

# 算法竞赛笔记

Chunyin Chan

2025 年 4 月 6 日

# 目录

<b>1</b>	<b>基础数据结构</b>	<b>1</b>
1.1	Link List in Python: . . . . .	1
1.2	Queue in Python . . . . .	4
1.2.1	双端队列 . . . . .	4
1.2.2	单调队列 . . . . .	5
1.2.3	单调队列与动态规划 . . . . .	6
1.2.4	优先队列 . . . . .	8
1.3	Stack in Python . . . . .	8
1.3.1	单调栈 . . . . .	9
1.4	Binary Tree in Python . . . . .	10
1.4.1	DFS 遍历 . . . . .	10
1.4.2	哈夫曼编码 . . . . .	12
1.5	Heap in Python . . . . .	13
<b>2</b>	<b>基本算法</b>	<b>15</b>
2.1	尺取法 (双指针) . . . . .	15
2.1.1	反向扫描 . . . . .	15
2.1.2	同向扫描 . . . . .	16
2.2	二分法 . . . . .	19
2.2.1	Python 二分搜索库 bisect . . . . .	19
2.2.2	整数二分 . . . . .	19
2.2.3	整数二分 最大值最小化 . . . . .	22
2.2.4	整数二分 最小值最大化 . . . . .	23
2.2.5	实数二分 . . . . .	23
2.3	三分法 . . . . .	24
2.4	排序与排列 . . . . .	27
<b>3</b>	<b>搜索</b>	<b>28</b>
3.1	BFS 和 DFS 基础 . . . . .	28
3.1.1	BFS . . . . .	28
3.1.2	DFS . . . . .	29
3.2	剪枝与判重 . . . . .	31
3.2.1	BFS 判重 蓝桥 642 . . . . .	31
3.2.2	可行性剪枝 poj3278 . . . . .	32
3.2.3	最优性剪枝 洛谷 1118 . . . . .	33
3.2.4	优化搜索顺序 排除等效冗余 洛谷 1120 . . . . .	35
3.3	洪水填充 . . . . .	36
3.4	BFS 与最短路径 . . . . .	37

# 1 基础数据结构

## 1.1 Link List in Python:

---

```
1 class nodes:
2     def __init__(self, val=None, pre=None, next=None):
3         self.val = val
4         self.next = next
```

---

### EX 1

#### 洛谷 P1996 约瑟夫问题

##### 题目描述

n 个人围成一圈，从第一个人开始报数，数到 m 的人出列，再由下一个人重新从 1 开始报数，数到 m 的人再出圈，依次类推，直到所有的人都出圈，请输出依次出圈人的编号。

注意：本题和《深入浅出-基础篇》上例题的表述稍有不同。书上表述是给出淘汰 n-1 名小朋友，而该题是全部出圈。

##### 输入格式

输入两个整数 n,m。

##### 输出格式

输出一行 n 个整数，按顺序输出每个出圈人的编号。

##### 输入输出样例

输入 #1

10 3

输出 #1

3 6 9 2 7 1 8 5 10 4

##### 说明/提示

1 m,n 100

---

```
1  # 动态链表
2  class node:
3      data = None
4      next = None
5
6  n, m = map(int, input().split())
7  # init link list
8  head = node()
9  head.data = 1
10 now = head
11 for i in range(2, n+1):
12     p = node()
13     p.data = i
14     now.next = p
15     now = p
16 now.next = head
17 prev = now
18 now = head
19 while n > 0:
20     n -= 1
21     for i in range(m-1):
22         prev = now
23         now = now.next
24     print(now.data, end=' ')
25     prev.next = now.next
26     now = now.next
```

---

```
1 # 列表和索引计算
2 n, m = map(int, input().split())
3 people = list(range(1, n+1))
4 rst = []
5 current = 0
6 index = 0
7 while people:
8     index = (current + m - 1) % len(people)
9     rst.append(people.pop(index))
10    current = index
11 print(' '.join(map(str, rst)))
```

## EX 2

### 洛谷 P1160 队列安排

#### 题目描述

一个学校里老师要将班上  $N$  个同学排成一列，同学被编号为  $1 \sim N$ ，他采取如下的方法：

1. 先将 1 号同学安排进队列，这时队列中只有他一个人；
2.  $2 \sim N$  号同学依次入列，编号为  $i$  的同学入列方式为：老师指定编号为  $i$  的同学站在编号为  $1 \sim (i - 1)$  中某位同学（即之前已经入列的同学）的左边或右边；
3. 从队列中去掉  $M$  个同学，其他同学位置顺序不变。

在所有同学按照上述方法队列排列完毕后，老师想知道从左到右所有同学的编号。

#### 输入格式

第一行一个整数  $N$ ，表示了有  $N$  个同学。

第  $2 \sim N$  行，第  $i$  行包含两个整数  $k, p$ ，其中  $k$  为小于  $i$  的正整数， $p$  为 0 或者 1。若  $p$  为 0，则表示将  $i$  号同学插入到  $k$  号同学的左边， $p$  为 1 则表示插入到右边。

第  $N + 1$  行为一个整数  $M$ ，表示去掉的同学数目。

接下来  $M$  行，每行一个正整数  $x$ ，表示将  $x$  号同学从队列中移去，如果  $x$  号同学已经不在队列中则忽略这一条指令。

#### 输出格式

一行，包含最多  $N$  个空格隔开的整数，表示了队列从左到右所有同学的编号。

#### 输入输出样例 #1

输入 #1

4 1 0 2 1 1 0 2 3 3

输出 #1

2 4 1

#### 说明/提示

\*\* 【样例解释】 \*\*

将同学 2 插入至同学 1 左边，此时队列为：

2 1

将同学 3 插入至同学 2 右边，此时队列为：

2 3 1

将同学 4 插入至同学 1 左边，此时队列为：

2 3 4 1

将同学 3 从队列中移出，此时队列为：

2 4 1

同学 3 已经不在队列中，忽略最后一条指令

最终队列：

2 4 1

【数据范围】

对于 20% 的数据,  $1 \leq N \leq 10$ 。

对于 40% 的数据,  $1 \leq N \leq 1000$ 。

对于 100% 的数据,  $1 < M \leq N \leq 10^5$ 。

---

```
1  # 链表
2  class nodes:
3      def __init__(self, val=None, next=None, prev=None):
4          self.val = val
5          self.next = next
6          self.prev = prev
7
8  N = int(input())
9  people = nodes(1)
10 head = people
11 idx = {1: people}
12 for i in range(2, N+1):
13     node = nodes(i)
14     k, p = map(int, input().split())
15     k = idx[k]
16     if p == 0:
17         if k.prev:
18             k.prev.next = node
19             node.prev = k.prev
20             node.next = k
21             k.prev = node
22         if k == head:
23             head = node
24     elif p == 1:
25         if k.next:
26             k.next.prev = node
27             node.next = k.next
28             node.prev = k
29             k.next = node
30     idx[i] = node
31
32 M = int(input())
33 for i in range(M):
34     x = int(input())
35     if x in idx.keys():
36         k = idx[x]
37         if k.prev:
38             k.prev.next = k.next
39             if k.next:
40                 k.next.prev = k.prev
41         if k.next:
42             k.next.prev = k.prev
43             if k.prev:
44                 k.prev.next = k.next
45         if k == head:
46             head = k.next
47     del idx[x]
48
49 while head:
50     print(head.val, end=' ')
51     head = head.next
```

---

## 1.2 Queue in Python

### 1.2.1 双端队列

---

```
1 from collections import deque # 双端队列
2
3 queue = deque(maxlen = 10) # 最大长度为10, None为无限制
4 queue = deque(iterable) # init queue by iterable obj.
5
6 queue.append(x) # add x to right side
7 queue.appendleft(x) # add x to left side
8
9 queue.extend(iterable) # extend right side by iterable obj.
10 queue.extendleft(iterable) # extend the left side by iterable obj.
11
12 queue.pop() # pop element from right side
13 queue.popleft() # pop element from left side
14
15 queue.remove(x) # remove x from Queue, raise error if not found
16 queue.clear() # clear Queue
17
18 queue.reverse() # reverse Queue
19 queue.insert(i, x) # insert x into queue at position i
20 queue.count(x) # count the number of queue elements = x
21 queue.index(x) # return first match position, raise error if not found
```

---

#### EX 1

##### 洛谷 P1540 [NOIP 2010 提高组] 机器翻译

##### 题目背景

##### NOIP2010 提高组 T1

##### 题目描述

小晨的电脑上安装了一个机器翻译软件，他经常用这个软件来翻译英语文章。

这个翻译软件的原理很简单，它只是从头到尾，依次将每个英文单词用对应的中文含义来替换。对于每个英文单词，软件会先在内存中查找这个单词的中文含义，如果内存中有，软件就会用它进行翻译；如果内存中没有，软件就会在外存中的词典内查找，查出单词的中文含义然后翻译，并将这个单词和译义放入内存，以备后续的查找和翻译。

假设内存中有  $M$  个单元，每单元能存放一个单词和译义。每当软件将一个新单词存入内存前，如果当前内存中已存入的单词数不超过  $M - 1$ ，软件会将新单词存入一个未使用的内存单元；若内存中已存入  $M$  个单词，软件会清空最早进入内存的那个单词，腾出单元来，存放新单词。

假设一篇英语文章的长度为  $N$  个单词。给定这篇待译文章，翻译软件需要去外存查找多少次词典？假设在翻译开始前，内存中没有任何单词。

##### 输入格式

共 2 行。每行中两个数之间用一个空格隔开。

第一行为两个正整数  $M, N$ ，代表内存容量和文章的长度。

第二行为  $N$  个非负整数，按照文章的顺序，每个数（大小不超过 1000）代表一个英文单词。文章中两个单词是同一个单词，当且仅当它们对应的非负整数相同。

##### 输出格式

一个整数，为软件需要查词典的次数。

##### 输入输出样例 #1

输入 #1

3 7 1 2 1 5 4 4 1

输出 #1

5

说明/提示

样例解释

整个查字典过程如下：每行表示一个单词的翻译，冒号前为本次翻译后的内存状况：

1. 1: 查找单词 1 并调入内存。2. 1 2: 查找单词 2 并调入内存。3. 1 2: 在内存中找到单词 1。4. 1 2 5: 查找单词 5 并调入内存。5. 2 5 4: 查找单词 4 并调入内存替代单词 1。6. 2 5 4: 在内存中找到单词 4。7. 5 4 1: 查找单词 1 并调入内存替代单词 2。

共计查了 5 次词典。

数据范围

- 对于 10% 的数据有  $M = 1, N \leq 5$ ；- 对于 100% 的数据有  $1 \leq M \leq 100, 1 \leq N \leq 1000$ 。

```
1 # 队列 collections.deque
2 from collections import deque
3 from array import array
4
5 M, N = map(int, input().split())
6 q = deque(maxlen=M) # 双向队列
7 qs = set() # 用作哈希表
8 count = 0 # 计数
9 inp_ary = array('i', map(int, input().split())) # 输入数据
10 l = len(inp_ary)
11 for i in range(l):
12     if inp_ary[i] not in qs:
13         if len(q) == M:
14             qs.remove(q.popleft())
15             qs.add(inp_ary[i])
16             q.append(inp_ary[i])
17         count += 1
18 print(count)
```

1.2.2 单调队列

洛谷 P1886 滑动窗口 / 【模板】单调队列

题目描述

有一个长为  $n$  的序列  $a$ ，以及一个大小为  $k$  的窗口。现在这个从左边开始向右滑动，每次滑动一个单位，求出每次滑动后窗口中的最大值和最小值。

例如，对于序列  $[1, 3, -1, -3, 5, 3, 6, 7]$  以及  $k = 3$ ，有如下过程：

窗口位置								最小值	最大值
[1	3	-1]	-3	5	3	6	7	-1	3
1	[3	-1	-3]	5	3	6	7	-3	3
1	3	[-1	-3	5]	3	6	7	-3	5
1	3	-1	[-3	5	3]	6	7	-3	5
1	3	-1	-3	[5	3	6]	7	3	6
1	3	-1	-3	5	[3	6	7]	3	7

输入格式

输入一共有两行，第一行有两个正整数  $n, k$ 。第二行  $n$  个整数，表示序列  $a$

输出格式

输出共两行，第一行为每次窗口滑动的最小值第二行为每次窗口滑动的最大值

输入输出样例 #1

输入 #1

8 3 1 3 -1 -3 5 3 6 7

输出 #1

-1 -3 -3 -3 3 3 3 3 5 5 6 7

说明/提示

【数据范围】对于 50% 的数据,  $1 \leq n \leq 10^5$ ; 对于 100% 的数据,  $1 \leq k \leq n \leq 10^6$ ,  $a_i \in [-2^{31}, 2^{31})$ 。

---

```

1 from collections import deque
2 from array import array
3 import sys
4
5 # input
6 n, k = map(int, input().split())
7 a = list(map(int, input().split()))
8
9 min_q = deque()
10 max_q = deque()
11 min_rst = []
12 max_rst = []
13
14 for i in range(n):
15     # minimum queue
16     while min_q and a[min_q[-1]] > a[i]:
17         min_q.pop()
18     min_q.append(i)
19     # maximum queue
20     while max_q and a[max_q[-1]] < a[i]:
21         max_q.pop()
22     max_q.append(i)
23
24     # 开始记录
25     if i >= k - 1:
26         min_rst.append(a[min_q[0]])
27         max_rst.append(a[max_q[0]])
28
29     # 弹出窗口外的元素
30     if min_q and min_q[0] <= i - k + 1:
31         min_q.popleft()
32     if max_q and max_q[0] <= i - k + 1:
33         max_q.popleft()
34
35 # output
36 print(' '.join(map(str, min_rst)))
37 print(' '.join(map(str, max_rst)))

```

---

### 1.2.3 单调队列与动态规划

通过前缀和 + 单调队列 + 动态规划求解子序和问题

洛谷 P1714

Problem Description

给定一个序列, 给定一个最大长度  $m$ , 求一段长度不超过  $m$  的连续子序列, 使其子序和最大

Input

第 1 行输入  $n, m$ . 分别为序列长度和最大长度

第 2 行输入  $N$  个数

Output

第 1 个数是最大子序和, 第 2 和第 3 个数是开始和终止位置

Case 1:

Input

5 2

1 2 3 4 5

Output



9

Case 2:

Input

6 3

1 -2 3 -4 5 -6

Output

5

Case 3

Input

5 5

1 2 3 4 5

Output

15

---

```
1 # 洛谷 P1714
2
3 from collections import deque
4 n, m = map(int, input().split())
5 s = list(map(int, input().split())) # 前缀和
6 dp = deque()
7 ans = s[0]
8
9 # 计算前缀和
10 for i in range(1, n):
11     s[i] = s[i-1] + s[i]
12 # 单调队列
13 dp.append(0)
14 for i in range(1, n):
15     # 去头
16     while len(dp) > 0 and dp[0] < i - m:
17         dp.popleft()
18     # 去尾, 去除>=s[i]的元素, 使得s[j] - s[i]更大
19     while len(dp) > 0 and s[dp[-1]] >= s[i]:
20         dp.pop()
21     dp.append(i)
22     if len(dp) == n:
23         ans = max(ans, s[i])
24     elif len(dp) > 1:
25         ans = max(ans, s[i] - s[dp[0]])
26     elif len(dp) == 1:
27         ans = max(ans, s[dp[0]])
28     else:
29         ans = max(ans, s[i])
30
31 print(ans)
```

---

### 1.2.4 优先队列

---

```
1 from queue import PriorityQueue
2 MAXSIZE = 0
3
4 q = PriorityQueue(maxsize=MAXSIZE) # 队列大小，默认为0，<=0的队列大小为无穷
5 q1 = PriorityQueue()
6
7 q.empty() # if empty
8 q.full() # if full
9 q.qsize() # get current size
10
11 # add elem
12 # 两种添加方式不能混用
13 # 直接按照元素大小存入，元素大小越小，优先级越高
14 q.put(1)
15 q.put(2)
16 # q.put((priority number, data))
17 # priority number越小，优先级越高
18 q1.put((2, 'ele'))
19 q1.put((-3, 'ele2'))
20
21 # get element, = pop()
22 q.get()
```

---

## 1.3 Stack in Python

使用 deque 作为栈.

hdu 1062

**翻转字符串**

input:

olleh !dlrow

output:

hello world!

---

```
1 from collections import deque
2 s = deque()
3 inp = list(input().split())
4 for item in inp:
5     # enter stack
6     for i in item:
7         s.append(i)
8     while len(s) > 0:
9         print(s.pop(), end=' ')
10    print(' ', end=' ')
```

---

### 1.3.1 单调栈

#### 洛谷 P2947 [USACO09MAR] Look Up S

##### 题目描述

Farmer John's  $N$  ( $1 \leq N \leq 100,000$ ) cows, conveniently numbered  $1..N$ , are once again standing in a row. Cow  $i$  has height  $H_i$  ( $1 \leq H_i \leq 1,000,000$ ).

Each cow is looking to her left toward those with higher index numbers. We say that cow  $i$  'looks up' to cow  $j$  if  $i < j$  and  $H_i < H_j$ . For each cow  $i$ , FJ would like to know the index of the first cow in line looked up to by cow  $i$ .

Note: about 50

约翰的  $N(1 \leq N \leq 10^5)$  头奶牛站成一排，奶牛  $i$  的身高是  $H_i(1 \leq H_i \leq 10^6)$ 。现在，每只奶牛都在向右看齐。对于奶牛  $i$ ，如果奶牛  $j$  满足  $i < j$  且  $H_i < H_j$ ，我们可以说奶牛  $i$  可以仰望奶牛  $j$ 。求出每只奶牛离她最近的仰望对象。

##### Input

##### 输入格式

1. Line 1: A single integer:  $N$

Lines 2.. $N+1$ : Line  $i+1$  contains the single integer:  $H_i$

第 1 行输入  $N$ ，之后每行输入一个身高  $H_i$ 。

##### 输出格式

Lines 1.. $N$ : Line  $i$  contains a single integer representing the smallest index of a cow up to which cow  $i$  looks.

If no such cow exists, print 0.

共  $N$  行，按顺序每行输出一只奶牛的最近仰望对象，如果没有仰望对象，输出 0。

##### 输入输出样例 # 1

输入 # 1

6

3

2

6

1

1

2

输出 # 1

3

3

0

6

6

0

##### 说明/提示

FJ has six cows of heights 3, 2, 6, 1, 1, and 2.

Cows 1 and 2 both look up to cow 3; cows 4 and 5 both look up to cow 6; and cows 3 and 6 do not look up to any cow.

【输入说明】6 头奶牛的身高分别为 3,2,6,1,1,2。

【输出说明】奶牛 #1,#2 仰望奶牛 #3，奶牛 #4,#5 仰望奶牛 #6，奶牛 #3 和 #6 没有仰望对象。

##### 【数据规模】

对于 20% 的数据：  $1 \leq N \leq 10$ ;

对于 50% 的数据：  $1 \leq N \leq 10^3$ ;

对于 100% 的数据:  $1 \leq N \leq 10^5, 1 \leq H_i \leq 10^6$ 。

---

```

1 from collections import deque
2 from array import array
3 n = int(input())
4 cows = []
5 for i in range(n):
6     cows.append(int(input()))
7 s = deque()
8 rst = array('i')
9 for i in range(n-1, -1, -1):
10     # 由于反向遍历, 栈内元素必然在当前遍历元素的右边
11     # 不比当前高的元素出栈, 保证栈底到栈顶的高度递减
12     # 目的是使得随着逐渐出栈, 栈顶元素逐渐变高, 以找到能比当前遍历元素高的元素
13     while len(s) > 0 and cows[s[-1]] <= cows[i]:
14         s.pop()
15     if len(s) == 0:
16         rst.append(0)
17     else:
18         rst.append(s[-1] + 1) # relationship between index & NO.
19     s.append(i)
20 for i in range(len(rst)-1, -1, -1):
21     print(rst[i])

```

---

## 1.4 Binary Tree in Python

---

```

1 class nodes:
2     def __init__(self, val=None, l=None, r=None):
3         self.val = val
4         self.l = l
5         self.r = r

```

---

### 1.4.1 DFS 遍历

---

```

1 # pre
2 def preorder(node):
3     if not node:
4         return
5     print(node.val, end=' ')
6     preorder(node.l)
7     preorder(node.r)
8
9 # mid
10 def inorder(node):
11     if not node:
12         return
13     inorder(node.l)
14     print(node.val, end=' ')
15     inorder(node.r)
16
17 # post
18 def postorder(node):
19     if not node:
20         return
21     postorder(node.l)
22     postorder(node.r)
23     print(node.val, end=' ')

```

---

---

```
1 # pre
2 def preorder(node):
3     if not node:
4         return
5     print(node.val, end=' ')
6     preorder(node.l)
7     preorder(node.r)
8
9 # mid
10 def inorder(node):
11     if not node:
12         return
13     inorder(node.l)
14     print(node.val, end=' ')
15     inorder(node.r)
16
17 # post
18 def postorder(node):
19     if not node:
20         return
21     postorder(node.l)
22     postorder(node.r)
23     print(node.val, end=' ')

```

---

```
1 # test code
2 ab = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I']
3 n = list(nodes(i) for i in ab)
4 root = n[4]
5 root.l = n[1]
6 root.r = n[6]
7 root.l.l = n[0]
8 root.l.r = n[3]
9 root.l.r.l = n[2]
10 root.r.l = n[5]
11 root.r.r = n[-1]
12 root.r.r.l = n[-2]

```

---

```
1 // output
2 E B A D C G F I H
3 A B C D E F G H I
4 A C D B F H I G E

```

---

### 根据前序和中序遍历输出后序遍历结果

---

```
1 n = int(input())
2 global pre_tra
3 pre_tra = list(map(int, input().split()))
4 in_tra = list(map(int, input().split()))
5
6 root = nodes(pre_tra[0])
7 pre_tra = pre_tra[1:]
8 # split left and right subtree
9 mid = in_tra.index(root.val)
10 lp = in_tra[0:mid]
11 rp = in_tra[mid+1:]
12
13 def establish(root, lpart, rpart):
14     global pre_tra
15     # left part
16     if lpart and pre_tra:
17         # connect subtree
18         pivot = nodes(pre_tra[0])
19         pre_tra = pre_tra[1:]
20         root.l = pivot
21         # split left and right subtree
22         mid = lpart.index(pivot.val)
23         lp = lpart[0:mid]
24         rp = lpart[mid+1:]
25         establish(pivot, lp, rp)
26     # right part
27     if rpart and pre_tra:
28         # connect subtree
29         pivot = nodes(pre_tra[0])
30         pre_tra = pre_tra[1:]
31         root.r = pivot
32         # split left and right subtree
33         mid = rpart.index(pivot.val)
34         lp = rpart[0:mid]
35         rp = rpart[mid+1:]
36         establish(pivot, lp, rp)
37
38 establish(root, lp, rp)
39 postorder(root)
```

---

#### 1.4.2 哈夫曼编码

poj 1521

Question: 输入一个字符串, 分别输出 ASCII(8bit / character) 和哈夫曼编码的长度, 以及压缩比

Sample Input

AAAAABCD

THE\_CAT\_IN\_THE\_HAT

END

Sample Output

64 13 4.9

144 51 2.8

---

```

1 from queue import PriorityQueue
2 s = input()
3 while s != 'END':
4     chaSet = set(item for item in s)
5     q = PriorityQueue()
6
7     # 只有一个字符的情况，建哈夫曼树至少需要两个节点
8     if len(s) == 1:
9         print('8 1 8')
10    else:
11        for item in chaSet:
12            q.put(s.count(item))
13        rst = 0
14        while q.qsize() > 1:
15            a = q.get()
16            b = q.get()
17            q.put(a + b)
18            # 每增加一层，编码长度加1
19            rst += a + b
20
21        # clear queue
22        q.get()
23        print('{ } { } '.format(str(8 * len(s)),
24                                str(rst),
25                                str(8 * len(s) / rst)))
26
27    s = input()

```

---

## 1.5 Heap in Python

---

```

1 import heapq
2
3 # heapq创建的是小根堆，通过对元素取负可以转换为大根堆
4
5 # create a heap
6 # convert a list to heap
7 lst = [2, 8, 1, 63, 8, 1, 0, 4]
8 heapq.heapify(lst)
9 # 此后堆heap的任何操作都要通过库函数操作
10 print(lst)
11
12 # heapq.heappush(heap, item)
13 heapq.heappush(lst, 5)
14 print(lst)
15
16 # heapq.heappop(heap)
17 # -> pop and return the min element of heap
18 print(heapq.heappop(lst))
19 print(lst)
20
21 # heapq.heappushpop(heap, item)
22 # -> push item into heap, and return the min element
23 print(heapq.heappushpop(lst, 4))
24 print(lst)

```

---

### P3378 【模板】堆

#### 题目描述

给定一个数列，初始为空，请支持下面三种操作：

1. 给定一个整数  $x$ ，请将  $x$  加入到数列中。
2. 输出数列中最小的数。

3. 删除数列中最小的数（如果有多个数最小，只删除 1 个）。

输入格式

第一行是一个整数，表示操作的次数  $n$ 。

接下来  $n$  行，每行表示一次操作。每行首先有一个整数  $op$  表示操作类型。

- 若  $op = 1$ ，则后面有一个整数  $x$ ，表示要将  $x$  加入数列。
- 若  $op = 2$ ，则表示要求输出数列中的最小数。
- 若  $op = 3$ ，则表示删除数列中的最小数。如果有多个数最小，只删除 1 个。

输出格式

对于每个操作 2，输出一行一个整数表示答案。

输入输出样例 1

输入 1

```
5
1 2
1 5
2
3
2
```

输出 1

```
2
5
```

说明/提示

【数据规模与约定】

- 对于 30% 的数据，保证  $n \leq 15$ 。
- 对于 70% 的数据，保证  $n \leq 10^4$ 。
- 对于 100% 的数据，保证  $1 \leq n \leq 10^6$ ， $1 \leq x < 2^{31}$ ， $op \in \{1, 2, 3\}$ 。

---

```
1 import heapq
2 lt = list()
3 heapq.heapify(lt)
4 n = int(input())
5 for i in range(n):
6     op = list(map(int, input().split()))
7     if len(op) == 2:
8         heapq.heappush(lt, op[1])
9     elif len(op) == 1:
10         if op[0] == 2:
11             rst = heapq.nsmallest(1, lt)
12             print(rst[0])
13         elif op[0] == 3:
14             heapq.heappop(lt)
```

---



## 2 基本算法

### 2.1 尺取法 (双指针)

用以解决序列的区间问题, 一般有两个要求:

1. 序列是有序的, 需要先对序列进行排序
2. 问题与序列的区间有关, 操作两个或多个指针  $i, j$  表示区间

在 Python 中, 用 while 实现较为方便

**扫描方向:**

**反向扫描, 左右指针:**  $i, j$  的方向相反;

**同向扫描, 快慢指针:**  $i, j$  的方向相同, 但是扫描速度一般不同, 可以形成一个大小可变的滑动窗口

#### 2.1.1 反向扫描

**找指定和的整数对**

问题: 输入  $n$  ( $n \leq 100000$ ) 个整数, 放在数组  $a[]$  中. 找出其中的两个数, 它们之和等于整数  $m$ . (假定肯定有解).

输入:

第 1 行是数组  $a[]$ , 第 2 行是  $m$

Sample input

21 4 5 6 13 65 32 9 23

28

Sample output

5 23

---

```

1 # 哈希 复杂度为 $O(n)$ , 但是需要较大的哈希空间
2 a = list(map(int, input().split()))
3 m = int(input())
4 s = set(a)
5 outed = set()
6 for item in s:
7     if m - item in s and item not in outed:
8         print(item, m - item)
9         outed.add(m-item)

```

---



---

```

1 # 尺取法 复杂度为 $O(n \log_2 n)$ , 其中, 排序的复杂度为 $O(\log_2 n)$ , 检查的复杂度为 $O(n)$ 
2 a = list(map(int, input().split()))
3 a.sort()
4 m = int(input())
5
6 # 双指针
7 i, j = 0, len(a) - 1
8 while (i < j):
9     s = a[i] + a[j]
10    #  $s < m$ :  $i$ 增加1, 之后的 $s \geq$ 当前 $s$ 
11    if s < m:
12        i += 1
13    elif s > m:
14        j -= 1
15    else:
16        print("{} {}".format(a[i], a[j]))
17        i += 1

```

---

### 判断回文串

输入: 第 1 行输入测试实例个数, 之后每行输入一个字符串

输出: 是回文串输出 yes, 不是输出 no

---

```
1 n = int(input())
2 for i in range(n):
3     s = str(input())
4     i, j = 0, len(s) - 1
5     while i < j:
6         flag = False
7         if s[i] == s[j]:
8             flag = True
9         else:
10            flag = False
11            break
12        i += 1
13        j -= 1
14    if (flag):
15        print('yes')
16    else:
17        print('no')
```

---

#### 2.1.2 同向扫描

##### 使用尺取法产生滑动窗口

##### 寻找区间和

给定一个长度为  $n$  的正整数数组  $a[]$  和一个数  $s$ , 在数组中找一个区间, 使得该区间的数组元素之和等于  $s$ .

输出区间的起点和终点位置

第 1 行输入数组长度  $n$ , 第 2 行输入数组, 第 3 行为  $s$

Sample input

15

6 1 2 3 4 6 4 2 8 9 10 11 12 13 14

6

Sample output

0 0

1 3

5 5

6 7

初始值  $i = j = 0$

如果  $sum = s$ : 输出一个解,  $sum$  减去  $a[i]$ ,  $i++$

如果  $sum < s$ :  $j++$ ,  $sum + a[j]$

如果  $sum > s$ :  $sum - a[i]$ ,  $i++$

---

```
1 n = int(input())
2 a = list(map(int, input().split()))
3 s = int(input())
4
5 sum = a[0]
6 i, j = 0, 0
7 while i < n and j < n:
8     if sum == s:
9         print("{} {}".format(i, j))
10        sum -= a[i]
11        i += 1
12        j += 1
13        sum += a[j]
14    elif sum < s:
15        j += 1
16        sum += a[j]
17    elif sum > s:
18        sum -= a[i]
19        i += 1
```

---

## 数组去重

给出一个数组, 输出去除重复元素之后的数组

---

```
1 # 哈希, 数据多或者数值过大时需要占用大量的空间
2 a = list(map(int, input().split()))
3 s = set(a)
4 unique_a = list(s)
5 print(unique_a)
```

---

```
1 # 尺取法
2 a = list(map(int, input().split()))
3 # a排序, 使得相同元素排列在一起
4 a.sort()
5 n = len(a)
6 # 双指针均从0开始
7 i, j = 0, 0
8 # j始终指向无重复元素部分的最后一个元素
9 while i < n and j < n:
10     # 若i和j指向的元素不同, j++, 将i指向的元素复制到j上
11     # EX: 1 2(j) 3(i) 3
12     # -> 1 2 3(j, i) 3
13     # EX: 1 2 3(j) 3 4(i)
14     # -> 1 2 3 3(j) 4(i)
15     # -> 1 2 3 4(j) 4(i)
16     if a[i] != a[j]:
17         j += 1
18         a[j] = a[i]
19     i += 1
20 unique_a = a[0:j+1]
21 print(unique_a)
```

---

### 找相同数对

洛谷 P1102

给出一串数字和一个数字  $C$ , 要求计算出所有  $A - B = C$  的数对的个数 (不同位置的数字一样的数对算不同的数对)

输入: 2 行, 第 1 行输入整数  $n$  和  $C$ , 第 2 行输入  $n$  个整数

输出: 满足  $A - B = C$  的数对的个数

Sample Input

6 3

8 4 5 7 7 4

Sample Output

5

---

```
1 n, c = map(int, input().split())
2 a = list(map(int, input().split()))
3 a.sort()
4
5 i, j, k = 0, 0, 0
6 ans = 0
7
8 for i in range(n):
9     # j, k指向相同元素区间的起点和终点后1个元素
10    # 寻找的对象是区间内的元素 - a[i] = C
11    while j < n - 1 and a[j] - a[i] < c:
12        j += 1
13    while k < n and a[k] - a[i] <= c:
14        k += 1
15    if a[j] - a[i] == c and a[k-1] - a[i] == c and k - 1 >= 0:
16        ans += k - j
17 print(ans)
```

---

## 2.2 二分法

### 2.2.1 Python 二分搜索库 bisect

---

```
1 from bisect import *
2 def fun(find, x, bias=0):
3     global a
4     index = find(a, x) + bias
5     print("index: {}, element: {}".format(index, a[index]))
6
7 global a
8 a = [1, 2, 4, 4, 4, 5]
9 # target: x
10 x = 4
11
12 # first > x
13 fun(bisect_right, x)
14 # first >= x
15 fun(bisect_left, x)
16 # first = x
17 fun(bisect_left, x)
18 # last = x
19 fun(bisect_right, x, bias=-1)
20 # last <= x
21 fun(bisect_right, 3, bias=-1)
22 # last < x
23 fun(bisect_left, x, bias=-1)
24 # count x in a monotonic array
25 # slow
26 print(a.count(x))
27 # fast, using binary search
28 print(bisect_right(a, x) - bisect_left(a, x))
```

---

#### output

---

```
1 index: 5, element: 5
2 index: 2, element: 4
3 index: 2, element: 4
4 index: 4, element: 4
5 index: 1, element: 2
6 index: 1, element: 2
7 3
8 3
```

---

### 2.2.2 整数二分

需要注意终止边界和左右区间问题, 避免漏解和死循环

#### mid 的计算

---

```
1 # 适用单调递增序列的后继问题
2 mid = l + (r - l) // 2 # 相当于计算出的mid向下取整, 计算的是左中位数
3 # 适用单调递增序列的前驱问题
4 mid = l + (r - l + 1) // 2 # 相当于计算出的mid向上取整, 计算的是右中位数
```

---

### 在单调递增序列中寻找 $x$ 或 $x$ 的后继

在单调递增序列中寻找第一个  $x$  的位置, 若没有  $x$ , 则寻找比  $x$  大的第一个数的位置, 即寻找第一个  $\geq x$  的位置

---

```
1 # 左闭右开 [0, n)
2 l, r = 0, n
3 while l < r:
4     mid = l + (r - l) // 2
5     if a[mid] >= x:
6         r = mid
7     else:
8         l = mid + 1
9 return l
```

---

### 在单调递增序列中寻找 $x$ 或 $x$ 的前驱

在单调递增序列中寻找第一个  $x$  的位置, 若没有  $x$ , 则寻找比  $x$  小的第一个数的位置, 即寻找第一个  $\leq x$  的位置

---

```
1 # 左开右闭 (-1, n-1]
2 l, r = -1, n - 1
3 while l < r:
4     mid = l + (r - l + 1) // 2
5     if a[mid] <= x:
6         l = mid
7     else:
8         r = mid - 1
9 return l
```

---

### 寻找 minimum

---

```
1 while l < r:
2     mid = l + (l - r) // 2
3     if check(mid):
4         # reduce
5         r = mid
6     else:
7         # enlarge
8         l = mid + 1
9 # 若  $r = mid - 1$ , 则当  $best=mid$  时可能遗漏最优解
```

---

### 寻找指定和的整数对

输入  $n$  ( $n \leq 100000$ ) 个整数, 找出其中的两个数, 使它们之和等于整数  $m$ , 假设肯定有解

---

```
1 from bisect import *
2
3 a = list(map(int, input().split()))
4 m = int(input())
5 n = len(a)
6 a.sort()
7
8 # ver. 1
9 for i in range(n-1):
10     # bisearch, a[k] = m - a[i]
11     l, r = i+1, n
12     x = m - a[i]
13     while l < r:
14         mid = l + (r - l) // 2
15         if a[mid] >= x:
16             r = mid
17         else:
18             l = mid + 1
19     if a[l] == x:
20         print("{} {}".format(a[i], a[l]))
21
22 # ver. 2
23 for i in range(n-1):
24     # bisearch, a[k] = m - a[i]
25     x = m - a[i]
26     # search from a[i+1] to a[end-]
27     p = bisect_left(a, x, lo=i+1, hi=n)
28     if a[p] == x:
29         print("{} {}".format(a[i], a[p]))
```

---

### 2.2.3 整数二分 最大值最小化

#### 序列划分: 二分 + 贪心

给定一个序列, 如  $\{2, 2, 3, 4, 5, 1\}$ , 将其划分为  $m$  个连续的子序列  $S_1, S_2, S_3$ , 每个子序列至少有一个元素, 使得每个子序列的值的最大值最小

EX.  $m = 3$

划分为  $(2, 2, 3), (4, 5), (1)$  子序列和分别为 7, 9, 1, 最大值为 9

划分为  $(2, 2, 3), (4), (5, 1)$  子序列和为 7, 4, 6, 最大值为 7, 优于前一个

---

```

1 # Input:
2 # array
3 # m: amount of subarray
4 # Output:
5 # x: minimum of maximum of sum(all possible subarrays)
6 # subarrays
7
8 from bisect import *
9
10 a = list(map(int, input().split()))
11 m = int(input())
12 n = len(a)
13 l, r = max(a), sum(a)
14 subs = []
15
16 while l < r:
17     mid = l + (r - l) // 2
18     # greedy divide subarray
19     # each sum(subarray) <= mid
20     flag = False
21     idx = 0
22     subs = []
23     for i in range(m):
24         sum = 0
25         while idx < n and sum + a[idx] <= mid:
26             sum += a[idx]
27             idx += 1
28         if idx == n or sum + a[idx] > mid:
29             subs.append(idx-1)
30     # judge
31     if subs[-1] < n-1:
32         flag = False
33     else:
34         flag = True
35     # binary control
36     if flag:
37         # reduce
38         r = mid
39     else:
40         # enlarge
41         l = mid + 1
42
43 print('minimum sum: ', l)
44 for i in range(m):
45     if i == 0:
46         print(a[ : subs[0]+1])
47     else:
48         print(a[subs[i-1]+1 : subs[i]+1])

```

---



### 2.2.4 整数二分 最小值最大化

#### 洛谷 P1824 进击的奶牛

在一条很长的直线上, 指定  $n$  个坐标点. 有  $c$  头牛, 每头牛占据一个坐标点, 求相邻两头牛之间距离的最大值

Input:

第 1 行输入:  $n\ c$

第 2 行开始每行输入: 一个整数, 表示每个点的坐标

```

1 n, c = map(int, input().split())
2 x = []
3 for i in range(n):
4     x.append(int(input()))
5 x.sort()
6
7 def check(x, dis, c):
8     i = 1
9     last = 0
10    c -= 1
11    while c > 0 and i < len(x):
12        while i < len(x) and x[i] - x[last] < dis:
13            i += 1
14        if i < len(x) and x[i] - x[last] >= dis:
15            c -= 1
16            last = i
17            i += 1
18    if c == 0:
19        return True
20    else:
21        return False
22
23 l, r = 0, x[-1] - x[0]
24 ans = 0
25 while l < r:
26     mid = l + (r - l) // 2
27     if check(x, mid, c):
28         ans = mid
29         l = mid + 1
30     else:
31         r = mid
32 print(ans)

```

### 2.2.5 实数二分

**for 控制:** 过大的 for 次数会超时, 过小的会导致精度不够答案错误. 一般取 100, 但是循环体内计算量大的时候容易超时, 可以缩减到 50

**while 控制:** while 需要设计精度 eps, 过小的 eps 会超时, 过大的会导致精度不够答案错误

```

1 # 精度, 可以调整
2 eps = 1e-7
3 while r - l > eps:
4     # for ver.
5     # epoch = 100 # 轮次
6     # for i in range(epochs):
7         mid = l + (r - l) / 2.0
8         if check(mid):
9             # reduce range
10            r = mid
11        else:
12            # enlarge range
13            l = mid
14 return l

```

**分蛋糕 poj 3122**

$m+1$  个人分  $n$  个半径不同的蛋糕, 要求每个人分得的蛋糕重量一致, 且必须是可以切出来的一整块, 每个人能分到的最大蛋糕是多少.

Input:

第一行: 1 个整数, 表示测试用例个数

对每个测试, 第一行输入  $n, m$ . 第二行输入  $n$  个整数, 表示每个蛋糕的半径

Output:

对于每个测试, 输出一个答案, 保留 4 位小数

可以将问题建模为最小值最大化问题, 用面积代替重量

**保留小数**


---

```
1 a = 1.13456 # float
2 ans = format(a, '.4f') # 四舍五入保留4位小数
```

---



---

```
1 def check(mid, area, f):
2     sum = 0
3     for i in range(len(area)):
4         sum += int(area[i] / mid)
5     if sum >= f:
6         return True
7     else:
8         return False
9
10 eps = 1e-5
11 pi = 3.1415926
12 T = int(input())
13 for t in range(T):
14     n, f = map(int, input().split())
15     cakes = list(map(float, input().split()))
16     maxx = 0
17     area = []
18     for i in range(n):
19         area.append(pi * cakes[i] * cakes[i])
20         if area[i] > maxx:
21             maxx = area[i]
22     l, r = 0, maxx
23     while r - l > eps:
24         mid = l + (r - l) / 2.0
25         if check(mid, area, f):
26             l = mid
27         else:
28             r = mid
29     ans = format(l, '.4f')
30     print(ans)
```

---

**2.3 三分法**

用于求取单峰函数的极值. 通过在  $[l, r]$  内取两个点 **mid1, mid2**, 将函数分为三段

---

```
1 k = (r - l) / 3.0
2 mid1, mid2 = l + k, r - k
```

---

**三分法模板 洛谷 P3382**

给出一个  $N$  次多项式函数, 保证在区间  $[l, r]$  内存在一点  $x$ , 使得  $x$  是函数在区间上的极大值, 求出  $x$

Input:

第一行输入  $n$ :  $N \mid r$

第二行输入:  $N + 1$  个实数, 表示从高到低各项的系数

Output:

$x$ , 四舍五入保留 5 位小数

---

```
1 n, l, r = map(float, input().split())
2 n = int(n)
3 cons = list(map(float, input().split()))
4 def f(x, n, cons):
5     sum = 0
6     for i in range(1, n+2):
7         sum += cons[-i] * pow(x, i-1)
8     return sum
9 eps = 1e-6
10 while r - l > eps:
11     k = (r - l) / 3.0
12     mid1, mid2 = l + k, r - k
13     if f(mid1, n, cons) < f(mid2, n, cons):
14         l = mid1
15     else:
16         r = mid2
17 ans = format(l, '.5f')
18 print(ans)
```

---

**三分法函数洛谷 P1883**

给定  $n$  个二次函数  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$  (均形如  $ax^2 + bx + c$ ), 设  $F(x) = \max\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\}$ , 求  $F(x)$  在区间  $[0, 1000]$  上的最小值。

输入格式

输入第一行为正整数  $T$ , 表示有  $T$  组数据。

每组数据第一行一个正整数  $n$ , 接着  $n$  行, 每行 3 个整数  $a, b, c$ , 用来表示每个二次函数的 3 个系数, 注意二次函数有可能退化一次。

输出格式

每组数据输出一行, 表示  $F(x)$  的在区间  $[0, 1000]$  上的最小值。答案精确到小数点后四位, 四舍五入。

输入输出样例 1

输入 1

2

1

2 0 0

2

2 0 0

2 -4 2

输出 1

0.0000

0.5000

说明/提示

对于 50% 的数据,  $n \leq 100$ 。

对于 100% 的数据,  $T < 10$ ,  $n \leq 10^4$ ,  $0 \leq a \leq 100$ ,  $|b| \leq 5 \times 10^3$ ,  $|c| \leq 5 \times 10^3$ 。

---

```

1 def cal(cons, x):
2     ans = -float('inf')
3     for a, b, c in cons:
4         ans = max(ans, a * x ** 2 + b * x + c)
5     return ans
6
7 eps = 1e-9
8 T = int(input())
9 for t in range(T):
10    n = int(input())
11    cons = []
12    for i in range(n):
13        a, b, c = map(float, input().split())
14        cons.append([a, b, c])
15    l = 0
16    r = 1000
17    while r - l > eps:
18        margin = (r - l) / 3.0
19        mid1 = l + margin
20        mid2 = r - margin
21        f1 = cal(cons, mid1)
22        f2 = cal(cons, mid2)
23        if f1 <= f2:
24            r = mid2
25        else:
26            l = mid1
27    ans = cal(cons, l)
28    print(format(ans, '.4f'))

```

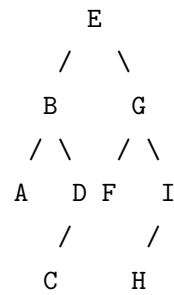
---

## 2.4 排序与排列

### 3 搜索

#### 3.1 BFS 和 DFS 基础

构建二叉树



```
1 def build():
2     a = node('a')
3     b = node('b')
4     c = node('c')
5     d = node('d')
6     e = node('e')
7     f = node('f')
8     g = node('g')
9     h = node('h')
10    i = node('i')
11    root = e
12    root.l = b
13    root.r = g
14    b.l = a
15    b.r = d
16    d.l = c
17    g.l = f
18    g.r = i
19    i.l = h
20    return root
```

##### 3.1.1 BFS

代码实现 BFS 可以使用**队列**. 处理第 i 层的节点 a 时, 将 a 的第 i+1 层的所有孩子节点放入队尾.

```
1 class node():
2     def __init__(self, v=None, l=None, r=None):
3         self.value = v
4         self.l = l
5         self.r = r
6
7 # using queue to BFS
8 root = build()
9 q = deque()
10 q.append(root)
11 while len(q) > 0:
12     temp = q.popleft()
13     print(temp.value, end=' ')
14     if temp.l:
15         q.append(temp.l)
16     if temp.r:
17         q.append(temp.r)
```

e b g a d f i c h

BFS 遍历二叉树时, 每条边需要且只需要检查一次, 时间复杂度为  $O(m)$ ,  $m$  为边的数量; 每个点只进出队列一次, 空间复杂度为  $O(n)$ ,  $n$  为点的数量.

BFS 适用于寻找全局最优解. BFS 编码时需要注意去重, 待搜索的状态已经搜索过时, 不再将此状态放入队尾.

### 3.1.2 DFS

代码实现 DFS 可以使用递归, DFS 模板框架为

---

```

1 GLOBAL ans;
2 Function dfs(Layer NO., other parameters):
3   IF (exit loop):
4     ans <- updated ans;
5     return; // back to previous layer
6   ENDIF
7   剪枝
8   FOR (下一层所有可能情况):
9     IF (used[i] == false): // have not been used
10      used[i] = true // mark status
11      dfs(layer + 1, other parameters)
12      used[i] = false // recover status
13    ENDIF
14  ENDFOR
15  return; // back to previous layer

```

---

#### DFS 常用操作

---

```

1      # DFS
2 root = build()
3
4 # 时间戳
5 dfn = []
6 dfn_timer = 0
7 def dfn_node(root):
8   global dfn, dfn_timer
9   if root:
10    dfn_timer += 1
11    dfn.append((root.value, dfn_timer))
12    print('{0}: {1}'.format(root.value, dfn_timer), end=' ')
13    if root.l:
14      dfn_node(root.l)
15    if root.r:
16      dfn_node(root.r)
17
18 print('时间戳')
19 dfn_node(root)
20 print()
21
22 # DFS序
23 visit_timer = 0
24 def visit_order(root):
25   global visit_timer
26   if root:
27     visit_timer += 1
28     # 第一次 访问
29     print('{0}: {1}'.format(root.value, visit_timer), end=' ')
30     if root.l:
31       visit_order(root.l)
32     if root.r:
33       visit_order(root.r)
34     # 第二次 回溯
35     visit_timer += 1
36     print('{0}: {1}'.format(root.value, visit_timer), end=' ')
37

```

---

```

38 print('DFS序')
39 visit_order(root)
40 print()
41
42 # 树的深度
43 deep = dict()
44 deep_timer = 0
45 def deep_node(root):
46     global deep_timer, deep
47     if root:
48         deep_timer += 1
49         deep[root.value] = deep_timer
50         print('{l}: {l}'.format(root.value, deep_timer), end=' ')
51         if root.l:
52             deep_node(root.l)
53         if root.r:
54             deep_node(root.r)
55         deep_timer -= 1
56
57 print('树的深度')
58 deep_node(root)
59 print()
60
61 # 子树节点总数
62 num = dict()
63 def num_node(root):
64     global num
65     if not root:
66         return 0
67     else:
68         num[root.value] = num_node(root.l) + num_node(root.r) + 1
69         print('{l}: {l}'.format(root.value, num[root.value]), end=' ')
70         return num[root.value]
71
72 print('子树节点总数')
73 num_node(root)
74 print()

```

---

时间戳

e: 1 b: 2 a: 3 d: 4 c: 5 g: 6 f: 7 i: 8 h: 9

DFS序

e: 1 b: 2 a: 3 a: 4 d: 5 c: 6 c: 7 d: 8 b: 9 g: 10 \
f: 11 f: 12 i: 13 h: 14 h: 15 i: 16 g: 17 e: 18

树的深度

e: 1 b: 2 a: 3 d: 3 c: 4 g: 2 f: 3 i: 3 h: 4

子树节点总数

a: 1 c: 1 d: 2 b: 4 f: 1 h: 1 i: 2 g: 4 e: 9

DFS 适用于寻找一个可行解. 编码时需要注意剪枝, 当某一个分支已经不符合要求时, 则不再在此分支上深入搜索.



## 3.2 剪枝与判重

1. 可行性剪枝: 检查当前状态, 出现条件不合法则剪枝
2. 搜索顺序剪枝: 搜索树有多个层次和分支, 不同的搜索顺序会造成不同的复杂度
3. 最优性剪枝: 如果当前花费的代价已经超过前面搜索到的最优解, 退出本分支. EX. 当前路径已经长于目前搜索到的最短路径
4. 排除等效冗余: 沿着当前节点搜索全部分支, 结果一样, 退出. 一般与组合问题有关, EX. 多个数字凑成一个大数, 数字的顺序不影响结果
5. 记忆化搜索: 将已经计算出的结果保存起来, 常用于 DP.

### 3.2.1 BFS 判重 蓝桥 642

有 9 只盘子, 排成 1 个圆圈。其中 8 只盘子内装着 8 只蚱蜢, 有一个是空盘。我们把这些蚱蜢顺时针编号为 1~8。

每只蚱蜢都可以跳到相邻的空盘中, 也可以再用点力, 越过一个相邻的蚱蜢跳到空盘中。

请你计算一下, 如果要使得蚱蜢们的队形改为按照逆时针排列, 并且保持空盘的位置不变 (也就是 1~8 换位, 2~7 换位,...), 至少要经过多少次跳跃?

**化圆为线**, 将空盘子标记为 0, 从 12 点方向依顺时针将蚂蚱编号合并为字符串, 初始状态为 012345678. 若 1 跳到盘子里, 变为 1023456789; 若 7 越过 8 跳到盘子里, 变为 712345608. 目标状态为 087654321.

---

```

1 from collections import deque
2
3 q = deque()
4 mapp = set()
5
6 def solve():
7     global q, mapp
8     while len(q) > 0:
9         now = q[0]
10        q.popleft()
11        s = now[0]
12        step = now[1]
13        if s == '087654321':
14            print(step)
15            return
16        idx = 0
17        for i in range(9):
18            if s[i] == '0':
19                idx = i
20                break
21        for j in range(idx-2, idx+3, 1):
22            if j == idx:
23                continue
24            pos = (j + 9) % 9
25            temp_lst = list(s)
26            temp_lst[idx] = s[pos]
27            temp_lst[pos] = s[idx]
28            ns = ''.join(temp_lst)
29            if ns not in mapp:
30                mapp.add(ns)
31                q.append((ns, step+1))
32
33 s = '012345678'
34 q.append((s, 0))
35 mapp.add(s)
36 solve()

```

---

### 3.2.2 可行性剪枝 poj3278

在一条直线上, 农夫在  $N$  位置, 奶牛在  $K$  位置. 农夫要抓到牛, 有 3 种移动方法: 若位于  $X$ , 可以移动到  $X-1$ ,  $X+1$ ,  $2X$ . 农夫需要走多少次才能从  $N$  到达  $K$ .

Input: 两个整数  $N, K$ .  $0 \leq N, K \leq 100000$

Output: 最少移动次数

使用可行性剪枝, 当  $X > K$  时, 只能移动到  $X-1$ , 不能扩大  $X$ .

---

```

1 from collections import deque
2
3 n, k = map(int, input().split())
4 q = deque()
5 q.append((n, 0))
6 rst = []
7 mapp = set()
8
9 def solve():
10     global q, n, k, mapp, rst
11     while len(q) > 0:
12         now = q[0]
13         q.popleft()
14         x = now[0]
15         step = now[1]
16         if x == k:
17             rst.append(step)
18         if x < 0:
19             mapp.add(x)
20             continue
21
22         if x > k:
23             if x-1 not in mapp:
24                 q.append((x-1, step+1))
25                 mapp.add(x-1)
26         else:
27             if x-1 not in mapp:
28                 q.append((x-1, step+1))
29                 mapp.add(x-1)
30             if x+1 not in mapp:
31                 q.append((x+1, step+1))
32                 mapp.add(x+1)
33             if 2*x not in mapp:
34                 q.append((2*x, step+1))
35                 mapp.add(2*x)
36
37
38 solve()
39 rst.sort()
40 print(rst[0])

```

---

```
>> 5 17
```

```
<< 4
```

### 3.2.3 最优性剪枝 洛谷 1118

输入一个  $1 - n$  的序列  $a_i$ , 每次将相邻两个数相加, 形成新的序列, 直到剩下一个数字为止. EX.

```

3    1    2    4
  4    3    6
    7    9
      16

```

现在知道  $n$  和最终的数字  $sum$ , 要求出最初的序列  $a$ . 若答案有多个, 则输出字典序最小的一个.

1. 从序列计算到最后一个数, 实际上是杨辉三角的应用, 可以先计算出来杨辉三角的系数.

2. **最优性剪枝**: 若当前枚举到的序列中有一段, 这段子序列相加进行上述累加的结果已经超过  $sum$ , 则整个序列都可以排除.

**对于 Python**: 生成全排列可以使用 `itertools` 中的 `permutations`; 列表可以直接进行大小比较, 放回的结果是第一个不同数字的大小比较结果; 查重可以将数字使用空格分隔再转换为字符串进行.

---

```

1 from itertools import permutations
2 from copy import deepcopy
3
4 # prepare
5
6 cal_tab = dict()
7 base = [0] * 12
8 base[0] = 1
9 cal_tab[1] = base
10 pass_dict = set()
11
12 def move_add(a):
13     i = 1
14     rst = deepcopy(base)
15     while i < len(a):
16         if a[i-1] == 0:
17             return rst
18         rst[i] = a[i-1] + a[i]
19         i += 1
20     return rst
21
22 def tri_sum(a):
23     global cal_tab
24     n = len(a)
25     tab = cal_tab[n]
26     rst = 0
27     for i in range(n):
28         rst += a[i] * tab[i]
29     return rst
30
31 for i in range(2, 13):
32     temp = deepcopy(cal_tab[i-1])
33     cal_tab[i] = move_add(temp)
34
35 # begin receive inputs
36 n, summ = map(int, input().split())
37 origin = [i for i in range(1, n+1)]
38 rst = []
39 for per in permutations(origin):
40     per = list(per)
41     check = ' '.join(map(str, per))
42     flag = False
43     for item in pass_dict:
44         if item in check:

```

```
45         flag = True
46         break
47     if flag:
48         continue
49     if tri_sum(per) == summ:
50         if len(rst) == 0:
51             rst = per
52         elif per < rst:
53             rst = per
54
55     elif tri_sum(per) > summ:
56         per.pop()
57         while len(per) > 0:
58             if tri_sum(per) > summ:
59                 pass_dict.add(' '.join(map(str, per)))
60                 per.pop()
61             else:
62                 break
63
64 print(' '.join(map(str, rst)))
```

---

```
>> 4 16
```

```
<< 3 1 2 4
```

### 3.2.4 优化搜索顺序 排除等效冗余 洛谷 1120

乔治有一些同样长的小木棍，他把这些木棍随意砍成几段，直到每段的长都不超过 50。现在，他想把小木棍拼接成原来的样子，但是却忘记了自己开始时有多少根木棍和它们的长度。给出每段小木棍的长度，编程帮他找出原始木棍的最小可能长度。

输入格式

第一行是一个整数  $n$ ，表示小木棍的个数。

第二行有  $n$  个整数，表示各个木棍的长度  $a_i$

输出格式

输出一行一个整数表示答案。

**1. 优化搜索顺序:** 把小木棍按长度从大到小排列，再按照从大到小的顺序尝试拼接。

**2. 排除等效冗余:** 即按照优化 1 进行优化，因为在拼接中，从大到小地拼接和从小到大的拼接一样。

**3. 长度优化:** 所有可行长度  $D$  是小木棍总长度的一个约数。令木棍长度为  $summ$ ，则  $D$  的范围为  $[1, summ]$ 。再令  $K$  为原始木棍根数，则  $summ = K \cdot D, K \in \mathbb{Z}^+ \implies D \in \{n | summ/n \in \mathbb{Z}^+\}$ 。若  $summ$  不可分为多个  $D$  之和，则该  $D$  不可用于分割。

---

```

1 n = int(input())
2 a = list(map(int, input().split()))
3 a.sort(reverse=True)
4 a_mark = [False for i in range(len(a))]
5 summ = sum(a)
6
7 def reset():
8     global a_mark
9     for i in range(len(a_mark)):
10         a_mark[i] = False
11 def combine(length):
12     global a, a_mark
13     if length == 0:
14         return True
15     for i in range(len(a)):
16         flag = False
17         if a_mark[i]:
18             continue
19         else:
20             if a[i] > length:
21                 continue
22             else:
23                 a_mark[i] = True
24                 flag = combine(length - a[i])
25                 if not flag:
26                     a_mark[i] = False
27     if flag:
28         return True
29
30 for length in range(1, summ+1):
31     reset()
32     flag = True
33     if summ % length != 0:
34         continue
35     else:
36         k = summ // length
37         for i in range(k):
38             flag = combine(length)
39             if not flag:
40                 reset()
41                 break
42     if flag:
43         print(length)
44         break

```

---

```
>> 9
>> 5 2 1 5 2 1 5 2 1
<< 6
```

### 3.3 洪水填充

从一个种子点开始, 扩散到邻居, 再不断扩散到邻居的邻居的过程. 使用 BFS 和 DFS 都可以, DFS 更简单. EX.

---

```
1 import math
2 from time import sleep
3
4 def show(region):
5     print()
6     for i in range(15):
7         for j in range(15):
8             print(region[i][j], end=' ')
9         print()
10
11 region = [[0 for _ in range(15)]for _ in range(15)]
12 for i in range(15):
13     for j in range(15):
14         if 4.5 < math.sqrt((i-7)**2+(j-7)**2) < 5.5:
15             region[i][j] = 1
16
17 print('original')
18 show(region)
19 sleep(1)
20
21 '''
22 core
23 '''
24 def floodfill(x, y, new_color, old_color):
25     global region
26     if math.sqrt((x-7)**2+(y-7)**2) < 5.5 and region[y][x] == old_color \
27         and 0 <= x <= 14 and 0 <= y <= 14:
28         region[y][x] = new_color
29         show(region)
30         sleep(1)
31         floodfill(x+1, y, 1, 0)
32         floodfill(x-1, y, 1, 0)
33         floodfill(x, y+1, 1, 0)
34         floodfill(x, y-1, 1, 0)
35
36 floodfill(3, 5, 1, 0)
```

---

### 3.4 BFS 与最短路径

在所有相邻点的距离**相等**时, BFS 是最优的最短距离算法; 若距离**不相等**, 需要使用 Dijkstra 等通用的标准算法.

#### 蓝桥 602 改

给出地图, 1 为障碍, 0 为可以通行的地方. 迷宫的左上角为入口, 右下角为出口. 找出一种通过迷宫的方式, 其使用的步数最少. 对每一步使用 DULR 表示, DULR 分别为下上左右.

```
010000
000100
001001
110000
```

---

```
1 from collections import deque
2
3 class node:
4     def __init__(self, x, y, path):
5         self.x = x
6         self.y = y
7         self.path = path
8
9 rows = 30
10 cols = 50
11 a = \
12 '01010101001011001001010110010110100100001000101010' \
13 ...(略)
14 '0011110000100001000000011011100000000100000001011' \
15 '10000001100111010111010001000110111010101101111000'
16 mapp = [[None for _ in range(cols)]for _ in range(rows)]
17 for r in range(rows):
18     for c in range(cols):
19         mapp[r][c] = int(a[c + r * cols])
20
21 vis = [[0 for _ in range(cols)]for _ in range(rows)]
22 op = [[1, 0],
23        [-1, 0],
24        [0, 1],
25        [0, -1]]
26 P = ['R', 'L', 'D', 'U']
27
28 def bfs():
29     start = node(0, 0, '')
30     vis[0][0] = 1
31     q = deque()
32     q.append(start)
33     while len(q) > 0:
34         now = q.popleft()
35         if now.x == cols-1 and now.y == rows-1:
36             print(now.path)
37             # broadcast
38             for i in range(4):
39                 next = node(now.x + op[i][0], now.y + op[i][1], now.path+P[i])
40                 # out of range
41                 if next.x < 0 or next.y < 0 or next.x > cols-1 or next.y > rows-1:
42                     continue
43                 if vis[next.y][next.x] == 1 or mapp[next.y][next.x] == 1:
44                     continue
45                 vis[next.y][next.x] = 1
46                 q.append(next)
47
48 bfs()
```

---