

## Contents

1	ubuntu	1
1.1	run . . . . .	1
1.2	cp.sh . . . . .	1
2	Basic	1
2.1	ascii . . . . .	1
2.2	limits . . . . .	1
3	字串	2
3.1	最長迴文子字串 . . . . .	2
3.2	stringstream . . . . .	2
4	STL	2
4.1	priority_queue . . . . .	2
4.2	queue . . . . .	2
4.3	deque . . . . .	2
4.4	map . . . . .	3
4.5	unordered_map . . . . .	3
4.6	set . . . . .	3
4.7	multiset . . . . .	4
4.8	unordered_set . . . . .	4
4.9	單調隊列 . . . . .	4
5	sort	5
5.1	大數排序 . . . . .	5
5.2	bubble sort . . . . .	5
6	math	6
6.1	質數與因數 . . . . .	6
6.2	prime factorization . . . . .	6
6.3	快速幂 . . . . .	6
6.4	歐拉函數 . . . . .	7
7	algorithm	7
7.1	basic . . . . .	7
7.2	binarysearch . . . . .	7
7.3	prefix sum . . . . .	7
7.4	差分 . . . . .	7
7.5	greedy . . . . .	8
8	動態規劃	11
8.1	LCS 和 LIS . . . . .	11
9	graph	11
9.1	graph . . . . .	11
10	Section2	12
10.1	thm . . . . .	12
11	space	12
11.1	s . . . . .	12
12	reference	13
12.1	assert.cpp . . . . .	13
12.2	print.cpp . . . . .	13
12.3	randomvec.cpp . . . . .	13
12.4	find.cpp . . . . .	13
12.5	sort.cpp . . . . .	13
12.6	minmax.cpp . . . . .	13
12.7	hw6.cpp . . . . .	13
12.8	rectangle.cpp . . . . .	15
12.9	SortFunctionTemplate.cpp . . . . .	15
12.10	exception.cpp . . . . .	16
12.11	purevirtual.cpp . . . . .	16
12.12	RationalNumber.cpp . . . . .	17

## 1 ubuntu

### 1.1 run

1 | ~\$ bash cp.sh PA

## 1.2 cp.sh

```

1 #!/bin/bash
2 clear
3 g++ $1.cpp -DDBG -o $1
4 if [[ "$?" == "0" ]]; then
5     echo Running
6     ./$1 < $1.in > $1.out
7     echo END
8 fi

```

## 2 Basic

### 2.1 ascii

int	char	int	char	int	char
32		64	@	96	`
33	!	65	A	97	a
34	"	66	B	98	b
35	#	67	C	99	c
36	\$	68	D	100	d
37	%	69	E	101	e
38	&	70	F	102	f
39	'	71	G	103	g
40	(	72	H	104	h
41	)	73	I	105	i
42	*	74	J	106	j
43	+	75	K	107	k
44	,	76	L	108	l
45	-	77	M	109	m
46	.	78	N	110	n
47	/	79	O	111	o
48	0	80	P	112	p
49	1	81	Q	113	q
50	2	82	R	114	r
51	3	83	S	115	s
52	4	84	T	116	t
53	5	85	U	117	u
54	6	86	V	118	v
55	7	87	W	119	w
56	8	88	X	120	x
57	9	89	Y	121	y
58	:	90	Z	122	z
59	;	91	[	123	{
60	<	92	\	124	
61	=	93	]	125	}
62	>	94	^	126	~
63	?	95	_		

### 2.2 limits

[Type]	[size]	[range]
char	1	127 to -128
signed char	1	127 to -128
unsigned char	1	0 to 255
short	2	32767 to -32768
int	4	2147483647 to -2147483648
unsigned int	4	0 to 4294967295
long	4	2147483647 to -2147483648
unsigned long	4	0 to 18446744073709551615
long long	8	
	9223372036854775807	to -9223372036854775808
double	8	1.79769e+308 to 2.22507e-308
long double	16	1.18973e+4932 to 3.3621e-4932
float	4	3.40282e+38 to 1.17549e-38
unsigned long long	8	0 to 18446744073709551615
string	32	

## 3 字串

### 3.1 最長迴文子字串

```

1 #include <bits/stdc++.h>
2 #define T(x) ((x) % 2 ? s[(x) / 2] : '. ')
3 using namespace std;
4
5 string s;
6 int n;
7
8 int ex(int l, int r) {
9     int i = 0;
10    while(l - i >= 0 && r + i < n && T(l - i) == T(r + i)) i++;
11    return i;
12 }
13
14 int main() {
15     cin >> s;
16     n = 2 * s.size() + 1;
17
18     int mx = 0;
19     int center = 0;
20     vector<int> r(n);
21     int ans = 1;
22     r[0] = 1;
23     for(int i = 1; i < n; i++) {
24         int ii = center - (i - center);
25         int len = mx - i + 1;
26         if(i > mx) {
27             r[i] = ex(i, i);
28             center = i;
29             mx = i + r[i] - 1;
30         } else if(r[ii] == len) {
31             r[i] = len + ex(i - len, i + len);
32             center = i;
33             mx = i + r[i] - 1;
34         } else {
35             r[i] = min(r[ii], len);
36         }
37         ans = max(ans, r[i]);
38     }
39
40     cout << ans - 1 << "\n";
41     return 0;
42 }

```

### 3.2 stringstream

```

1 string s, word;
2 stringstream ss;
3 getline(cin, s);
4 ss << s;
5 while(ss >> word)
6     cout << word << endl;

```

## 4 STL

### 4.1 priority\_queue

```

1 priority_queue: 優先隊列，資料預設由大到小排序，
   即優先權高的資料會先被取出。
2 宣告：
3     priority_queue<int> pq;
4 把元素 x 加進 priority_queue：
5     pq.push(x);
6 讀取優先權最高的值：
7     x = pq.top();
8     pq.pop();           //讀取後刪除

```

```

9 判斷是否為空的priority_queue：
10    pq.empty()           //回傳 true
11    pq.size()            //回傳 0
12 如需改變priority_queue的優先權定義：
13    priority_queue<T> pq; //預設由大到小
14    priority_queue<T, vector<T>, greater<T>> > pq;
15                                //改成由小到大
16    priority_queue<T, vector<T>, cmp> pq; //cmp

```

### 4.2 queue

```

1 queue: 佇列，資料有「先進先出」(first in first out,
   FIFO)的特性。
2 就像排隊買票一樣，先排隊的客戶被服務。
3 宣告：
4     queue<int> q;
5 把元素 x 加進 queue：
6     q.push(x);
7 取值：
8     x = q.front(); //頭
9     x = q.back();  //尾
10 移除已經讀取的值：
11     q.pop();
12 判斷是否為空的queue：
13     q.empty() 回傳 true
14     q.size()  回傳零
15
16 #include <iostream>
17 #include <queue>
18 using namespace std;
19
20 int main() {
21     int n;
22     while (cin >> n){
23         if (n == 0) break;
24         queue<int> q;
25         for (int i = 0; i < n; i++){
26             q.push(i+1);
27         }
28         cout << "Discarded cards:";
29         for (int i = 0; i < n-1; i++){
30             if (i != 0) cout << ', ';
31             cout << ' ' << q.front();
32             q.pop();
33             q.push(q.front());
34             q.pop();
35         }
36         cout << endl << "Remaining card: " <<
37             q.front() << endl;
38     }
39 }

```

### 4.3 deque

```

1 deque 是 C++ 標準模板函式庫
2 (Standard Template Library, STL)
3 中的雙向佇列容器 (Double-ended Queue)，
4 跟 vector 相似，不過在 vector
5 中若是要添加新元素至開端，
6 其時間複雜度為 O(N)，但在 deque 中則是 O(1)。
7 同樣也能在我們需要儲存更多元素的時候自動擴展空間，
   讓我們不必煩惱佇列長度的問題。
8 dq.push_back() //在 deque 的最尾端新增元素
9 dq.push_front() //在 deque 的開頭新增元素
10 dq.pop_back()   //移除 deque 最尾端的元素
11 dq.pop_front()  //移除 deque 最開頭的元素
12 dq.back()       //取出 deque 最尾端的元素
13 dq.front()      //回傳 deque 最開頭的元素
14 dq.insert()
15 dq.insert(position, n, val)

```

```

16 position: 插入元素的 index 值
17 n: 元素插入次數
18 val: 插入的元素值
19 dq.erase()
    //刪除元素，需要使用迭代器指定刪除的元素或位置，
    同時也會返回指向刪除元素下一元素的迭代器。
20 dq.clear()    //清空整個 deque 佇列。
21 dq.size()    //檢查 deque 的尺寸
22 dq.empty()   //如果 deque 佇列為空返回 1；
                若是存在任何元素，則返回0
23 dq.begin()   //返回一個指向 deque 開頭的迭代器
24 dq.end()     //指向 deque 結尾，
25             不是最後一個元素，
26             而是最後一個元素的下一個位置
27

```

#### 4.4 map

```

1 map: 存放 key-value pairs 的映射資料結構，
2     會按 key 由小到大排序。
3 元素存取
4 operator[]: 存取指定的[i]元素的資料
5
6 迭代器
7 begin(): 回傳指向map頭部元素的迭代器
8 end(): 回傳指向map末尾的迭代器
9 rbegin(): 回傳一個指向map尾部的反向迭代器
10 rend(): 回傳一個指向map頭部的反向迭代器
11

```

遍歷整個map時，利用iterator操作：

```

13 取key: it->first 或 (*it).first
14 取value: it->second 或 (*it).second
15

```

```

16 容量
17 empty(): 檢查容器是否為空，空則回傳true
18 size(): 回傳元素數量
19 max_size(): 回傳可以容納的最大元素個數
20

```

```

21 修改器
22 clear(): 刪除所有元素
23 insert(): 插入元素
24 erase(): 刪除一個元素
25 swap(): 交換兩個map
26

```

```

27 查找
28 count(): 回傳指定元素出現的次數
29 find(): 查找一個元素
30

```

//實作範例

```

32 #include <bits/stdc++.h>
33 using namespace std;
34
35 int main(){
36
37     //declaration container and iterator
38     map<string, string> mp;
39     map<string, string>::iterator iter;
40     map<string, string>::reverse_iterator iter_r;
41
42     //insert element
43     mp.insert(pair<string, string>("r000",
44                                     "student_zero"));
45
46     mp["r123"] = "student_first";
47     mp["r456"] = "student_second";
48
49     //traversal
50     for(iter = mp.begin(); iter != mp.end(); iter++)
51         cout<<iter->first<<" "<<iter->second<<endl;
52     for(iter_r = mp.rbegin(); iter_r != mp.rend();
53         iter_r++)
54         cout<<iter_r->first<<" "
55             <<iter_r->second<<endl;
56

```

```

53
54     //find and erase the element
55     iter = mp.find("r123");
56     mp.erase(iter);
57
58     iter = mp.find("r123");
59
60     if(iter != mp.end())
61         cout<<"Find, the value is "
62             <<iter->second<<endl;
63     else
64         cout<<"Do not Find"<<endl;
65
66     return 0;
67 }
68
69 //map統計數字
70 #include<bits/stdc++.h>
71 using namespace std;
72
73 int main(){
74     ios::sync_with_stdio(0),cin.tie(0);
75     long long n,x;
76     cin>>n;
77     map <int,int> mp;
78     while(n--){
79         cin>>x;
80         ++mp[x];
81     }
82     for(auto i:mp) cout<<i.first<<" "<<i.second<<endl;
83 }

```

#### 4.5 unordered\_map

```

1 unordered_map: 存放 key-value pairs
2               的「無序」映射資料結構。
3 用法與map相同

```

#### 4.6 set

```

1 set: 集合，去除重複的元素，資料由小到大排序。
2
3 宣告:
4     set <int> st;
5
6 把元素 x 加進 set:
7     st.insert(x);
8
9 檢查元素 x 是否存在 set 中:
10    st.count(x);
11
12 刪除元素 x:
13    st.erase(x); // 可傳入值或iterator
14
15 清空集合中的所有元素:
16    st.clear();
17
18 取值: 使用iterator
19    x = *st.begin();
20           // set中的第一個元素(最小的元素)。
21    x = *st.rbegin();
22           // set中的最後一個元素(最大的元素)。
23
24 判斷是否為空的set:
25    st.empty() 回傳true
26    st.size() 回傳零
27
28 常用來搭配的member function:
29    st.count(x);
30    auto it = st.find(x);
31           // binary search, O(log(N))
32    auto it = st.lower_bound(x);

```

```

33 // binary search, O(log(N))
34 auto it = st.upper_bound(x);
35 // binary search, O(log(N))

```

## 4.7 multiset

與 set 用法雷同，但會保留重複的元素。  
 資料由小到大排序。  
 宣告：  
 multiset<int> st;  
 刪除資料：  
 st.erase(val); 會刪除所有值為 val 的元素。  
 st.erase(st.find(val)); 只刪除第一個值為 val 的元素。

## 4.8 unordered\_set

unordered\_set 的實作方式通常是用雜湊表(hash table)，  
 資料插入和查詢的時間複雜度很低，為常數級別 $O(1)$ ，  
 相對的代價是消耗較多的記憶體，空間複雜度較高，  
 無自動排序功能。

```

6 初始化
7 unordered_set<int> myunordered_set{1, 2, 3, 4, 5};
8
9 陣列初始化
10 int arr[] = {1, 2, 3, 4, 5};
11 unordered_set<int> myunordered_set(arr, arr+5);
12
13 插入元素
14 unordered_set<int> myunordered_set;
15 myunordered_set.insert(1);
16
17 迴圈遍歷 unordered_set 容器
18 #include <iostream>
19 #include <unordered_set>
20 using namespace std;
21
22 int main() {
23     unordered_set<int> myunordered_set = {3, 1};
24     myunordered_set.insert(2);
25     myunordered_set.insert(5);
26     myunordered_set.insert(4);
27     myunordered_set.insert(5);
28     myunordered_set.insert(4);
29
30     for (const auto &s : myunordered_set) {
31         cout << s << " ";
32     }
33     cout << "\n";
34
35     return 0;
36 }

```

```

37
38 /*
39 output
40 4 5 2 1 3
41 */
42
43 unordered_set 刪除指定元素
44 #include <iostream>
45 #include <unordered_set>
46
47 int main() {
48     unordered_set<int> myunordered_set{2, 4, 6, 8};
49
50     myunordered_set.erase(2);
51     for (const auto &s : myunordered_set) {
52         cout << s << " ";
53     }
54     cout << "\n";
55 }

```

```

56     return 0;
57 }
58 /*
59 output
60 8 6 4
61 */
62
63 清空 unordered_set 元素
64 unordered_set<int> myunordered_set;
65 myunordered_set.insert(1);
66 myunordered_set.clear();
67
68 unordered_set 判斷元素是否存在
69 unordered_set<int> myunordered_set;
70 myunordered_set.insert(2);
71 myunordered_set.insert(4);
72 myunordered_set.insert(6);
73 cout << myunordered_set.count(4) << "\n"; // 1
74 cout << myunordered_set.count(8) << "\n"; // 0
75
76 判斷 unordered_set 容器是否為空
77 #include <iostream>
78 #include <unordered_set>
79
80 int main() {
81     unordered_set<int> myunordered_set;
82     myunordered_set.clear();
83
84     if (myunordered_set.empty()) {
85         cout << "empty\n";
86     } else {
87         cout << "not empty, size is " <<
88             myunordered_set.size() << "\n";
89     }
90
91     return 0;
92 }

```

## 4.9 單調隊列

```

1 //單調隊列
2 "如果一個選手比你小還比你強，你就可以退役了。"--單調隊列
3
4 example 1
5
6 給出一個長度為 n 的數組，
7 輸出每 k 個連續的數中的最大值和最小值。
8
9 //寫法1
10 #include <bits/stdc++.h>
11 #define maxn 1000100
12 using namespace std;
13 int q[maxn], a[maxn];
14 int n, k;
15
16 void getmin() {
17     // 得到這個隊列裡的最小值，直接找到最後的就行了
18     int head = 0, tail = 0;
19     for (int i = 1; i <= n; i++) {
20         while (head <= tail && a[q[tail]] >= a[i])
21             tail--;
22         q[++tail] = i;
23     }
24     for (int i = k; i <= n; i++) {
25         while (head <= tail && a[q[tail]] >= a[i])
26             tail--;
27         q[++tail] = i;
28         while (q[head] <= i - k) head++;
29         cout << a[q[head]] << " ";
30     }
31 }
32
33 void getmax() { // 和上面同理
34     int head = 0, tail = 0;
35     for (int i = 1; i <= n; i++) {

```

```

34     while(head<=tail&&a[q[tail]]<=a[i])tail--;
35     q[++tail] = i;
36 }
37 for (int i = k; i <= n; i++) {
38     while(head<=tail&&a[q[tail]]<=a[i])tail--;
39     q[++tail] = i;
40     while (q[head] <= i - k) head++;
41     cout<<a[q[head]]<<" ";
42 }
43 }
44
45 int main() {
46     cin>>n>>k;    //每k個連續的數
47     for (int i = 1; i <= n; i++) cin>>a[i];
48     getmin();
49     cout<<"\n";
50     getmax();
51     cout<<"\n";
52     return 0;
53 }
54
55 //寫法2
56 #include <iostream>
57 #include <cstring>
58 #include <deque>
59 using namespace std;
60 int a[1000005];
61
62 int main() {
63     ios_base::sync_with_stdio(0);
64     int n, k;
65     while(cin>>n>>k) {
66         for(int i=0; i<n; i++) cin >> a[i];
67         deque<int> dq;
68         for(int i=0; i<n; i++){
69             while(dq.size() && dq.front()<=i-k)
70                 dq.pop_front();
71             while(dq.size() && a[dq.back()]>a[i])
72                 dq.pop_back();
73             dq.push_back(i);
74             if(i==k-1) cout<<a[dq.front()];
75             if(i>k-1) cout<<" "<<a[dq.front()];
76         }
77         if(k>n) cout<<a[dq.front()];
78         cout<<"\n";
79         while(dq.size()) dq.pop_back();
80         for(int i=0; i<n; i++){
81             while(dq.size() && dq.front()<=i-k)
82                 dq.pop_front();
83             while(dq.size() && a[dq.back()]<a[i])
84                 dq.pop_back();
85             dq.push_back(i);
86             if(i==k-1) cout<<a[dq.front()];
87             if(i>k-1) cout<<" "<<a[dq.front()];
88         }
89         if(k>n) cout<<a[dq.front()];
90         cout<<"\n";
91     }
92     return 0;
93 }

```

#### example 2

一個含有  $n$  項的數列，求出每一項前的  $m$  個數到它這個區間內的最小值。

若前面的數不足  $m$  項則從第 1 個數開始，若前面沒有數則輸出 0

```

100 #include<bits/stdc++.h>
101 using namespace std;
102 #define re register int
103 #define INF 0x3f3f3f3f
104 #define ll long long
105 #define maxn 2000009
106 #define maxm
107 #define ll read() {
108

```

```

109     ll x=0,f=1;
110     char ch=getchar();
111     while(ch<'0' || ch>'9'){
112         if(ch=='-') f=-1;
113         ch=getchar();
114     }
115     while(ch>='0'&&ch<='9'){
116         x=(x<<1)+(x<<3)+(ll)(ch-'0');
117         ch=getchar();
118     }
119     return x*f;
120 }
121 int n,m,k,tot,head,tail;
122 int a[maxn],q[maxn];
123 int main() {
124     n=read(), m=read();
125     for(int i=1;i<=n;i++) a[i]=read();
126     head=1,tail=0; //起始位置為1
127     //因為插入是q[++tail]所以要初始化為0
128     for(int i=1;i<=n;i++)
129         //每次隊首的元素就是當前的答案
130     {
131         cout<<a[q[head]]<<endl;
132         while(i-q[head]+1>m&&head<=tail) //維護隊首
133             head++;
134         while(a[i]<a[q[tail]]&&head<=tail) //維護隊尾
135             tail--;
136         q[++tail]=i;
137     }
138     return 0;
139 }

```

## 5 sort

### 5.1 大數排序

```

1 #python大數排序
2
3 while True:
4     try:
5         n = int(input())          # 有幾筆數字需要排序
6         arr = []                  # 建立空串列
7         for i in range(n):
8             arr.append(int(input())) # 依序將數字存入串列
9         arr.sort()                 # 串列排序
10        for i in arr:
11            print(i)                # 依序印出串列中每個項目
12    except:
13        break

```

### 5.2 bubble sort

```

1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     int n;
6     cin>>n;
7     int a[n], tmp;
8     for(int i=0; i<n; i++) cin>>a[i];
9     for(int i=n-1; i>0; i--) {
10         for(int j=0; j<=i-1; j++) {
11             if( a[j]>a[j+1]) {
12                 tmp=a[j];
13                 a[j]=a[j+1];
14                 a[j+1]=tmp;
15             }
16         }
17     }
18     for(int i=0; i<n; i++) cout<<a[i]<<" ";
19 }

```

## 6 math

### 6.1 質數與因數

```

1 質數
2
3 埃氏篩法
4 int n;
5 vector<int> isprime(n+1,1);
6 isprime[0]=isprime[1]=0;
7 for(int i=2;i*i<=n;i++){
8     if(isprime[i])
9         for(int j=i*i;j<=n;j+=i) isprime[j]=0;
10 }
11
12 因數
13
14 最大公因數 O(log(min(a,b)))
15
16 int GCD(int a, int b)
17 {
18     if (b == 0) return a;
19     return GCD(b, a % b);
20 }
21
22 質因數分解
23
24 void primeFactorization(int n)
25 {
26     for (int i = 0; i < (int)p.size(); ++i)
27     {
28         if (p[i] * p[i] > n)
29             break;
30         if (n % p[i])
31             continue;
32         cout << p[i] << ' ';
33         while (n % p[i] == 0)
34             n /= p[i];
35     }
36     if (n != 1)
37         cout << n << ' ';
38     cout << '\n';
39 }
40
41 歌德巴赫猜想
42 solution : 把偶數 N (6≤N≤10^6) 寫成兩個質數的和。
43 #include <iostream>
44 #include <cstdio>
45 using namespace std;
46 #define N 2000000
47 int ox[N], p[N], pr;
48
49 void PrimeTable(){
50     ox[0] = ox[1] = 1;
51     pr = 0;
52     for (int i = 2; i < N; i++){
53         if (!ox[i]) p[pr++] = i;
54         for (int j = 0; i*p[j]<N&&j < pr; j++)
55             ox[i*p[j]] = 1;
56     }
57 }
58
59 int main(){
60     PrimeTable();
61     int n;
62     while (cin>>n,n){
63         int x;
64         for (x = 1;; x += 2)
65             if (!ox[x] && !ox[n - x])break;
66         printf("%d = %d + %d\n", n, x, n - x);
67     }
68 }
69
70 problem : 給定整數 N，求 N
    最少可以拆成多少個質數的和。

```

```

71 如果 N 是質數，則答案為 1。
72 如果 N 是偶數(不包含2)，則答案為 2 (強歌德巴赫猜想)。
73 如果 N 是奇數且 N-2 是質數，則答案為 2 (2+質數)。
74 其他狀況答案為 3 (弱歌德巴赫猜想)。
75 #pragma GCC optimize("O2")
76 #include <bits/stdc++.h>
77 using namespace std;
78 #define FOR(i, L, R) for(int i=L;i<(int)R;++i)
79 #define FORD(i, L, R) for(int i=L;i>(int)R;--i)
80 #define IOS
81     cin.tie(nullptr);
82     cout.tie(nullptr);
83     ios_base::sync_with_stdio(false);
84
85 bool isPrime(int n){
86     FOR(i, 2, n){
87         if (i * i > n)
88             return true;
89         if (n % i == 0)
90             return false;
91     }
92     return true;
93 }
94
95 int main(){
96     IOS;
97     int n;
98     cin >> n;
99     if(isPrime(n)) cout << "1\n";
100     else if(n%2==0||isPrime(n-2)) cout<<"2\n";
101     else cout << "3\n";
102 }

```

### 6.2 prime factorization

```

1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     int n;
6     while(true) {
7         cin>>n;
8         for(int x=2; x<=n; x++) {
9             while(n%x==0) {
10                 cout<<x<<"*";
11                 n/=x;
12             }
13         }
14         cout<<"\b \n";
15     }
16     system("pause");
17     return 0;
18 }

```

### 6.3 快速幂

```

1 計算a^b
2 #include <iostream>
3 #define ll long long
4 using namespace std;
5
6 const ll MOD = 1000000007;
7 ll fp(ll a, ll b) {
8     int ans = 1;
9     while(b > 0) {
10         if(b & 1) ans = ans * a % MOD;
11         a = a * a % MOD;
12         b >>= 1;
13     }
14     return ans;
15 }
16
17 int main() {

```

```

18 int a, b;
19 cin>>a>>b;
20 cout<<fp(a,b);
21 }

```

## 6.4 歐拉函數

```

1 //計算閉區間 [1,n] 中的正整數與 n 互質的個數
2 #include <bits/stdc++.h>
3 using namespace std;
4 int n,ans;
5
6 int phi(){
7     ans=n;
8     for(int i=2;i*i<=n;i++){
9         if(n%i==0){
10             ans=ans-ans/i;
11             while(n%i==0) n/=i;
12         }
13     }
14     if(n>1) ans=ans-ans/n;
15     return ans;
16 }
17 int main(){
18     while(cin>>n)
19         cout<<phi()<<endl;
20 }

```

## 7 algorithm

### 7.1 basic

```

1 min_element：找尋最小元素
2 min_element(first, last)
3 max_element：找尋最大元素
4 max_element(first, last)
5 sort：排序，預設由小排到大。
6 sort(first, last)
7 sort(first, last, cmp)：可自行定義比較運算子 cmp。
8 find：尋找元素。
9 find(first, last, val)
10 lower_bound：尋找第一個小於 x
   的元素位置，如果不存在，則回傳 last。
11 lower_bound(first, last, val)
12 upper_bound：尋找第一個大於 x
   的元素位置，如果不存在，則回傳 last。
13 upper_bound(first, last, val)
14 next_permutation：將序列順序轉換成下一個字典序，
   如果存在回傳 true，反之回傳 false。
15 next_permutation(first, last)
16 prev_permutation：將序列順序轉換成上一個字典序，
   如果存在回傳 true，反之回傳 false。
17 prev_permutation(first, last)

```

### 7.2 binarysearch

```

1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 int binary_search(vector<int> &nums, int target) {
5     int left=0, right=nums.size()-1;
6     while(left<=right){
7         int mid=(left+right)/2;
8         if (nums[mid]>target) right=mid-1;
9         else if (nums[mid]<target) left=mid+1;
10        else return mid+1;
11    }
12    return 0;
13 }

```

```

14
15 int main() {
16     int n, k, x;
17     cin >> n >> k;
18     int a[n];
19     vector<int> v;
20     for(int i=0 ; i<n ; i++){
21         cin >> x;
22         v.push_back(x);
23     }
24     for(int i=0 ; i<k ; i++) cin >> a[i];
25     for(int i=0 ; i<k ; i++){
26         cout << binary_search(v, a[i]) << endl;
27     }
28 }
29
30 lower_bound(a, a + n, k); //最左邊 ≥ k 的位置
31 upper_bound(a, a + n, k); //最左邊 > k 的位置
32 upper_bound(a, a + n, k) - 1; //最右邊 ≤ k 的位置
33 lower_bound(a, a + n, k) - 1; //最右邊 < k 的位置
34 (lower_bound, upper_bound) //等於 k 的範圍
35 equal_range(a, a+n, k);
36
37 /*
38 input
39 5 5
40 1 3 4 7 9
41 3 1 9 7 -2
42 */
43
44 /*
45 output
46 2
47 1
48 5
49 4
50 0
51 */

```

### 7.3 prefix sum

```

1 // 前綴和
2 陣列前n項的和。
3 b[i] = a[0] + a[1] + a[2] + ... + a[i]
4 區間和 [l, r] : b[r]-b[l-1] (要保留b[l]所以-1)
5
6 #include <bits/stdc++.h>
7 using namespace std;
8 int main(){
9     int n;
10    cin >> n;
11    int a[n], b[n];
12    for(int i=0; i<n; i++) cin >> a[i];
13    b[0] = a[0];
14    for(int i=1; i<n; i++) b[i] = b[i-1] + a[i];
15    for(int i=0; i<n; i++) cout<<b[i]<<' ';
16    cout<<'\\n';
17    int l, r;
18    cin >> l >> r;
19    cout << b[r] - b[l-1] ; //區間和
20 }

```

### 7.4 差分

```

1 // 差分
2 用途：在區間 [l, r] 加上一個數字v。
3 b[l] += v; (b[0~l] 加上v)
4 b[r+1] -= v; (b[r+1~n] 減去v (b[r] 仍保留v))
5 給的 a[] 是前綴和數列，建構 b[]，
6 因為 a[i] = b[0] + b[1] + b[2] + ... + b[i]，
7 所以 b[i] = a[i] - a[i-1]。
8 在 b[l] 加上 v，b[r+1] 減去 v，

```



```

9 最後再從 0 跑到 n 使 b[i] += b[i-1]。
10 這樣一來，b[] 是一個在某區間加上v的前綴和。
11
12 #include <bits/stdc++.h>
13 using namespace std;
14 int a[1000], b[1000];
15 // a: 前綴和數列, b: 差分數列
16 int main(){
17     int n, l, r, v;
18     cin >> n;
19     for(int i=1; i<=n; i++){
20         cin >> a[i];
21         b[i] = a[i] - a[i-1]; //建構差分數列
22     }
23     cin >> l >> r >> v;
24     b[l] += v;
25     b[r+1] -= v;
26
27     for(int i=1; i<=n; i++){
28         b[i] += b[i-1];
29         cout << b[i] << ' ';
30     }
31 }

```

## 7.5 greedy

```

1 //貪心
2 貪心演算法的核心為，
3 採取在目前狀態下最好或最佳（即最有利）的選擇。
4 貪心演算法雖然能獲得當前最佳解，
5 但不保證能獲得最後（全域）最佳解，
6 提出想法後可以先試圖尋找有沒有能推翻原本的想法的反例，
7 確認無誤再實作。

```

Scarecrow

//problem

有一個  $N \times 1$  的稻田，有些稻田現在有種植作物，  
為了避免被動物破壞，需要放置稻草人，  
稻草人可以保護該塊稻田和左右兩塊稻田，  
請問最少需要多少稻草人才能保護所有稻田？

//solution

從左到右掃描稻田，如果第  $i$  塊稻田有作物，  
就把稻草人放到第  $i+1$  塊稻田，  
這樣能保護第  $i, i+1, i+2$  塊稻田，  
接著從第  $i+3$  塊稻田繼續掃描。

//code

```

23 #include <bits/stdc++.h>
24 using namespace std;
25 int main(){
26     string s;
27     int i, n, t, tc = 1;
28     cin >> t;
29     while (t--){
30         cin >> n >> s;
31         int nc = 0;
32         for (i = 0; i < n; i++){
33             if (s[i] == '.') i += 2, nc++;
34             cout << "Case " << tc++ << ": " << nc << endl;
35         }
36     }
37 }

```

霍夫曼樹的變形題

//problem

給定  $N$  個數，每次將兩個數  $a, b$  合併成  $a+b$ ，  
只到最後只剩一個數，合併成本為兩數和，  
問最小合併成本為多少。

//solution

每次將最小的兩數合併起來。

//code

```

48 #include <bits/stdc++.h>
49 using namespace std;
50 int main()
51 {
52     int n, x;
53     while (cin >> n, n){
54         priority_queue<int, vector<int>, greater<int>>
55             q;
56         while (n--){
57             cin >> x;
58             q.push(x);
59         }
60         long long ans = 0;
61         while (q.size() > 1){
62             x = q.top();
63             q.pop();
64             x += q.top();
65             q.pop();
66             q.push(x);
67             ans += x;
68         }
69         cout << ans << endl;
70     }
71 }

```

Commando War

//problem

有  $n$  個部下，每個部下要花  $B_i$  分鐘交待任務，  
再花  $J_i$  分鐘執行任務，一次只能對一位部下交代任務，  
但可以多人同時執行任務，問最少要花多少時間完成任務。

//solution

執行時間長的人先交代任務

//code

```

82 #include <bits/stdc++.h>
83 using namespace std;
84 struct Data{
85     int b, j;
86     bool operator<(const Data &rhs) const {
87         return j > rhs.j;
88     }
89 };
90
91 int main(){
92     int n, ti = 0;
93     Data a[1005];
94     while (cin >> n, n){
95         for (int i = 0; i < n; ++i)
96             cin >> a[i].b >> a[i].j;
97         sort(a, a + n);
98         int ans = 0, sum = 0;
99         for (int i = 0; i < n; ++i){
100             sum += a[i].b;
101             ans = max(ans, sum + a[i].j);
102         }
103         cout << "Case " << ++ti << ": " << ans << '\n';
104     }
105 }

```

刪數字問題

//problem

給定一個數字  $N (\leq 10^{100})$ ，需要刪除  $K$  個數字，  
請問刪除  $K$  個數字後最小的數字為何？

//solution

刪除滿足第  $i$  位數大於第  $i+1$  位數的最左邊第  $i$  位數，  
扣除高位數的影響較扣除低位數的大。

//code

```

117 int main()
118 {
119     string s;
120     int k;
121     cin >> s >> k;
122     for (int i = 0; i < k; ++i){

```



```

123     if ((int)s.size() == 0) break;
124     int pos = (int)s.size() - 1;
125     for (int j = 0; j < (int)s.size() - 1; ++j){
126         if (s[j] > s[j + 1]){
127             pos = j;
128             break;
129         }
130     }
131     s.erase(pos, 1);
132 }
133 while ((int)s.size() > 0 && s[0] == '0')
134     s.erase(0, 1);
135 if ((int)s.size()) cout << s << '\n';
136 else cout << 0 << '\n';
137 }

```

區間覆蓋長度

//problem

給定  $n$  條線段區間為  $[Li, Ri]$ ，

請問這些線段的覆蓋所覆蓋的長度？

//solution

先將所有區間依照左界由小到大排序，

左界相同依照右界由小到大排序，

用一個變數  $R$  紀錄目前最大可以覆蓋到的右界。

如果目前區間左界  $\leq R$ ，代表該區間可以和前面的線段合併。

//code

```

152 struct Line
153 {
154     int L, R;
155     bool operator<(const Line &rhs) const
156     {
157         if (L != rhs.L) return L < rhs.L;
158         return R < rhs.R;
159     }
160 };
161
162 int main(){
163     int n;
164     Line a[10005];
165     while (cin >> n){
166         for (int i = 0; i < n; i++)
167             cin >> a[i].L >> a[i].R;
168         sort(a, a + n);
169         int ans = 0, L = a[0].L, R = a[0].R;
170         for (int i = 1; i < n; i++){
171             if (a[i].L < R) R = max(R, a[i].R);
172             else{
173                 ans += R - L;
174                 L = a[i].L;
175                 R = a[i].R;
176             }
177         }
178         cout << ans + (R - L) << '\n';
179     }
180 }

```

最小區間覆蓋長度

//problem

給定  $n$  條線段區間為  $[Li, Ri]$ ，

請問最少要選幾個區間才能完全覆蓋  $[0, S]$ ？

//solution

先將所有區間依照左界由小到大排序，

對於當前區間  $[Li, Ri]$ ，要從左界  $> Ri$  的所有區間中，

找到有著最大的右界的區間，連接當前區間。

//problem

長度  $n$  的直線中有數個加熱器，

在  $x$  的加熱器可以讓  $[x-r, x+r]$  內的物品加熱，

問最少要幾個加熱器可以把  $[0, n]$  的範圍加熱。

//solution

對於最左邊沒加熱的點  $a$ ，選擇最遠可以加熱  $a$  的加熱器，更新已加熱範圍，重複上述動作繼續尋找加熱器。

//code

```

203 int main(){
204     int n, r;
205     int a[1005];
206     cin >> n >> r;
207     for (int i=1; i<=n; ++i) cin>>a[i];
208     int i = 1, ans = 0;
209     while (i <= n){
210         int R=min(i+r-1, n), L=max(i-r+1, 0)
211         int nextR=-1;
212         for (int j = R; j >= L; --j){
213             if (a[j]){
214                 nextR = j;
215                 break;
216             }
217         }
218         if (nextR == -1){
219             ans = -1;
220             break;
221         }
222         ++ans;
223         i = nextR + r;
224     }
225     cout << ans << '\n';
226 }

```

最多不重疊區間

//problem

給你  $n$  條線段區間為  $[Li, Ri]$ ，

請問最多可以選擇幾條不重疊的線段(頭尾可相連)？

//solution

依照右界由小到大排序，

每次取到一個不重疊的線段，答案  $+1$ 。

//code

```

239 struct Line
240 {
241     int L, R;
242     bool operator<(const Line &rhs) const {
243         return R < rhs.R;
244     }
245 };
246
247 int main(){
248     int t;
249     cin >> t;
250     Line a[30];
251     while (t--){
252         int n = 0;
253         while (cin>>a[n].L>>a[n].R, a[n].L||a[n].R)
254             ++n;
255         sort(a, a + n);
256         int ans = 1, R = a[0].R;
257         for (int i = 1; i < n; i++){
258             if (a[i].L >= R){
259                 ++ans;
260                 R = a[i].R;
261             }
262         }
263         cout << ans << '\n';
264     }
265 }

```

區間選點問題

//problem

給你  $n$  條線段區間為  $[Li, Ri]$ ，

請問至少要取幾個點才能讓每個區間至少包含一個點？

//solution

將區間依照右界由小到大排序， $R$  = 第一個區間的右界，

```

275 遍歷所有區段，如果當前區間左界>R，
276 代表必須多選一個點 (ans+=1)，並將 R=當前區間右界。
277
278 //problem
279 給定 N 個座標，要在 x 軸找到最小的點，
280 讓每個座標至少和一個點距離 ≤ D。
281
282 //solution
283 以每個點 (xi,yi) 為圓心半徑為 D 的圓 c，
284 求出 C 和 x 軸的交點 Li,Ri，題目轉變成區間選點問題。
285
286 //code
287 struct Line
288 {
289     int L, R;
290     bool operator<(const Line &rhs) const {
291         return R < rhs.R;
292     }
293 };
294
295 int main(){
296     int t;
297     cin >> t;
298     Line a[30];
299     while (t--){
300         int n = 0;
301         while (cin>>a[n].L>>a[n].R, a[n].L||a[n].R)
302             ++n;
303         sort(a, a + n);
304         int ans = 1, R = a[0].R;
305         for (int i = 1; i < n; i++){
306             if (a[i].L >= R){
307                 ++ans;
308                 R = a[i].R;
309             }
310         }
311         cout << ans << '\n';
312     }
313 }
314
315 最小化最大延遲問題
316 //problem
317 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為 Ti，
318 期限是 Di，第 i 項工作延遲的時間為 Li=max(0,Fi-Di)，
319 原本Fi 為第 i 項工作的完成時間，
320 求一種工作排序使 maxLi 最小。
321
322 //solution
323 按照到期時間從早到晚處理。
324
325 //code
326 struct Work
327 {
328     int t, d;
329     bool operator<(const Work &rhs) const {
330         return d < rhs.d;
331     }
332 };
333 };
334
335 int main(){
336     int n;
337     Work a[10000];
338     cin >> n;
339     for (int i = 0; i < n; ++i)
340         cin >> a[i].t >> a[i].d;
341     sort(a, a + n);
342     int maxL = 0, sumT = 0;
343     for (int i = 0; i < n; ++i){
344         sumT += a[i].t;
345         maxL = max(maxL, sumT - a[i].d);
346     }
347     cout << maxL << '\n';
348 }
349
350

```

```

351 最少延遲數量問題
352 //problem
353 給定 N 個工作，每個工作的需要處理時長為 Ti，
354 期限是 Di，求一種工作排序使得逾期工作數量最小。
355
356 //solution
357 期限越早到期的工作越先做。將工作依照到期時間從早到晚排序，
358 依序放入工作列表中，如果發現有工作預期，
359 就從目前選擇的工作中，移除耗時最長的工作。
360
361 上述方法為 Moore-Hodgson s Algorithm。
362
363 //problem
364 給定烏龜的重量和可承受重量，問最多可以疊幾隻烏龜？
365
366 和最少延遲數量問題是相同的問題，只要將題敘做轉換。
367
368 工作處理時長 → 烏龜重量
369 工作期限 → 烏龜可承受重量
370 多少工作不延期 → 可以疊幾隻烏龜
371
372 //code
373 struct Work{
374     int t, d;
375     bool operator<(const Work &rhs) const {
376         return d < rhs.d;
377     }
378 };
379
380 int main(){
381     int n = 0;
382     Work a[10000];
383     priority_queue<int> pq;
384     while (cin >> a[n].t >> a[n].d)
385         ++n;
386     sort(a, a + n);
387     int sumT = 0, ans = n;
388     for (int i = 0; i < n; ++i){
389         pq.push(a[i].t);
390         sumT += a[i].t;
391         if (a[i].d < sumT){
392             int x = pq.top();
393             pq.pop();
394             sumT -= x;
395             --ans;
396         }
397     }
398     cout << ans << '\n';
399 }
400
401 任務調度問題
402 //problem
403 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為 Ti，
404 期限是 Di，如果第 i 項工作延遲需要受到 pi 單位懲罰，
405 請問最少會受到多少單位懲罰。
406
407 //solution
408 依照懲罰由大到小排序，
409 每項工作依序嘗試可不可以放在 Di-Ti+1, Di-Ti, ..., 1, 0，
410 如果有空閒就放進去，否則延後執行。
411
412 //problem
413 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為 Ti，
414 期限是 Di，如果第 i 項工作在期限內完成會獲得 ai
    單位獎勵，
415 請問最多會獲得多少單位獎勵。
416
417 //solution
418 和上題相似，這題變成依照獎勵由大到小排序。
419
420 //code
421 struct Work
422 {
423     int d, p;
424     bool operator<(const Work &rhs) const {

```

```

425     return p > rhs.p;
426 }
427 };
428
429 int main(){
430     int n;
431     Work a[100005];
432     bitset<100005> ok;
433     while (cin >> n){
434         ok.reset();
435         for (int i = 0; i < n; ++i)
436             cin >> a[i].d >> a[i].p;
437         sort(a, a + n);
438         int ans = 0;
439         for (int i = 0; i < n; ++i){
440             int j = a[i].d;
441             while (j--){
442                 if (!ok[j]){
443                     ans += a[i].p;
444                     ok[j] = true;
445                     break;
446                 }
447             }
448             cout << ans << '\n';
449         }
450     }
451 }

```

多機調度問題

*//problem*

給定  $N$  項工作，每項工作的需要處理時長為  $T_i$ ，  
有  $M$  台機器可執行多項工作，但不能將工作拆分，  
最快可以在什麼時候完成所有工作？

*//solution*

將工作由大到小排序，每項工作交給最快空閒的機器。

*//code*

```

462 int main(){
463     int n, m;
464     int a[10000];
465     cin >> n >> m;
466     for (int i = 0; i < n; ++i)
467         cin >> a[i];
468     sort(a, a + n, greater<int>());
469     int ans = 0;
470     priority_queue<int, vector<int>, greater<int>> pq;
471     for (int i = 0; i < m && i < n; ++i){
472         ans = max(ans, a[i]);
473         pq.push(a[i]);
474     }
475     for (int i = m; i < n; ++i){
476         int x = pq.top();
477         pq.pop();
478         x += a[i];
479         ans = max(ans, x);
480         pq.push(x);
481     }
482     cout << ans << '\n';
483 }

```

## 8 動態規劃

### 8.1 LCS 和 LIS

```

1 //最長共同子序列(LCS)
2 給定兩序列 A,B，求最長的序列 C，
3 C 同時為 A,B 的子序列。
4
5 //最長遞增子序列 (LIS)
6 給你一個序列 A，求最長的序列 B，
7 B 是一個（非）嚴格遞增序列，且為 A 的子序列。
8
9 //LCS 和 LIS 題目轉換

```

```

10 LIS 轉成 LCS
11 1. A 為原序列， B=sort(A)
12 2. 對 A,B 做 LCS
13 LCS 轉成 LIS
14 1. A, B 為原本的兩序列
15 2. 最 A 序列作編號轉換，將轉換規則套用在 B
16 3. 對 B 做 LIS
17 4. 重複的數字在編號轉換時後要變成不同的數字，
18 越早出現的數字要越小
19 5. 如果有數字在 B 裡面而不在 A 裡面，
20 直接忽略這個數字不做轉換即可

```

## 9 graph

### 9.1 graph

```

1 #include<bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 class Node {
5 public:
6     int val;
7     vector<Node*> children;
8
9     Node() {}
10
11     Node(int _val) {
12         val = _val;
13     }
14
15     Node(int _val, vector<Node*> _children) {
16         val = _val;
17         children = _children;
18     }
19 };
20
21 struct ListNode {
22     int val;
23     ListNode *next;
24     ListNode() : val(0), next(nullptr) {}
25     ListNode(int x) : val(x), next(nullptr) {}
26     ListNode(int x, ListNode *next) : val(x),
27         next(next) {}
28 };
29
30 struct TreeNode {
31     int val;
32     TreeNode *left;
33     TreeNode *right;
34     TreeNode() : val(0), left(nullptr),
35         right(nullptr) {}
36     TreeNode(int x) : val(x), left(nullptr),
37         right(nullptr) {}
38     TreeNode(int x, TreeNode *left, TreeNode *right)
39         : val(x), left(left), right(right) {}
40 };
41
42 class ListProblem {
43     vector<int> nums={};
44 public:
45     void solve() {
46         return;
47     }
48
49     ListNode* buildList(int idx) {
50         if(idx == nums.size()) return NULL;
51         ListNode *current=new
52             ListNode(nums[idx++],current->next);
53         return current;
54     }
55
56     void deleteList(ListNode* root) {
57         if(root == NULL) return;
58     }
59 }

```

```

53     deleteList(root->next);
54     delete root;
55     return;
56 }
57 };
58
59 class TreeProblem {
60     int null = INT_MIN;
61     vector<int> nums = {}, result;
62 public:
63     void solve() {
64
65         return;
66     }
67
68     TreeNode* buildBinaryTreeUsingDFS(int left, int
        right) {
69         if((left > right) || (nums[(left+right)/2] ==
            null)) return NULL;
70         int mid = (left+right)/2;
71         TreeNode* current = new TreeNode(
            nums[mid],
72             buildBinaryTreeUsingDFS(left,mid-1),
73             buildBinaryTreeUsingDFS(mid+1,right));
74         return current;
75     }
76 }
77
78     TreeNode* buildBinaryTreeUsingBFS() {
79         int idx = 0;
80         TreeNode* root = new TreeNode(nums[idx++]);
81         queue<TreeNode*> q;
82         q.push(root);
83         while(idx < nums.size()) {
84             if(nums[idx] != null) {
85                 TreeNode* left = new
                    TreeNode(nums[idx]);
86                 q.front()->left = left;
87                 q.push(left);
88             }
89             idx++;
90             if((idx < nums.size()) && (nums[idx] !=
                null)) {
91                 TreeNode* right = new
                    TreeNode(nums[idx]);
92                 q.front()->right = right;
93                 q.push(right);
94             }
95             idx++;
96             q.pop();
97         }
98         return root;
99     }
100
101     Node* buildNaryTree() {
102         int idx = 2;
103         Node *root = new Node(nums.front());
104         queue<Node*> q;
105         q.push(root);
106         while(idx < nums.size()) {
107             while((idx < nums.size()) && (nums[idx]
                != null)) {
108                 Node *current = new Node(nums[idx++]);
109                 q.front()->children.push_back(current);
110                 q.push(current);
111             }
112             idx++;
113             q.pop();
114         }
115         return root;
116     }
117
118     void deleteBinaryTree(TreeNode* root) {
119         if(root->left != NULL)
            deleteBinaryTree(root->left);
120         if(root->right != NULL)
            deleteBinaryTree(root->right);
121         delete root;

```

```

122         return;
123     }
124
125     void deleteNaryTree(Node* root) {
126         if(root == NULL) return;
127         for(int i=0; i<root->children.size(); i++) {
128             deleteNaryTree(root->children[i]);
129             delete root->children[i];
130         }
131         delete root;
132         return;
133     }
134
135     void inorderTraversal(TreeNode* root) {
136         if(root == NULL) return;
137         inorderTraversal(root->left);
138         cout<<root->val<< ' ';
139         inorderTraversal(root->right);
140         return;
141     }
142 };
143
144 int main() {
145
146     return 0;
147 }

```

## 10 Section2

### 10.1 thm

• 中文測試

$$\cdot \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

## 11 space

### 11.1 s

```

1 /*
2 1
3 2
4 3
5 4
6 5
7 6
8 7
9 8
10 9
11 10
12 11
13 12
14 13
15 14
16 15
17 16
18 17
19 18
20 19
21 20
22 21
23 22
24 23
25 24
26 25
27 26
28 27
29 28
30 29
31 30
32 31
33 */

```

## 12 reference

### 12.1 assert.cpp

```

1
2 template <typename T>
3 bool AssertVectorIsSorted(vector<T>& vec){
4     for(int i=0;i<(int)vec.size()-1;++i)
5         if(vec[i]>vec[i+1]) return false;
6     return true;
7 }

```

### 12.2 print.cpp

```

1 template <typename T>
2 void printvector(vector<T>& vec){
3     for(T &x:vec) cout<<x<<" ";
4     cout<<"\n";
5     return;
6 }

```

### 12.3 randomvec.cpp

```

1 template <typename T = int>
2 vector<T> randomvec(int n){
3     vector<T> vec(n);
4     unsigned seed=chrono::system_clock::now()
5         .time_since_epoch().count();
6     default_random_engine generator(seed);
7     uniform_real_distribution<double>
8         distribution(0.0,200.0);
9     for(T &num:vec) num=distribution(generator);
10    return vec;

```

### 12.4 find.cpp

```

1 #include<bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 int arr[10000];
5
6 int main(){
7     string s,a,b;
8     int cnt=0;
9     while(getline(cin,s)){
10         if(cnt++) cout<<endl;
11         cin>>a>>ws>>b;
12         int pos=0,i=0,r=0;
13         memset(arr,0,sizeof(arr));
14         while(1){
15             pos=s.find(a,pos);
16             if(pos==-1) break;
17             arr[i++]=pos-r;
18             r+=b.size()-a.size();
19             s.replace(pos,a.length(),b);
20             pos+=b.length();
21         }
22         if(i)
23             for(int j=0;j<i;j++){
24                 if(j) cout<<" ";
25                 cout<<arr[j];
26             }
27         else cout<<-1;
28         cout<<endl<<s<<endl;
29         cin>>ws;
30     }
31     return 0;
32 }

```

### 12.5 sort.cpp

```

1 #include<iostream>
2 #include<vector>
3 using namespace std;
4
5 template<typename T>
6 int partition(vector<T>& arr,int low,int high) {
7     T pivot=arr[high];
8     int i=low-1;
9     for(int j=low;j<high;j++) {
10         if(arr[j]<pivot){
11             i++;
12             swap(arr[i],arr[j]);
13         }
14     }
15     swap(arr[i+1],arr[high]);
16     return i+1;
17 }
18
19 template<typename T>
20 void quickSort(vector<T>& arr,int low,int high) {
21     if(low<high){
22         int pivotIndex=partition(arr,low,high);
23         quickSort(arr,low,pivotIndex-1);
24         quickSort(arr,pivotIndex+1,high);
25     }
26 }
27
28 template<typename T>
29 void customSort(vector<T>& arr) {
30     int n=arr.size();
31     quickSort(arr,0,n-1);
32 }
33
34 int main(){
35     vector<int> numbers={5, 2, 8, 1, 3};
36     cout<<"Before sorting: ";
37     for(const auto& num:numbers)
38         cout<<num<<" ";
39     customSort(numbers);
40     cout<<"\nAfter sorting: ";
41     for(const auto& num : numbers)
42         cout<<num<<" ";
43     return 0;
44 }

```

### 12.6 minmax.cpp

```

1 #include <iostream>
2 #include <vector>
3 #include <algorithm>
4 using namespace std;
5 int main() {
6     vector<int> num
7         = {4, 2, 8, 5, 1, 9, 6, 3, 7};
8     sort(num.begin(), num.end());
9     int target = 5;
10    vector<int>::iterator it=
11        lower_bound(num.begin(),num.end(),target);
12    if(it!=num.end()&&*it==target) {
13        int index=distance(num.begin(), it);
14        cout<<target<<" 在 " <<index<<endl;
15    }
16    else cout<<target<<" 未找到！" <<endl;
17    pair<vector<int>::iterator, vector<int>::iterator>
18        minmaxElement = minmax_element(num.begin(),
19        num.end());
19    cout<<"最小元素: " <<*(minmaxElement.first)<<endl;
20    cout<<"最大元素: " <<*(minmaxElement.second)<<endl;
21    return 0;
22 }

```

### 12.7 hw6.cpp

```

1 #include<iostream>
2 #include<string>
3 #include<cstring>
4 #include<algorithm>
5 using namespace std;
6
7 class HugeInt{
8 private:
9     short integer[40];
10
11 public:
12     HugeInt(const string& s){
13         memset(integer,0,sizeof(integer));
14         for(int i=0;i<s.length();i++){
15             integer[i]=s[s.length()-1-i]-'0';
16         }
17
18     HugeInt operator+(const HugeInt& other)const{
19         HugeInt result("");
20         for(int i=0;i<40;i++){
21             result.integer[i]+=
22                 integer[i]+other.integer[i];
23             if(result.integer[i]>=10){
24                 result.integer[i]-=10;
25                 result.integer[i+1]++;
26             }
27         }
28         return result;
29     }
30
31     HugeInt operator-(const HugeInt& other)const{
32         HugeInt result("");
33         for(int i=0;i<40;i++){
34             result.integer[i]+=
35                 integer[i]-other.integer[i];
36             if(result.integer[i]<0){
37                 result.integer[i]+=10;
38                 result.integer[i+1]--;
39             }
40         }
41         return result;
42     }
43
44     HugeInt operator*(const HugeInt& other)const{
45         HugeInt result("");
46         for(int i=0;i<40;i++){
47             for(int j=0;j<40;j++){
48                 result.integer[i+j]+=
49                     integer[i]*other.integer[j];
50             }
51             for(int i=0;i<40;i++){
52                 result.integer[i+1]+=result.integer[i]/10;
53                 result.integer[i]%=10;
54             }
55             return result;
56         }
57
58     HugeInt operator/(const HugeInt& other)const{
59         HugeInt result("");
60         HugeInt remainder("0");
61         HugeInt num("10");
62         for(int i=39;i>=0;i--){
63             if(i==39) remainder.integer[0]=integer[i];
64             else{
65                 remainder=remainder*num;
66                 remainder.integer[0]=integer[i];
67             }
68             int quotient=0;
69             while(remainder>other){
70                 remainder=remainder-other;
71                 quotient++;
72             }
73             if(remainder==other){
74                 remainder=remainder-other;
75                 quotient++;
76             }
77             result.integer[i]=quotient;
78
79         }
80
81     HugeInt operator%(const HugeInt& other)const{
82         HugeInt remainder("0");
83         HugeInt value("0");
84         HugeInt num("10");
85         for(int i=39;i>=0;i--){
86             remainder=remainder*num;
87             remainder.integer[0]=integer[i];
88             while(remainder>other)
89                 remainder=remainder-other;
90             if(remainder==other) remainder=value;
91         }
92         return remainder;
93     }
94
95     bool operator>(const HugeInt& other)const{
96         for(int i=39;i>=0;i--){
97             if(integer[i]>other.integer[i])
98                 return true;
99             else if(integer[i]<other.integer[i])
100                 return false;
101         }
102         return false;
103     }
104
105     bool operator<(const HugeInt& other)const{
106         for(int i=39;i>=0;i--){
107             if(integer[i]<other.integer[i])
108                 return true;
109             else if(integer[i]>other.integer[i])
110                 return false;
111         }
112         return false;
113     }
114
115     bool operator==(const HugeInt& other)const{
116         for(int i=39;i>=0;i--){
117             if(integer[i]!=other.integer[i])
118                 return false;
119             return true;
120         }
121
122     bool operator>=(const HugeInt& other)const{
123         for(int i=39;i>=0;i--){
124             if(integer[i]<other.integer[i])
125                 return false;
126             return true;
127         }
128
129     bool operator<=(const HugeInt& other)const{
130         for(int i=39;i>=0;i--){
131             if(integer[i]>other.integer[i])
132                 return false;
133             return true;
134         }
135
136     bool operator!=(const HugeInt& other)const{
137         return !(*this==other);
138     }
139
140     friend istream& operator>>
141         (istream& in,HugeInt& hugeInt){
142         string s;
143         in>>s;
144         hugeInt=HugeInt(s);
145         return in;
146     }
147
148     friend ostream& operator<<
149         (ostream& out,const HugeInt& hugeInt){
150         bool isLeadingZero=true;
151         for(int i=39;i>=0;i--){
152             if(hugeInt.integer[i])
153                 isLeadingZero=false;
154             if(!isLeadingZero)
155                 out<<hugeInt.integer[i];
156         }
157         if(isLeadingZero) out<<0;
158         return out;
159     }
160
161     void print(HugeInt a,HugeInt b){
162         if(a>b) cout<<a<<" "<<b<<endl;
163     }
164 }

```

```

155     else if(a<b) cout<<a<<" <"<<b<<endl;
156     else cout<<a<<" ="<<b<<endl;
157     cout<<a<<" + "<<b<<" ="<<a+b<<endl;
158     if(a>b) cout<<a<<" - "<<b<<" ="<<a-b<<endl;
159     else if(a<b)
160         cout<<a<<" - "<<b<<" ="<<b-a<<endl;
161     else cout<<a<<" - "<<b<<" ="<<a-b<<endl;
162     cout<<a<<" * "<<b<<" ="<<a*b<<endl;
163     cout<<a<<" / "<<b<<" ="<<a/b<<endl;
164     cout<<a<<" % "<<b<<" ="<<a%b<<endl;
165 }
166 };
167
168 int main(){
169     string x,y;
170     int cnt=0;
171     while(cin>>x>>y){
172         HugeInt x1(x);
173         if(cnt++) cout<<endl;
174         x1.print(x,y);
175     }
176 }

```

## 12.8 rectangle.cpp

```

1 #include<iostream>
2 #include<iomanip>
3 #include<algorithm>
4 #include<math.h>
5 using namespace std;
6 class R {
7     private:
8         double area,diagonal;
9     public:
10         R(){};
11         int length,width;
12         R(double l,double w) {
13             length=l;
14             width=w;
15         }
16         int getA(){
17             area=length*width;
18             return area;
19         }
20         double getD(){
21             diagonal=sqrt(length*length+width*width);
22             return diagonal;
23         }
24 };
25 bool cmp(R r1, R r2) {
26     if(r1.getA() == r2.getA())
27         return r1.getD()>r2.getD();
28     return r1.getA()<r2.getA();
29 }
30 int main() {
31     int n;
32     cin>>n;
33     R* r=new R[n];
34     for(int i=0;i<n;i++) {
35         int l,w;
36         cin>>l>>w;
37         r[i]=R(l,w);
38     }
39     sort(r,r+n,cmp);
40     for(int i=0;i<n;i++){
41         cout<<i+1<<" :("<<r[i].length<<" "<<r[i].width;
42         cout<<" ) area= "<<r[i].getA();
43         cout<<fixed<<setprecision(3)
44             <<" diagonal= "<<r[i].getD()<<endl;
45     }
46     delete[] r;
47     return 0;
48 }

```

## 12.9 SortFunctionTemplate.cpp

```

1 #include<iostream>
2 #include<vector>
3 using namespace std;
4 template<typename T>
5 int p(vector<T>& arr,int low,int high){
6     T pivot=arr[high];
7     int i=low-1;
8     for(int j=low;j<high;j++){
9         if(arr[j]<pivot){
10             i++;
11             swap(arr[i],arr[j]);
12         }
13     }
14     swap(arr[i+1],arr[high]);
15     return i+1;
16 }
17 template<typename T>
18 void qsort(vector<T>& arr, int low,int high){
19     if(low<high){
20         int pindex=p(arr,low,high);
21         qsort(arr,low,pindex-1);
22         qsort(arr,pindex+1,high);
23     }
24 }
25 template<typename T>
26 void mysort(vector<T>& arr){
27     int n=arr.size();
28     qsort(arr,0,n-1);
29 }
30 template<typename T>
31 void solve(vector<T>& arr){
32     mysort(arr);
33     int cnt=0;
34     for(auto a:arr){
35         if(cnt++) cout<<" ";
36         cout<<a;
37     }
38     cout<<endl;
39     arr.clear();
40 }
41 int main(){
42     int n,x;
43     double d;
44     char c;
45     string s;
46     while(cin>>n){
47         vector<int> v;
48         for(int i=0;i<n;i++){
49             cin>>x;
50             v.push_back(x);
51         }
52         solve(v);
53         cin>>n;
54         vector<double> vd;
55         for(int i=0;i<n;i++){
56             cin>>d;
57             vd.push_back(d);
58         }
59         solve(vd);
60         cin>>n;
61         vector<char> vc;
62         for(int i=0;i<n;i++){
63             cin>>c,vc.push_back(c);
64         }
65         solve(vc);
66         cin>>n>>ws;
67         vector<string> vs;
68         for(int i=0;i<n;i++){
69             getline(cin,s),vs.push_back(s);
70             mysort(vs);
71             for(auto a:vs) cout<<a<<endl;
72             vs.clear();
73         }
74     }
75     return 0;
76 }

```



## 12.10 exception.cpp

```

1 //分母為0
2 #include <iostream>
3 #include <exception>
4 using namespace std;
5 double divide(int numerator, int denominator) {
6     if (denominator == 0) {
7         throw runtime_error("Division by zero!");
8     }
9     return static_cast<double>
10         (numerator)/denominator;
11 }
12 int main() {
13     int a, b;
14     cout << "Enter two numbers: ";
15     cin >> a >> b;
16     try {
17         double result = divide(a, b);
18         cout << "Result: " << result << endl;
19     }
20     catch (const exception& ex) {
21         cout<<"Exception: "<<ex.what()<<endl;
22     }
23     return 0;
24 }
25 //自訂狀況類別以文字描述錯誤訊息
26 #include <iostream>
27 #include <exception>
28 using namespace std;
29 class MyException : public exception{
30 private:
31     string errorMessage;
32 public:
33     MyException(const string& message):
34         errorMessage(message) {}
35     const char* what() const throw(){
36         return errorMessage.c_str();
37     }
38 };
39 int main(){
40     try{
41         throw MyException("Custom exception
42             occurred!");
43     }
44     catch (const MyException& ex){
45         cout << "Exception: " << ex.what() << endl;
46     }
47     return 0;
48 }
49 //自訂狀況類別以代碼和文字描述錯誤訊息
50 #include <iostream>
51 #include <exception>
52 using namespace std;
53 class MyException : public exception{
54 private:
55     int errorCode;
56     string errorMessage;
57 public:
58     MyException(int code, const string& message)
59         : errorCode(code), errorMessage(message) {}
60     int getCode() const{
61         return errorCode;
62     }
63     const char* what() const throw(){
64         return errorMessage.c_str();
65     }
66 };
67 int main(){
68     try{
69         throw MyException(404, "Page not found!");
70     }
71     catch (const MyException& ex){
72         cout << "Exception: Error Code "
73             <<ex.getCode()<<" - "<<ex.what()<<endl;

```

```

74     }
75     return 0;
76 }
77 //自訂狀況類別使用更詳細的錯誤資訊
78 #include <iostream>
79 #include <exception>
80 using namespace std;
81 class MyException : public exception{
82 private:
83     string fileName;
84     int lineNumber;
85     string errorMessage;
86 public:
87     MyException(const string& file,
88         int line, const string& message)
89         : fileName(file), lineNumber(line),
90             errorMessage(message) {}
91     const string& getFile() const{
92         return fileName;
93     }
94     int getLine() const{
95         return lineNumber;
96     }
97     const char* what() const throw(){
98         return errorMessage.c_str();
99     }
100 };
101 int main(){
102     try{
103         throw MyException(__FILE__, __LINE__,
104             "Custom exception occurred!");
105     }
106     catch (const MyException& ex){
107         cout << "Exception: " << ex.what() << endl;
108         cout << "File: " << ex.getFile() << endl;
109         cout << "Line: " << ex.getLine() << endl;
110     }
111     return 0;
112 }
113 }

```

## 12.11 purevirtual.cpp

```

1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3 class Shape{
4 public:
5     virtual double getArea() const=0;
6 };
7 class Circle:public Shape{
8 private:
9     double radius;
10 public:
11     Circle(double r):radius(r) {}
12     double getArea() const override {
13         return 3.14159*radius*radius;
14     }
15 };
16 class Rectangle:public Shape{
17 private:
18     double length;
19     double width;
20 public:
21     Rectangle(double l,double w):
22         length(l),width(w) {}
23     double getArea() const override{
24         return length * width;
25     }
26 };
27 int main() {
28     Circle circle(5.0);
29     Rectangle rectangle(4.0, 6.0);
30     cout<<circle.getArea()<<endl;
31     cout<<rectangle.getArea()<<endl;
32     return 0;
33 }

```

## 12.12 RationalNumber.cpp

```

1 #include<iostream>
2 #include<math.h>
3 #include<algorithm>
4 #include<vector>
5 #include<complex>
6 #include<iomanip>
7 using namespace std;
8
9 int gcd(int a,int b){
10     if(b==0) return a;
11     return gcd(b,a%b);
12 }
13
14 class Rational{
15
16 public:
17     int mol,den;
18     Rational(int m=1,int d=2){
19         mol=m;
20         den=d;
21     }
22
23     friend ostream& operator<<(ostream& os, const
24         Rational& r){
25         if(r.mol==0) os<<"0";
26         else if(r.mol==1&&r.den==1) os<<"1";
27         else os<<"("<<r.mol<<"/ " <<r.den<<")";
28         return os;
29     }
30
31     friend istream& operator>>(istream& is, Rational&
32         r){
33         char slash;
34         is>>r.mol>>slash>>r.den;
35         return is;
36     }
37
38     Rational operator+(const Rational& other){
39         Rational result;
40         result.mol=mol*other.den+other.mol*den;
41         result.den=den*other.den;
42         int com=gcd(result.mol,result.den);
43         result.mol/=com;
44         result.den/=com;
45         return result;
46     }
47
48     Rational operator-(const Rational& other) {
49         Rational result;
50         result.mol=mol*other.den-other.mol*den;
51         result.den=den*other.den;
52         int com=gcd(result.mol,result.den);
53         result.mol/=com;
54         result.den/=com;
55         return result;
56     }
57
58     Rational operator*(const Rational& other) {
59         Rational result;
60         result.mol=mol*other.mol;
61         result.den=den*other.den;
62         int com=gcd(result.mol,result.den);
63         result.mol/=com;
64         result.den/=com;
65         return result;
66     }
67
68     Rational operator/(const Rational& other) {
69         Rational result;
70         result.mol=mol*other.den;
71         result.den=den*other.mol;
72         int com=gcd(result.mol,result.den);
73         result.mol/=com;
74         result.den/=com;
75         return result;
76     }
77
78     }
79 };
80
81 int main(){
82     char op,g;
83     Rational r1,r2;
84     while(cin>>op){
85         cin>>g>>r1>>g>>g>>r2>>g;
86         if(r1.mol%r1.den) cout<<r1;
87         else cout<<r1.mol/r1.den;
88         cout<<" "<<op<<" ";
89         if(r2.mol%r2.den) cout<<r2;
90         else cout<<r2.mol/r2.den;
91         cout<<" = ";
92         switch(op){
93             case '+':
94                 cout<<r1+r2<<endl;
95                 break;
96             case '-':
97                 cout<<r1-r2<<endl;
98                 break;
99             case '*':
100                 cout<<r1*r2<<endl;
101                 break;
102             case '/':
103                 cout<<r1/r2<<endl;
104                 break;
105         }
106     }
107     return 0;
108 }

```