从一点出发，到达目的地的路径最小。

总结：

- 遇到求所有路径之和最小的问题用最小生成树&并查集解决；
- 遇到求两点间最短路径问题的用最短路，即从一个城市到另一个城市最短的路径问题。

区别：

最小生成树构成后所有的点都被连通，而最短路只要到达目的地走的是最短的路径即可，与所有的点连不连通没有关系。

算法复杂度分析

用邻接矩阵存储图，Dijkstra算法的复杂度为 $O(n^2)$

能不能降低时间复杂度？

采用邻接表+优先队列



独立思考与判断

11.2 优先队列



普通的队列是一种先进先出的数据结构，元素在队列尾追加，而从队列头删除。

在优先队列中，元素被赋予优先级。当访问元素时，具有最高优先级的元素最先删除。优先队列具有最高级先出（first in, largest out）的行为特征。

11.2.1 优先队列用法

1. 头文件

`#include<queue>`//与队列相同，不必引入vector的头文件

2. 定义方式

`priority_queue<int> p;`//默认，最大值优先，是大顶堆一种简写方式
`priority_queue<int,vector<int>,greater<int>>q1;`//最小值优先，小顶堆
`priority_queue<int,vector<int>,less<int> >q2;`//最大值优先，大顶堆

//对于基础类型 默认是大顶堆

```
priority_queue<int> a;
```

```
//等同于 priority_queue<int, vector<int>, less<int> > a;
```

// 这里一定要有空格，不然成了右移运算符↓ ↓

```
priority_queue<int, vector<int>, greater<int> > c; //这样就是小顶堆
```

```
priority_queue<string> b;
```

其中第一个参数是数据类型，第二个参数为容器类型。第三个参数为比较函数。

```

1 #include<iostream>
2 #include <queue>
3 using namespace std;
4 int main()
5 {
6     //对于基础类型 默认是大顶堆
7     priority_queue<int> a;
8     //等同于 priority_queue<int, vector<int>, less<int> > a;
9
10    // 这里一定要有空格, 不然成了右移运算符 ↓ ↓
11    priority_queue<int, vector<int>, greater<int> > c; //这样就是小顶堆
12    priority_queue<string> b;
13
14    for (int i = 0; i < 5; i++){
15        a.push(i);
16        c.push(i);
17    }
18    while (!a.empty())
19    {
20        cout << a.top() << ' ';
21        a.pop();
22    }
23    cout << endl;

```

```

4 3 2 1 0
0 1 2 3 4
cbd abcd abc

```

```

25    while (!c.empty())
26    {
27        cout << c.top() << ' ';
28        c.pop();
29    }
30    cout << endl;
31
32    b.push("abc");
33    b.push("abcd");
34    b.push("cbd");
35    while (!b.empty())
36    {
37        cout << b.top() << ' ';
38        b.pop();
39    }
40    cout << endl;
41    return 0;
42 }

```

11.2.1 优先队列用法



```
struct node
{
    int dis, num;
};
priority_queue<node>que;
bool operator<(const node &a, const node &b)
{
    return a.dis > b.dis;
} // 按照dis从小到大排序
```

11.2.1 优先队列用法



```
struct node
{
    string name;
    int price;
    friend bool operator< (node a, node b)
    {
        return a.price < b.price;
        // 相当于less,这是大顶堆, 反之则是小顶堆, 最大值优先
    }
} stu; //定义结构体变量
```

这样直接可以:

```
priority_queue<node > q;
```

11.2.1 优先队列用法



`q.push(x)` //将x加入队列中，即入队操作

`q.pop()` //出队操作(删除队列首元素)，只是出队，没有返回值

`q.top()` //返回第一个元素(队首元素)优先队列的队首用top

`q.size()` //返回栈队列中的元素个数

`q.empty()` //当队列为空时，返回 true

11.2.3 Vector介绍



在使用数组的时候，必须指定数组的长度，一旦配置了就不能改变了，通常我们的做法是尽量配置一个大的空间，以免不够用，这样做的缺点是比较浪费空间，预估空间不当会引起很多不便。

STL实现了一个Vector容器，该容器就是来改善数组的缺点。vector是一个动态空间，随着元素的加入，它的内部机制会自行扩充以容纳新元素。因此，vector的运用对于内存的合理利用与运用的灵活性有很大的帮助，再也不必因为害怕空间不足而一开始就配置一个大容量数组了，vector是用多少就分配多少。

11.2.3 Vector介绍



使用vector容器之前必须加上<vector>头文件：`#include<vector>`;
vector成员函数

c. `push_back(elem)` 在尾部插入一个elem数据。

```
vector<int> v;  
v.push_back(1);
```

c. `pop_back()` 删除末尾的数据。

```
vector<int> v;  
v.pop_back();
```

c. `assign(beg, end)` 将 `[beg, end)` 一个左闭右开区间的数据赋值给c。

11.2.3 Vector介绍



`clear()` 清空当前的vector

`max_size()` 得到vector最大可以是多大

`empty()` 判断vector是否为空

`size()` 当前使用数据的大小

`at` 得到编号位置的数据

`begin` 得到数组头的指针

`end` 得到数组的最后一个单元+1的指针

`front` 得到数组头的引用

`back` 得到数组的最后一个单元的引用

`capacity` 当前vector分配的大小

`resize` 改变当前使用数据的大小，如果它比当前使用的大，者填充默认值

`reserve` 改变当前vecotr所分配空间的大小

`erase` 删除指针指向的数据项

11.2.4 [3333]: 迪杰斯特拉

如图，求最短路径。

输入

顶点数n 边数m

m条边的顶点和权值

某两个顶点

输出

顶点0到每个顶点的最短路径

样例输入

6 9

0 2 5

0 3 30

1 0 2

1 4 8

2 1 15

2 5 7

4 3 4

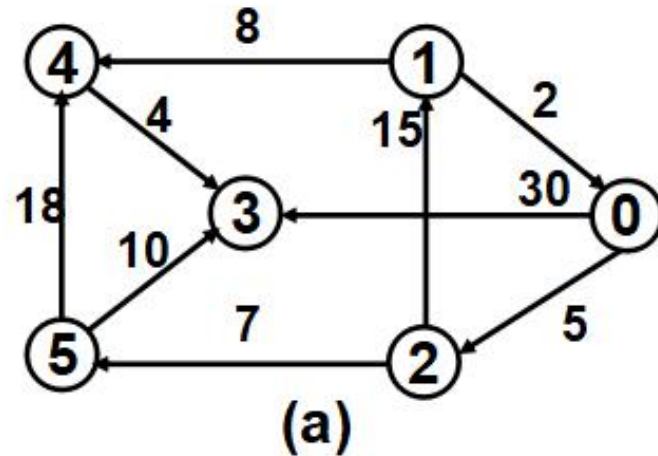
5 3 10

5 4 18

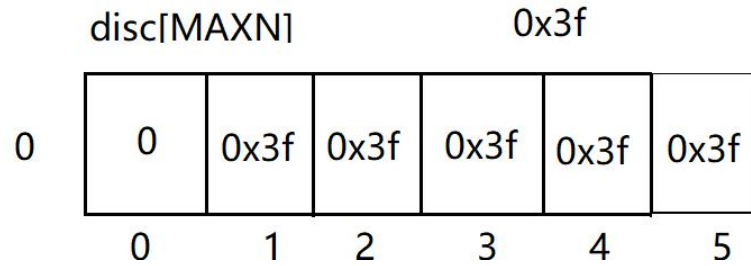
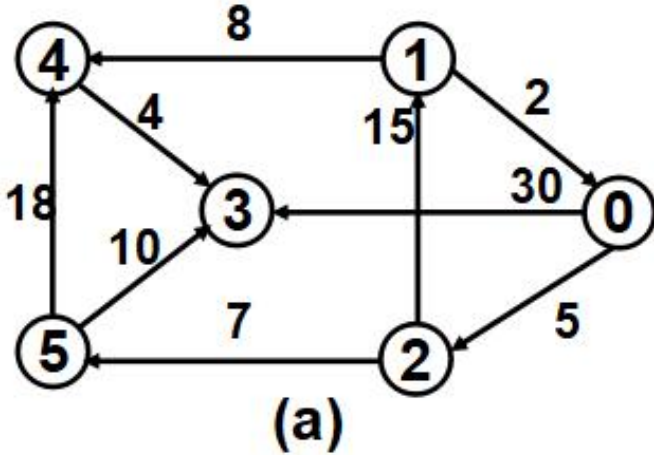
0 4

样例输出

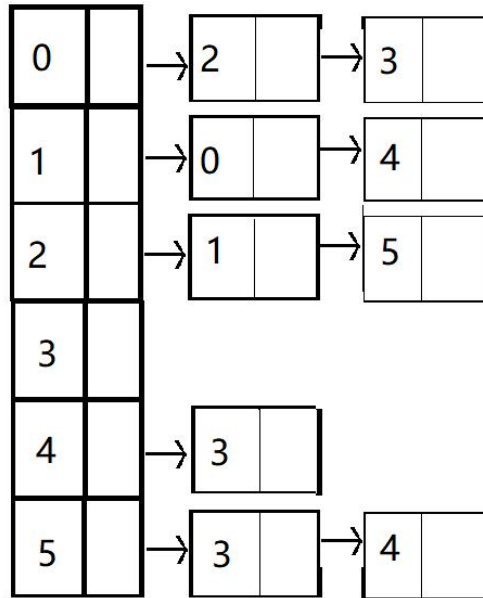
28



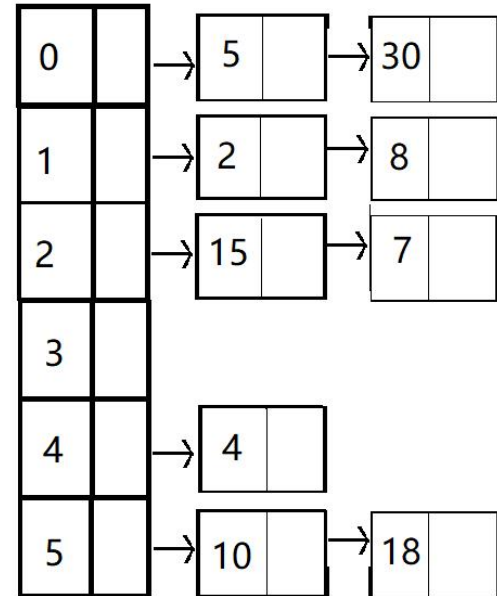
11.2.4.1 建立邻接表



g[MAXN] g[u].push_back(v)



c[MAXN] c[u].push_back(w)

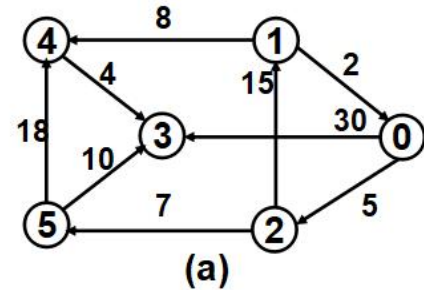
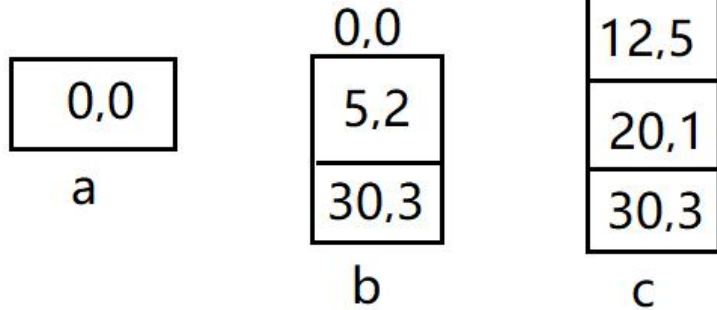


11.2.4.2 建立优先队列

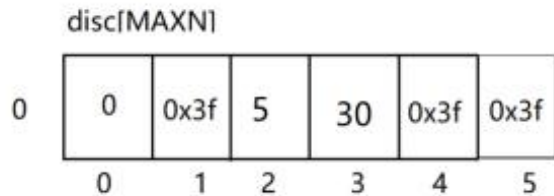
```
1  #include<bits/stdc++.h>
2  using namespace std;
3  const int inf=0xffffffff;
4  const int MAXN=100;
5  int edge[MAXN][MAXN]; //边信息
6  int disc[MAXN]; //保存源点到各点的最短距离
7  vector<int>g[MAXN], c[MAXN];
8  struct node
9  {
10     int dis; //dis表示源点到当前点num的距离
11     int num; //编号
12 };
13 priority_queue<node>que; //优先队列
14 bool operator<(const node &a, const node &b)
15 {
16     return a.dis > b.dis; //按照dis从小到大排
17 }
```

11.2.4.2 建立优先队列

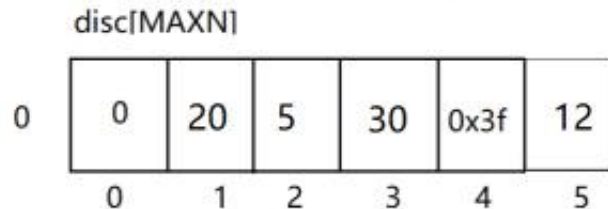
1. 初试队列为空,源点 v0 入队



2. 从 v0 出发, 走 v2、v5。将 v2,v5 入队, 根据优先队列原则, dis 最小的处于队头, 同时更新 disc[] 数组。

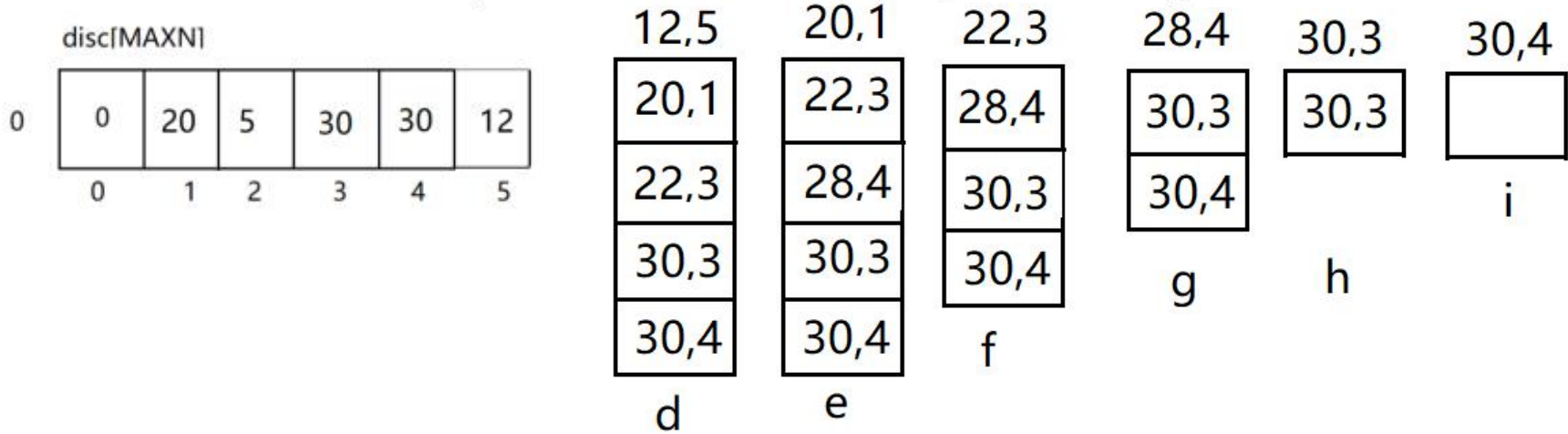


3. 弹出 v2, 从 v2 出发, 走 v1,v5,更新优先队列如 c 所示, 同时更新 disc[] 数组

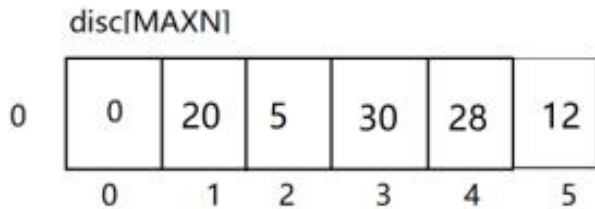


11.2.4.2 建立优先队列

4. 弹出 v_5 , 从 V_5 出发, 走 V_3, V_4 , 更新优先队列如 d 所示, 同时更新 $disc[]$ 数组



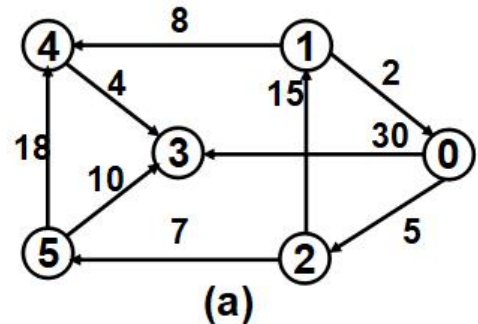
5. 弹出 v_1 , 从 v_1 出发, 走 V_0, V_4 , 更新优先队列如 e 所示, 同时更新 $disc[]$ 数组



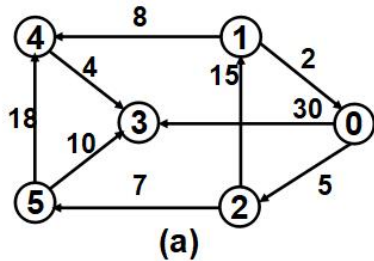
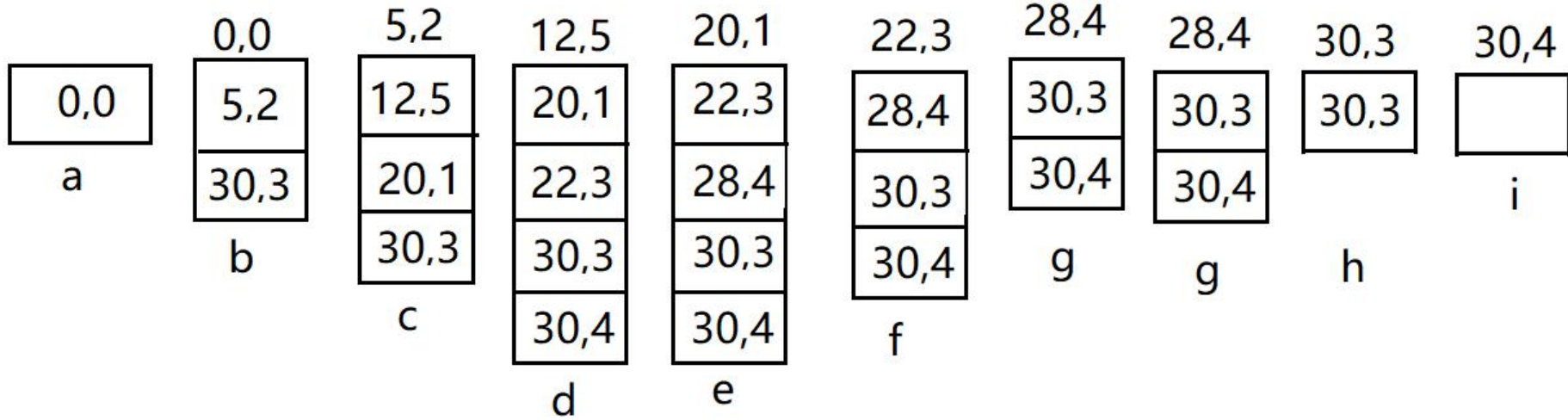
6. 弹出 V_3 , 从 V_3 出发, 无路可走, 更新优先队列如 f 所示。

7. 弹出 v_4 , 从 v_4 出发, $disc[]$ 没有更新, 如图 g。

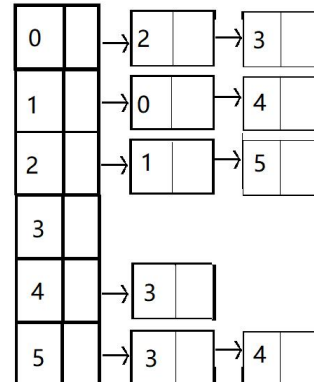
8. 到结束。



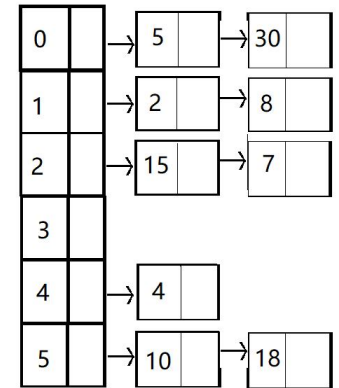
11.2.4.2 建立优先队列



g[MAXN] g[u].push_back(v)



c[MAXN] c[u].push_back(w)



11.2.4.3 代码

```
44 int main(){
45     int n,m;
46     int u,v,w;
47     int st,ed;
48     cin>>n>>m;
49     //队尾添加元素:  vec.push_back();
50     //队尾删除元素:  vec.pop_back();
51     for(int i=0;i<m;i++){
52         cin>>u>>v>>w;
53         g[u].push_back(v);//u是邻接表出来的端点, uv是一条边
54         c[u].push_back(w);//存权值
55     }
56     cin>>ed;
57     Dijistra(0,ed);
58     return 0;
59 }
```


11.2.4.3 代码

```
19 void Dijistra(int v, int end){
20     memset(disc, 0x3f, sizeof(disc));
21     disc[v] = 0; //初始化, 源点到其他点初始距离为极大值
22     node tmp;
23     tmp.num = v; tmp.dis = 0; //初试源点
24     que.push(tmp); //源点入队
25     while(!que.empty())
26     {
27
28         node now = que.top(); //得到dis最小点
29         que.pop();
30         if(now.dis != disc[now.num])
31             continue; //disc数组中存在的最短距离, 如果取出来的边不是最小的就
32         for(int i = g[now.num].size() - 1; i >= 0; i --)
33             { //遍历邻接表
34                 int to = g[now.num][i];
35                 if(disc[to] > disc[now.num] + c[now.num][i])
36                 {
37                     disc[to] = disc[now.num] + c[now.num][i];
38                     que.push(node{disc[to], to});
39                 }
40             }
41     }
42     cout << disc[end] << endl;
43 }
```

11.2.4.3 代码



```
19 void Dijistra(int v, int end){
20     memset(disc, 0x3f, sizeof(disc));
21     disc[v] = 0; // 初始化, 源点到其他点初始距离为极大值
22     node tmp;
23     tmp.num = v; tmp.dis = 0; // 初始源点
24     _____ // 源点入队
25     while(!que.empty())
26     {
27
28         node now = _____; // 得到dis最小点
29         que.pop();
30         if(now.dis != disc[now.num])
31             continue; // disc数组中存在的最短距离, 如果取出来的边不是最小的就
32         for(_____ )
33         { // 遍历邻接表
34             int to = g[now.num][i];
35             if(_____ )
36             {
37                 disc[to] = _____;
38                 que.push(node{disc[to], to});
39             }
40         }
41     }
42     cout << disc[end] << endl;
43 }
```

11.3 2 [2901]:香甜的黄油



农夫John发现做出全威斯康辛州最甜的黄油的方法：糖。把糖放在一片牧场上，他知道 N ($1 \leq N \leq 500$) 只奶牛会过来舔它，这样就能做出能卖好价钱的超甜黄油。当然，他将付出额外的费用在奶牛上。

农夫John很狡猾。像以前的巴甫洛夫，他知道他可以训练这些奶牛，让它们在听到铃声时去一个特定的牧场。他打算将糖放在那里然后下午发出铃声，以至他可以在晚上挤奶。

农夫John知道每只奶牛都在各自喜欢的牧场（一个牧场不一定只有一头牛）。给出各头牛在的牧场和牧场间的路线，找出使所有牛到达的路程和最短的牧场（他将把糖放在那）。

11.3 [2901]:香甜的黄油



输入

第一行：三个数：奶牛数 N ，牧场数 P ($2 \leq P \leq 800$)，牧场间道路数 C ($1 \leq C \leq 1450$)。

第二行到第 $N+1$ 行：1到 N 头奶牛所在的牧场号。第 $N+2$ 行到第

$N+C+1$ 行：每行有三个数：相连的牧场 A 、 B ，两牧场间距 ($1 \leq D \leq 255$)，当然，连接是双向的。

输出

一行 输出奶牛必须行走的最小的距离和。

样例输入

3 4 5

2

3

4

1 2 1

1 3 5

2 3 7

2 4 3

3 4 5

样例输出

8

分析：这是一道最短路的升级应用，根据题意，我们需要找到一个距离所有牛最短的牧场。那么只需要枚举所有牧场为起点，求此时所有其他牧场到它的最短路之和即可。然后输出所有牧场中最短距离即为答案。

但节点数达到800，显然 n^3 的会超时，那么只能考虑优化，可以采用优先队+dijkstra或者SPFA。

点的个数 $p = 800$ ，边的个数1500

朴素版Dijkstra 复杂度是 $O(n^3)$

$O(n^3) \quad n^3 = 5.12 * 10^8$

堆优化版dijkstra 复杂度是 $O(nm \log n)$

$nm \log n = 1.2 * 10^7$

spfa 复杂度是 $O(nm)$

$O(nm)$ 平均是2到3倍即 $3 * nm = 3.9 * 10^6$

方法一：vector+优先队列

```
1  #include<bits/stdc++.h>
2  using namespace std;
3  const int maxn = 2e3 + 10;
4  vector<int>g[maxn], w[maxn];
5
6  struct node
7  { //dis表示起点到该点的距离, num表示该点的编号
8      int dis, num;
9  };
10 priority_queue<node>que;
11 bool operator<(const node &a, const node &b)
12 {
13     return a.dis > b.dis;
14 }
15 int n, p, c;
16 int vis[maxn]; //vis表示这个区域里有几头奶牛
17 int disc[maxn]; //表示每个点到起点的距离
```

```
52 int main()
53 {
54     scanf("%d %d %d", &n, &p, &c);
55     //奶牛数N, 牧场数P, 牧场间道路数C
56     for (int i = 1; i <=n; ++ i)
57     {
58         int x;
59         scanf("%d", &x); //x区域的奶牛数量+1
60         vis[x] ++;
61     }
62     while(c --)
63     {
64         int x, y, c;
65         //相连的牧场A、B, 两牧场间距
66         scanf("%d %d %d", &x, &y, &c);
67         //由于只说是有边, 所以存双向边
68         g[x].push_back(y); //u是邻接表出来的端点, uv是一条边
69         w[x].push_back(c); //存权值
70         g[y].push_back(x);
71         w[y].push_back(c);
72     }
73     //枚举把黄油放在每一个牧场, 求解, 最后取一个极小值
74     int ans = 1e9;
75     for(int i = 1; i <= p; i ++){
76         ans = min (ans, dijkstra(i));
77     }
78     printf("%d\n", ans);
79     return 0;
80 }
```

```

19 int dijkstra(int x)
20 {
21     memset(disc, 0x3f, sizeof(disc));
22     disc[x] = 0; // 起点到起点的距离为0
23     que.push(node{0, x}); // 起点入队
24     while(!que.empty())
25     {
26         node now = que.top();
27         que.pop();
28         if(now.dis != disc[now.num]) // 该点被取过了就continue
29             continue;
30         for(int i = g[now.num].size() - 1; i >= 0; i --)
31             { // 遍历邻接表
32                 int to = g[now.num][i];
33                 if(disc[to] > disc[now.num] + w[now.num][i])
34                 {
35                     disc[to] = disc[now.num] + w[now.num][i];
36                     que.push(node{disc[to], to});
37                 }
38             }
39     }
40     int ans = 0;
41     // 由于是求所有奶牛到该牧场的距离和最小，所以要用乘法
42     for(int i = 1; i <= p; i ++ )
43         ans += disc[i] * vis[i];
44     return ans;
45 }

```

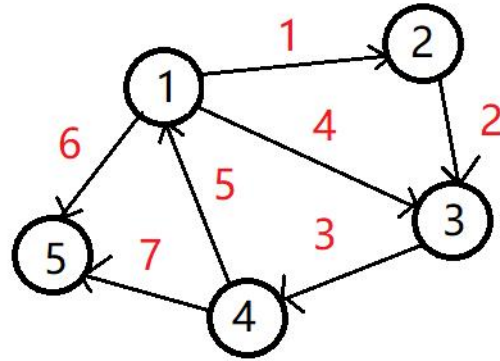
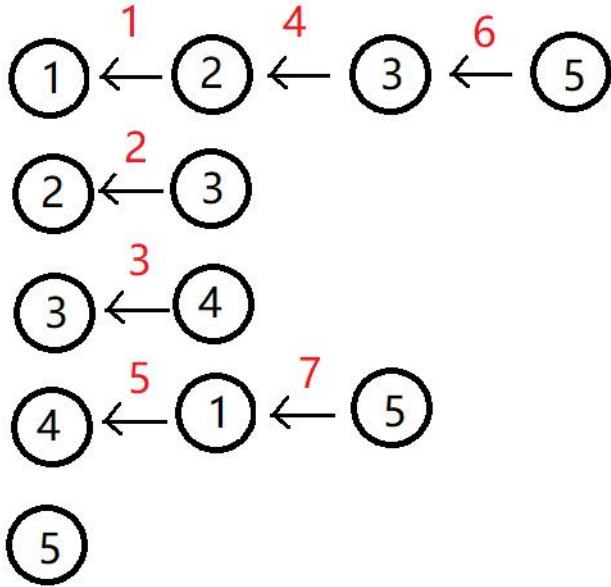


方法二：链式前向星+优先队列

前向星是以**存储边的方式来存储图**，先将边读入并存储在连续的数组中，然后按照边的起点进行排序，这样数组中起点相等的边就能够在数组中进行连续访问了。它的优点是实现简单，容易理解，缺点是需要所有边都读入完毕的情况下对所有边进行一次排序，带来了时间开销。

链式前向星和邻接表类似，也是链式结构和线性结构的结合，每个结点*i*都有一个链表，链表的所有数据是从*i*出发的所有边的集合（对比邻接表存的是顶点集合），边的表示为一个四元组 $(u, v, w, next)$ ，其中 (u, v) 代表该条边的有向顶点对，*w*代表边上的权值，*next*指向下一条边。

具体的，我们需要一个边的结构体数组 $edge[MAXM]$ ，*MAXM*表示边的总数，所有边都存储在这个结构体数组中，并且用 $head[i]$ 来指向*i*结点的第一条边。



我们先对上面的7条边进行编号第一条边是1以此类推编号[1~7],
然后我们要知道两个变量的含义:

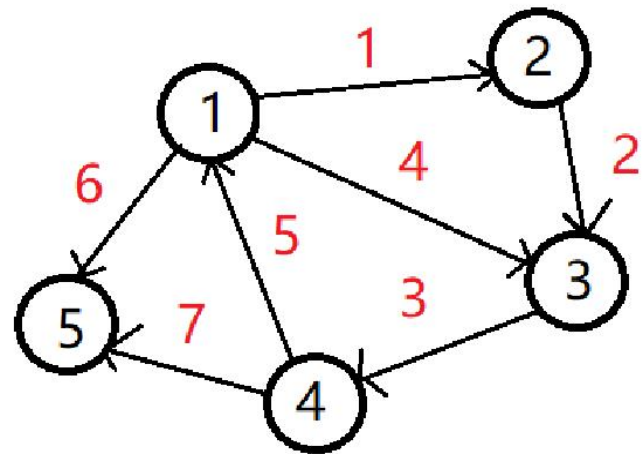
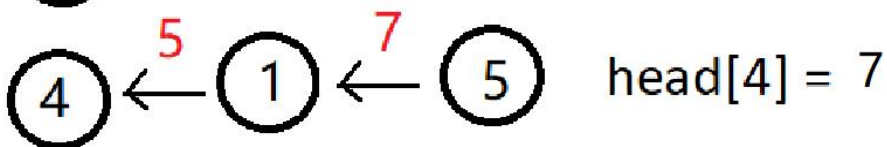
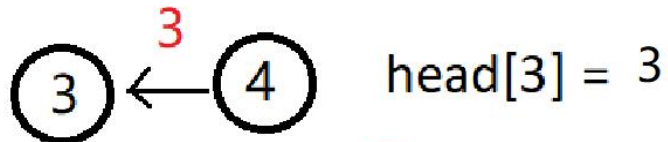
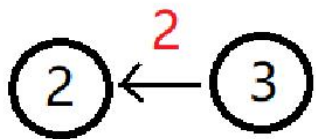
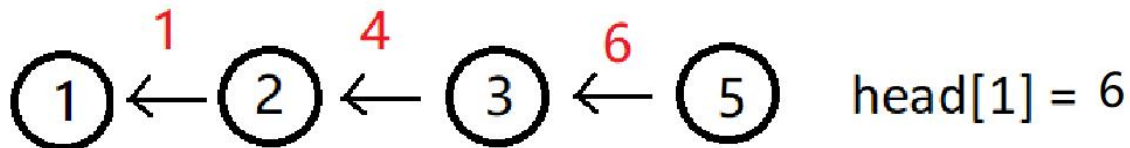
Next, 表示与这个边起点相同的上一条边的编号。

head[i]数组, 表示以 i 为起点的最后一条边的编号。

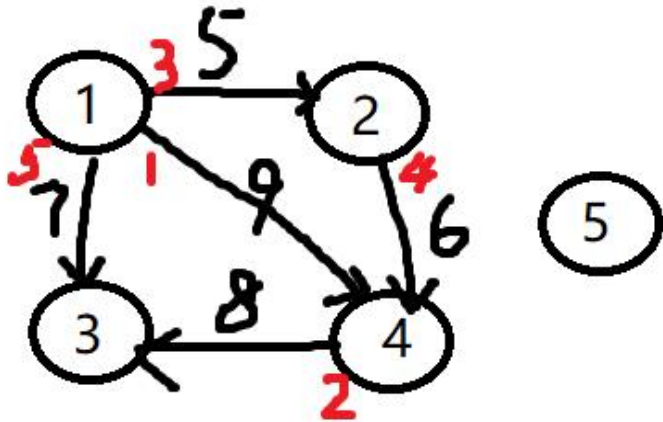
head数组一般初始化为-1,

head[i]数组，表示以 i 为起点的最后一条边的编号。

Next，表示与这个边起点相同的上一条边的编号



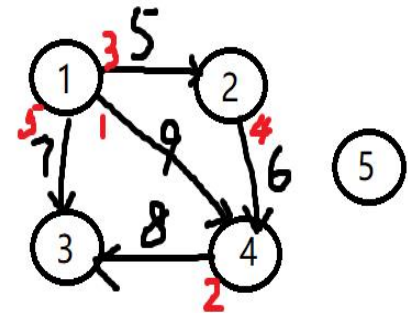
进一步理解，画出过程图



	u	v	w
1	1	4	9
2	4	3	8
3	1	2	5
4	2	4	6
5	1	3	7

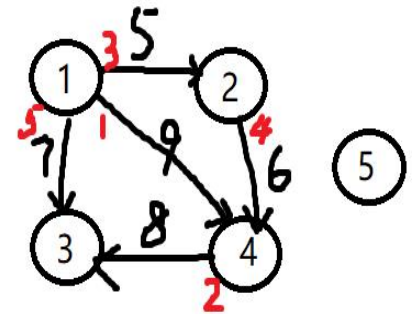
读入第一条边

	U	V	W		head	next
1	1	4	9		1	-1
2						
3						
4						
5						



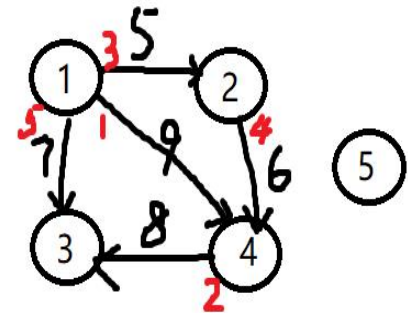
读入第二条边

	U	V	W		head	next
1	1	4	9		1	-1
2	4	3	8		2	-1
3					3	-1
4					4	2
5					5	-1



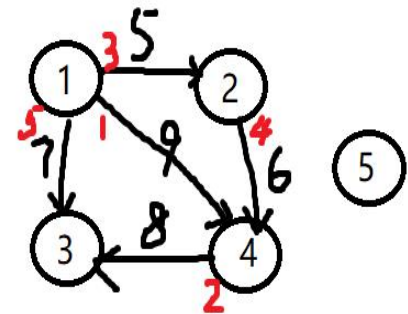
读入第三条边

	U	V	W		head	next
1	1	4	9		3	-1
2	4	3	8		-1	-1
3	1	2	5		-1	1
4					2	-1
5					-1	-1



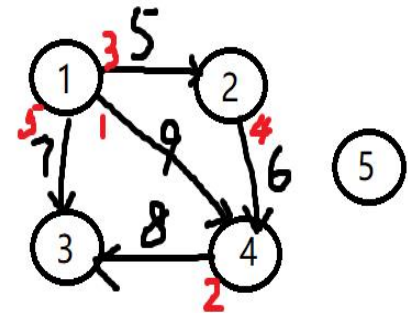
读入第四条边

	U	V	W		head	next
1	1	4	9		3	-1
2	4	3	8		4	-1
3	1	2	5		-1	1
4	2	4	6		2	-1
5					-1	-1



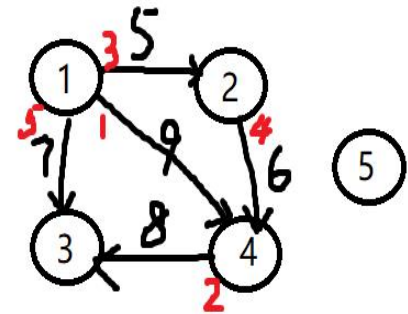
读入第四条边

	U	V	W		head	next	
1	1	4	9		1	3	-1
2	4	3	8		2	4	-1
3	1	2	5		3	-1	1
4	2	4	6		4	2	-1
5					5	-1	-1



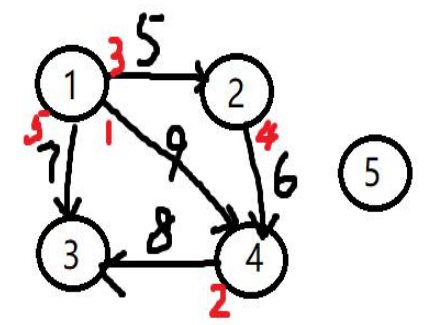
读入第五条边

	U	V	W		head	next
1	1	4	9		5	-1
2	4	3	8		-1	
3	1	2	5		1	
4	2	4	6		-1	
5	1	3	7		3	

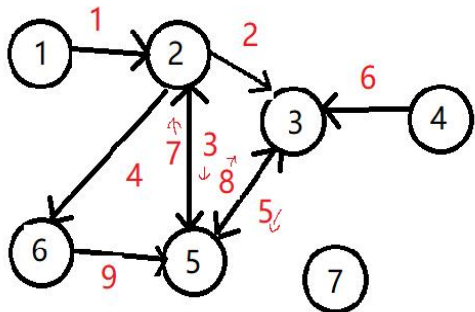


	U	V	W
1	1	4	9
2	4	3	8
3	1	2	5
4	2	4	6
5	1	3	7

	head	next
1	5	-1
2	4	-1
3	-1	1
4	2	-1
5	-1	3



6.2.3.3 邻接表的实现-写法4 (常用)



head值

1	1
2	4
3	5
4	6
5	8
6	9
7	0

next 数组

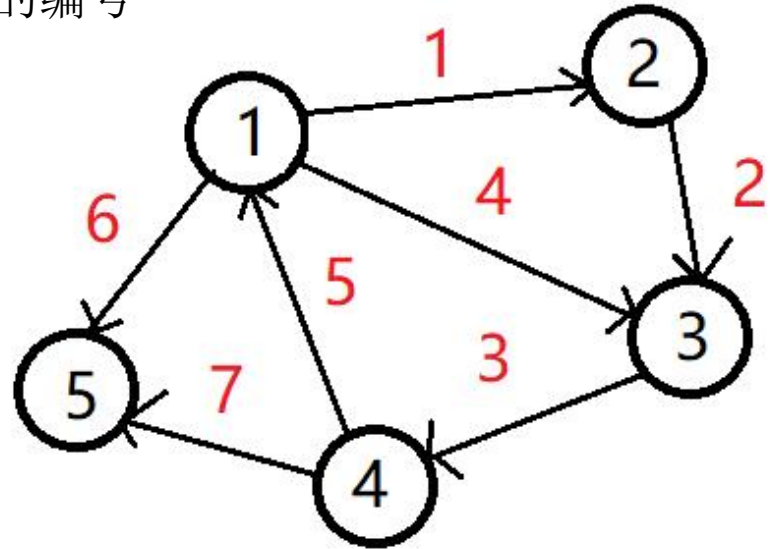
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	2	3	0	0	0	7	0

```
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7 2 6  
8 head[2]=4, next[4]=3  
9 3 5  
10 head[3]=5, next[5]=0  
11 4 3  
12 head[4]=6, next[6]=0  
13 5 2  
14 head[5]=7, next[7]=0  
15 5 3  
16 head[5]=8, next[8]=7  
17 6 5  
18 head[6]=9, next[9]=0
```

```
for(int j=head1[i];j!=0;j=next1[j])  
start++;
```

```
7 void add(int f, int t){  
8     next1[cnt]=head1[f];  
9     //next指向下一条边  
10    // (原头结点指向的边)  
11    head1[f]=cnt; //把当前边插入都头结点后面, 头插法  
12    cnt++;  
13 }
```

```
void add_edge(int u, int v, int w)//加边， u起点， v终点， w边权
{
    edge[cnt].to = v; //终点
    edge[cnt].w = w; //权值
    edge[cnt].next = head[u];
        //以u为起点上一条边的编号，
        //也就是与这个边起点相同的上一条边的编号
    head[u] = cnt++; //更新以u为起点上一条边的编号
}
```



```
1 #include<bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3 const int maxn = 2e3 + 10;
4 //2-4行的变量都是正常的链式前向星数组
5 int Head[1000], Next[maxn * 2], w[maxn * 2], v[maxn * 2], num_edge;
6 //dis表示起点到该点的距离, num表示该点的编号
7 struct node
8 {
9     int dis, num;
10 };
11 void ins(int x, int y, int c)
12 { //建边
13     v[++ num_edge] = y;
14     Next[num_edge] = Head[x];
15     w[num_edge] = c;
16     Head[x] = num_edge;
17 }
18 priority_queue<node>que;
19 bool operator<(const node &a, const node &b)
20 {
21     return a.dis > b.dis;
22 }
23 int n, p, c;
24 int vis[maxn]; //vis表示这个区域里有几头奶牛
25 //表示每个点到起点的距离
26 int disc[maxn];
```

```
61 int main()
62 {
63     memset(Head, -1, sizeof(Head));
64     scanf("%d %d %d", &n, &p, &c);
65     for (int i = 1; i <=n; ++ i)
66     {
67         int x;
68         scanf("%d", &x);
69         vis[x] ++; //x区域的奶牛数量+1
70     }
71     while(c --)
72     {
73         int x, y, c;
74         scanf("%d %d %d", &x, &y, &c);
75         //由于只说是有边, 所以存双向边
76         ins(x, y, c); ins(y, x, c);
77     }
78     //枚举把黄油放在每一个牧场, 求解, 最后取一个极小值
79     int ans = 1e9;
80     for(int i = 1; i <= p; i ++ )
81     {
82         ans = min (ans, dijkstra(i));
83     }
84     printf("%d\n", ans);
85     return 0;
86 }
```



```
27 int dijkstra(int x)
28 {
29     memset(disc, 0x3f, sizeof(disc));
30     disc[x] = 0; // 起点到起点的距离为0
31     que.push(node{0, x}); // 起点入队
32     while(!que.empty())
33     {
34         node now = que.top();
35         que.pop();
36         if(now.dis != disc[now.num])
37             continue; // 该点被取过了就continue
38         for(int i = Head[now.num]; i != -1; i = Next[i])
39         {
40             int to = v[i];
41             // 如果能通过now.num这个点使得起点到to这个点更近, 就更新距离
42             if(disc[to] > disc[now.num] + w[i])
43             {
44                 disc[to] = disc[now.num] + w[i];
45                 que.push(node{disc[to], to});
46             }
47         }
48     }
49     int ans = 0; // 由于是求所有奶牛到该牧场的距离和最小, 所以要用乘法
50     for(int i = 1; i <= p; i++)
51         ans += disc[i] * vis[i];
52     return ans;
53 }
```


小结



Dijkstra求最短路径的算法是一种基于贪心策略的算法。每次新扩展一个路程最短的点，更新与其相邻的点的路程。当所有边权都为正时，由于不会存在一个路程更短的没扩展过的点，所以这个点的路程永远不会再被改变，因而保证了算法的正确性。不过根据这个原理，用本算法求最短路径的图是不能有负权边的，因为扩展到负权边的时候会产生更短的路程，有可能就破坏了已经更新的点路程不会改变的性质。

3 [2892] 最短路径问题



平面上有 n 个点 ($n \leq 100$)，每个点的坐标均在 $-10000 \sim 10000$ 之间。其中的一些点之间有连线。若有连线，则表示可从一个点到达另一个点，即两点间有通路，通路的距离为两点间的直线距离。现在的任务是找出从一点到另一点之间的最短路径。

输入

共 $n+m+3$ 行，其中：

第1行为整数 n 。第2行到第 $n+1$ 行（共 n 行），每行两个整数 x 和 y ，描述了一个点的坐标。第 $n+2$ 行为一个整数 m ，表示图中连线的个数。

此后的 m 行，每行描述一条连线，由两个整数 i 和 j 组成，表示第 i 个点和第 j 个点之间有连线。

最后一行：两个整数 s 和 t ，分别表示源点和目标点。

输出

一行，一个实数（保留两位小数），表示从 s 到 t 的最短路径长度。

样例输入

5
0 0
2 0
2 2
0 2
3 1
5
1 2
1 3
1 4
2 5
3 5
1 5

样例输出

3.41

```
1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3 const int inf=1e9+7;
4
5 struct point
6 {
7     double x,y;
8 }a[105];//每个点坐标
9
10 struct node
11 {
12     int to;//出边顶点
13     double cost;//权值
14 };
15
16 int n,m,s,e;
17 vector <node> G[1005];
18 double dj[1005];
19 int vis[1005];//默认为0,表示未处理
20
21 void dijestla(int s)
22 {
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47 double cal(int x,int y)
48 {
49     return sqrt((a[x].x-a[y].x)*(a[x].x-a[y].x)+(a[x].y-a[y].y)*(a[x].y-a[y].y));
50 }
```

```
52 int main()
53 {
54     cin>>n;
55     for(int i=0;i<=n;i++)
56         dj[i]=inf;//最短距离初始无穷大
57     int x,y;
58     for(int i=1;i<=n;i++)
59         cin>>a[i].x>>a[i].y;
60     cin>>m;
61     for(int i=1;i<=m;i++)
62     {
63         cin>>x>>y;//计算距离, 建立邻接表
64         G[x].push_back((node){y,cal(x,y)});
65         G[y].push_back((node){x,cal(x,y)});
66     }
67     cin>>s>>e;
68     dijestla(s);
69     printf("%.2f\n",dj[e]);
70     return 0;
71 }
```

```
21 void dijestla(int s)
22 {
23     dj[s]=0;
24     while(1)
25     {
26         int u=-1;
27         for(int i=0;i<n;i++)
28         {
29             if(!vis[i]&&(u==-1|| (dj[i]<dj[u])))
30             {
31                 u=i;
32             }
33         }
34         if(u==-1) break;
35         vis[u]=1;
36         for(int i=0;i<G[u].size();i++)
37         {
38             node v=G[u][i];
39             if(!vis[v.to]&&dj[v.to]>dj[u]+v.cost)
40             {
41                 dj[v.to]=dj[u]+v.cost;
42             }
43         }
44     }
45 }
```

4 [3581] 最短路计数

题目描述

给出一个 N 个顶点 M 条边的无向无权图，顶点编号为 $1 \sim N$ 。问从顶点1开始，到其他每个点的最短路有几条。

输入

输入第一行包含2个正整数 N, M ，为图的顶点数与边数。

接下来 M 行，每行两个正整数 x, y ，表示有一条顶点 x 连向顶点 y 的边，请注意可能有自环与重边。

输出

输出包括 N 行，每行一个非负整数，第 i 行输出从顶点1到顶点 i 有多少条不同的最短路，由于答案有可能会很大，你只需要输出 $\text{mod } 100003$ 后的结果即可。如果无法到达顶点 i 则输出0。

样例输入

5 7

1 2

1 3

2 4

3 4

2 3

4 5

4 5

样例输出

1

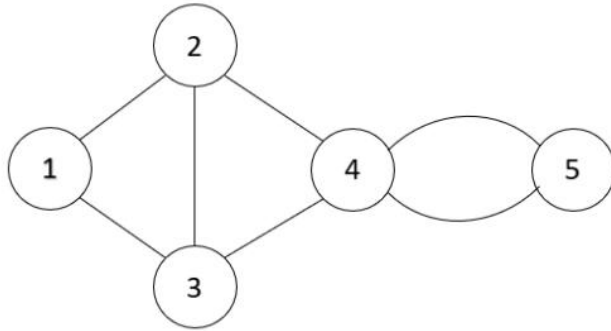
1

1

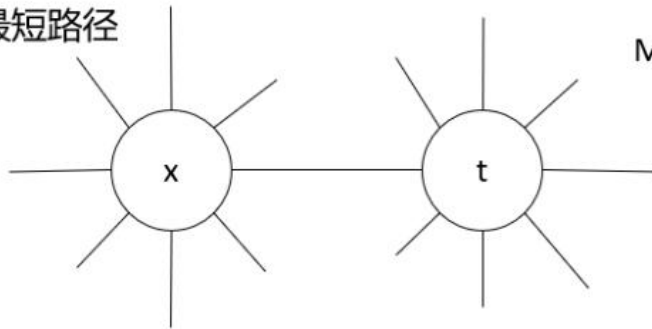
2

4

用了bfs



N条最短路径



M条最短路径

```
if(dep[t]==dep[x]+1)
  cnt[t]=(cnt[t]+cnt[x])
```

```
1 #include<bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3 const int maxn=1000000+1,maxm=2000000+1,INF=0x7f7f7f7f,MOD=100003;
4 vector<int>G[maxn];
5 int dep[maxn];bool vis[maxn];int cnt[maxn];
6 //cnt存最短路个数, vis记录节点是否访问, dep表示距离
7 int main(){
8     int n,m;scanf("%d%d",&n,&m);
9     for(int i=1;i<=m;i++){
10         int x,y;scanf("%d%d",&x,&y);
11         G[x].push_back(y);
12         G[y].push_back(x);
13     }
14     queue<int>Q;
15     dep[1]=0;vis[1]=1;Q.push(1);cnt[1]=1;
16     while(!Q.empty()){ //队列为空
17         int x=Q.front();Q.pop(); //从前往后搜索
18         for(int i=0;i<G[x].size();i++){
19             int t=G[x][i];
20             if(!vis[t]){vis[t]=1;dep[t]=dep[x]+1;Q.push(t);} //若未识别
21             if(dep[t]==dep[x]+1){cnt[t]=(cnt[t]+cnt[x])%MOD;} //取模
22         }
23     }
24     for(int i=1;i<=n;i++){
25         printf("%d\n",cnt[i]); //输出
26     }
27     return 0;
28 }
```

今天的课程结束啦.....



下课了...
同学们**再见!**