

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	1
3.1	最長迴文子字串	1
4	STL	2
4.1	priority_queue	2
4.2	queue	2
4.3	deque	2
4.4	map	2
4.5	unordered_map	3
4.6	set	3
4.7	multiset	3
4.8	unordered_set	3
4.9	單調隊列	4
5	sort	5
5.1	大數排序	5
5.2	bubble sort	5
6	math	5
6.1	質數與因數	5
6.2	prime factorization	6
6.3	快速冪	6
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	hw6	13
12.2	hw5	14
12.3	sort	14

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
1	32		64	@	96	`
2	33	!	65	A	97	a
3	34	"	66	B	98	b
4	35	#	67	C	99	c
5	36	\$	68	D	100	d
6	37	%	69	E	101	e
7	38	&	70	F	102	f
8	39	'	71	G	103	g
9	40	(	72	H	104	h
10	41	)	73	I	105	i
11	42	*	74	J	106	j
12	43	+	75	K	107	k
13	44	,	76	L	108	l
14	45	-	77	M	109	m
15	46	.	78	N	110	n
16	47	/	79	O	111	o
17	48	0	80	P	112	p
18	49	1	81	Q	113	q
19	50	2	82	R	114	r
20	51	3	83	S	115	s
21	52	4	84	T	116	t
22	53	5	85	U	117	u
23	54	6	86	V	118	v
24	55	7	87	W	119	w
25	56	8	88	X	120	x
26	57	9	89	Y	121	y
27	58	:	90	Z	122	z
28	59	;	91	[	123	{
29	60	<	92	\	124	|
30	61	=	93	]	125	}
31	62	>	94	^	126	~
32	63	?	95	-		

2.2 limits

	[Type]	[size]	[range]
1	char	1	127 to -128
2	signed char	1	127 to -128
3	unsigned char	1	0 to 255
4	short	2	32767 to -32768
5	int	4	2147483647 to -2147483648
6	unsigned int	4	0 to 4294967295
7	long	4	2147483647 to -2147483648
8	unsigned long	4	0 to 18446744073709551615
9	long long	8	
10		9223372036854775807 to -9223372036854775808	
11	double	8	1.79769e+308 to 2.22507e-308
12	long double	16	1.18973e+4932 to 3.3621e-4932
13	float	4	3.40282e+38 to 1.17549e-38
14	unsigned long long	8	0 to 18446744073709551615
15	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(1 - i >= 0 && r + i < n && T(1 - 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 }

```

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: " <<
            q.front() << endl;
37     }
38 }

```

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，
8 讓我們不必煩惱佇列長度的問題。
9 dq.push_back() //在 deque 的最尾端新增元素
10 dq.push_front() //在 deque 的開頭新增元素
11 dq.pop_back() //移除 deque 最尾端的元素
12 dq.pop_front() //移除 deque 最開頭的元素
13 dq.back() //取出 deque 最尾端的元素
14 dq.front() //回傳 deque 最開頭的元素
15 dq.insert()
16 dq.insert(position, n, val)
17     position: 插入元素的 index 值
18     n: 元素插入次數
19     val: 插入的元素值
20 dq.erase()
21 //刪除元素，需要使用迭代器指定刪除的元素或位置，
22 //同時也會返回指向刪除元素下一元素的迭代器。
23 dq.clear() //清空整個 deque 佇列。
24 dq.size() //檢查 deque 的尺寸
25 dq.empty() //如果 deque 佇列為空返回 1；
26 //若是存在任何元素，則返回 0
27 dq.begin() //返回一個指向 deque 開頭的迭代器
28 dq.end() //指向 deque 結尾，
29 //不是最後一個元素，
30 //而是最後一個元素的下一個位置

```

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
12 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
31 //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
57     //find and erase the element
58     iter = mp.find("r123");
59     mp.erase(iter);
60
61     iter = mp.find("r123");
62
63     if(iter != mp.end())
64         cout<<"Find, the value is
65         "<<iter->second<<endl;
66     else
67         cout<<"Do not Find"<<endl;
68
69     return 0;
70 }
71
72 //map統計數字
73 #include<bits/stdc++.h>
74 using namespace std;
75
76 int main(){
77     ios::sync_with_stdio(0),cin.tie(0);
78     long long n,x;
79     cin>>n;
80     map <int,int> mp;

```

```

77 while(n--){
78     cin>>x;
79     ++mp[x];
80 }
81 for(auto i:mp) cout<<i.first<<" "<<i.second<<endl;
82 }

```

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

```

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

```

4.8 unordered_set

```

1 unordered_set 的實作方式通常是用雜湊表(hash table)，
2 資料插入和查詢的時間複雜度很低，為常數級別O(1)，
3 相對的代價是消耗較多的記憶體，空間複雜度較高，

```

```

4 無自動排序功能。
5
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 " <<
            myunordered_set.size() << "\n";
88     }
89
90     return 0;
91 }

```

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 < k; 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 < k; i++) {
36         while (head <= tail && a[q[tail]] <= a[i]) tail--;
37         q[++tail] = i;
38     }
39     for (int i = k; i <= n; i++) {
40         while (head <= tail && a[q[tail]] <= a[i]) tail--;
41         q[++tail] = i;
42         while (q[head] <= i - k) head++;
43         cout << a[q[head]] << " ";
44     }
45 }
46
47 int main() {
48     cin >> n >> k; //每k個連續的數
49     for (int i = 1; i <= n; i++) cin >> a[i];
50     getmin();
51     getmax();
52     cout << '\n';
53     return 0;
54 }
55
56 //寫法2
57 #include <iostream>
58 #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 inline ll read() {
108     ll x=0,f=1;
109     char ch=getchar();
110     while(ch<'0' || ch>'9'){
111         if(ch=='-') f=-1;
112         ch=getchar();
113     }
114     while(ch>='0' && ch<='9'){
115         x=(x<<1)+(x<<3)+(ll)(ch-'0');
116         ch=getchar();
117     }
118     return x*f;
119 }
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;

```

```

131         while(i-q[head]+1>m&&head<=tail)//維護隊首
132             head++;
133         while(a[i]<a[q[tail]]&&head<=tail)//維護隊尾
134             tail--;
135         q[++tail]=i;
136     }
137     return 0;
138 }

```

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 一般篩法 O(NloglogN)
4 vector<int> p;
5 bitset<MAXN> is_notp;
6 void PrimeTable(int n)
7 {
8     is_notp.reset();
9     is_notp[0] = is_notp[1] = 1;
10    for (int i = 2; i <= n; i++)
11        {
12            if (is_notp[i])
13                continue;
14            p.push_back(i);
15            for (int j = i * i; j <= n; j += i)

```

```

16     {
17         is_notp[j] = 1;
18     }
19 }
20 }
21
22 線性篩法 O(N)
23 vector<int> p;
24 bitset<MAXN> is_notp;
25 void PrimeTable(int n)
26 {
27     is_notp.reset();
28     is_notp[0] = is_notp[1] = 1;
29     for (int i = 2; i <= n; ++i)
30     {
31         if (!is_notp[i])
32             p.push_back(i);
33         for (int j = 0; j < (int)p.size(); ++j)
34         {
35             if (i * p[j] > n)
36                 break;
37             is_notp[i * p[j]] = 1;
38             if (i % p[j] == 0)
39                 break;
40         }
41     }
42 }
43
44 因數
45
46 最大公因數 O(log(min(a,b)))
47 int GCD(int a, int b)
48 {
49     if (b == 0) return a;
50     return GCD(b, a % b);
51 }
52
53 質因數分解
54
55 void primeFactorization(int n)
56 {
57     for (int i = 0; i < (int)p.size(); ++i)
58     {
59         if (p[i] * p[i] > n)
60             break;
61         if (n % p[i])
62             continue;
63         cout << p[i] << ' ';
64         while (n % p[i] == 0)
65             n /= p[i];
66     }
67     if (n != 1)
68         cout << n << ' ';
69     cout << '\n';
70 }
71
72 歌德巴赫猜想
73 solution : 把偶數 N ( $6 \leq N \leq 10^6$ ) 寫成兩個質數的和。
74 #include <iostream>
75 #include <cstdio>
76 using namespace std;
77 #define N 2000000
78 int ox[N], p[N], pr;
79
80 void PrimeTable(){
81     ox[0] = ox[1] = 1;
82     pr = 0;
83     for (int i = 2; i < N; i++){
84         if (!ox[i]) p[pr++] = i;
85         for (int j = 0; i*p[j]<N&&j < pr; j++)
86             ox[i*p[j]] = 1;
87     }
88 }
89
90 int main(){
91     PrimeTable();
92     int n;

```

```

93     while (cin>>n,n){
94         int x;
95         for (x = 1;; x += 2)
96             if (!ox[x] && !ox[n - x])break;
97         printf("%d = %d + %d\n", n, x, n - x);
98     }
99 }
100 problem : 給定整數 N，求 N
101         最少可以拆成多少個質數的和。
102 如果 N 是質數，則答案為 1。
103 如果 N 是偶數(不包含2)，則答案為 2 (強歌德巴赫猜想)。
104 如果 N 是奇數且 N-2 是質數，則答案為 2 (2+質數)。
105 其他狀況答案為 3 (弱歌德巴赫猜想)。
106 #pragma GCC optimize("O2")
107 #include <bits/stdc++.h>
108 using namespace std;
109 #define FOR(i, L, R) for(int i=L;i<(int)R;++i)
110 #define FORD(i, L, R) for(int i=L;i>(int)R;--i)
111 #define IOS
112     cin.tie(nullptr);
113     cout.tie(nullptr);
114     ios_base::sync_with_stdio(false);
115
116 bool isPrime(int n){
117     FOR(i, 2, n){
118         if (i * i > n)
119             return true;
120         if (n % i == 0)
121             return false;
122     }
123     return true;
124 }
125
126 int main(){
127     IOS;
128     int n;
129     cin >> n;
130     if(isPrime(n)) cout << "1\n";
131     else if(n%2==0||isPrime(n-2)) cout<<"2\n";
132     else cout << "3\n";
133 }

```

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 }

```

7 algorithm

7.1 basic

```

1  min：取最小值。
2  min(a, b)
3  min(list)
4  max：取最大值。
5  max(a, b)
6  max(list)
7  min_element：找尋最小元素
8  min_element(first, last)
9  max_element：找尋最大元素
10 max_element(first, last)
11 sort：排序，預設由小排到大。
12 sort(first, last)
13 sort(first, last, comp)：可自行定義比較運算子 Comp。
14 find：尋找元素。
15 find(first, last, val)
16 lower_bound：尋找第一個小於 x
   的元素位置，如果不存在，則回傳 last。
17 lower_bound(first, last, val)
18 upper_bound：尋找第一個大於 x
   的元素位置，如果不存在，則回傳 last。
19 upper_bound(first, last, val)
20 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。
21 next_permutation(first, last)
22 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。
23 prev_permutation(first, last)
24
25

```

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。
8
9 Scarecrow
10 //problem
11 有一個 N×1 的稻田，有些稻田現在有種植作物，
12 為了避免被動物破壞，需要放置稻草人，
13 稻草人可以保護該塊稻田和左右兩塊稻田，
14 請問最少需要多少稻草人才能保護所有稻田？
15
16 //solution
17 從左到右掃描稻田，如果第 i 塊稻田有作物，
18 就把稻草人放到第 i+1 塊稻田，
19 這樣能保護第 i,i+1,i+2 塊稻田，
20 接著從第 i+3 塊稻田繼續掃描。
21
22 //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

```

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

```

```

42 //solution
43 每次將最小的兩數合併起來。
44
45 //code
46 #include <bits/stdc++.h>
47 using namespace std;
48 int main()
49 {
50     int n, x;
51     while (cin >> n, n){
52         priority_queue<int, vector<int>, greater<int>>
53             q;
54         while (n--){
55             cin >> x;

```

```

56         q.push(x);
57     }
58     long long ans = 0;
59     while (q.size() > 1){
60         x = q.top();
61         q.pop();
62         x += q.top();
63         q.pop();
64         q.push(x);
65         ans += x;
66     }
67     cout << ans << endl;
68 }
69 }
70
71 Commando War
72 //problem
73 有 n 個部下，每個部次要花 Bi 分鐘交待任務，
74 再花 Ji 分鐘執行任務，一次只能對一位部下交代任務，
75 但可以多人同時執行任務，問最少要花多少時間完成任務。
76
77 //solution
78 執行時間長的人先交代任務
79
80 //code
81 #include <bits/stdc++.h>
82 using namespace std;
83 struct Data{
84     int b, j;
85     bool operator<(const Data &rhs) const {
86         return j > rhs.j;
87     }
88 };
89
90 int main(){
91     int n, ti = 0;
92     Data a[1005];
93     while (cin >> n, n){
94         for (int i = 0; i < n; ++i)
95             cin >> a[i].b >> a[i].j;
96         sort(a, a + n);
97         int ans = 0, sum = 0;
98         for (int i = 0; i < n; ++i){
99             sum += a[i].b;
100             ans = max(ans, sum + a[i].j);
101         }
102         cout << "Case " << ++ti << ": " << ans << '\n';
103     }
104 }
105 }

```

刪數字問題

```

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

```

```

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

```

```

112 //code
113 int main()
114 {
115     string s;
116     int k;
117     cin >> s >> k;
118     for (int i = 0; i < k; ++i){
119         if ((int)s.size() == 0) break;
120         int pos = (int)s.size() - 1;
121         for (int j = 0; j < (int)s.size() - 1; ++j){
122             if (s[j] > s[j + 1]){
123                 pos = j;
124                 break;
125             }
126         }
127         s.erase(pos, 1);
128     }
129 }

```



```

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 }
138
139 區間覆蓋長度
140 //problem
141 給定 n 條線段區間為 [Li,Ri]，
142 請問這些線段的覆蓋所覆蓋的長度？
143
144 //solution
145 先將所有區間依照左界由小到大排序，
146 左界相同依照右界由小到大排序，
147 用一個變數 R 紀錄目前最大可以覆蓋到的右界。
148 如果目前區間左界 ≤ R，代表該區間可以和前面的線段合併。
149
150 //code
151 struct Line
152 {
153     int L, R;
154     bool operator<(const Line &rhs) const
155     {
156         if (L != rhs.L) return L < rhs.L;
157         return R < rhs.R;
158     }
159 };
160
161 int main(){
162     int n;
163     Line a[10005];
164     while (cin >> n){
165         for (int i = 0; i < n; i++)
166             cin >> a[i].L >> a[i].R;
167         sort(a, a + n);
168         int ans = 0, L = a[0].L, R = a[0].R;
169         for (int i = 1; i < n; i++){
170             if (a[i].L < R) R = max(R, a[i].R);
171             else{
172                 ans += R - L;
173                 L = a[i].L;
174                 R = a[i].R;
175             }
176         }
177         cout << ans + (R - L) << '\n';
178     }
179 }
180
181 最小區間覆蓋長度
182 //problem
183 給定 n 條線段區間為 [Li,Ri]，
184 請問最少要選幾個區間才能完全覆蓋 [0,S]？
185
186 //solution
187 先將所有區間依照左界由小到大排序，
188 對於當前區間 [Li,Ri]，要從左界 > Ri 的所有區間中，
189 找到有著最大的右界的區間，連接當前區間。
190
191 //problem
192 長度 n 的直線中有數個加熱器，
193 在 x 的加熱器可以讓 [x-r,x+r] 內的物品加熱，
194 問最少要幾個加熱器可以把 [0,n] 的範圍加熱。
195
196 //solution
197 對於最左邊沒加熱的點a，選擇最遠可以加熱a的加熱器，
198 更新已加熱範圍，重複上述動作繼續尋找加熱器。
199
200 //code
201 int main(){
202     int n, r;
203     int a[1005];
204     cin >> n >> r;
205     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 }
227
228 最多不重疊區間
229 //problem
230 給你 n 條線段區間為 [Li,Ri]，
231 請問最多可以選擇幾條不重疊的線段(頭尾可相連)？
232
233 //solution
234 依照右界由小到大排序，
235 每次取到一個不重疊的線段，答案 +1。
236
237 //code
238 struct Line
239 {
240     int L, R;
241     bool operator<(const Line &rhs) const {
242         return R < rhs.R;
243     }
244 };
245
246 int main(){
247     int t;
248     cin >> t;
249     Line a[30];
250     while (t--){
251         int n = 0;
252         while (cin>>a[n].L>>a[n].R, a[n].L||a[n].R)
253             ++n;
254         sort(a, a + n);
255         int ans = 1, R = a[0].R;
256         for (int i = 1; i < n; i++){
257             if (a[i].L >= R){
258                 ++ans;
259                 R = a[i].R;
260             }
261         }
262         cout << ans << '\n';
263     }
264 }
265
266 區間選點問題
267 //problem
268 給你 n 條線段區間為 [Li,Ri]，
269 請問至少要取幾個點才能讓每個區間至少包含一個點？
270
271 //solution
272 將區間依照右界由小到大排序，R=第一個區間的右界，
273 遍歷所有區段，如果當前區間左界>R，
274 代表必須多選一個點 (ans+=1)，並將 R=當前區間右界。
275
276 //problem
277 給定 N 個座標，要在 x 軸找到最小的點，
278 讓每個座標至少和一個點距離 ≤ D。
279
280 //solution
281 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 L_i, R_i ，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
```

316 最小化最大延遲問題

317 //problem
318 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為 T_i ，
319 期限是 D_i ，第 i 項工作延遲的時間為 $L_i = \max(0, F_i - D_i)$ ，
320 原本 F_i 為第 i 項工作的完成時間，
321 求一種工作排序使 $\max L_i$ 最小。

322 //solution
323 按照到期時間從早到晚處理。

```
324
325
326 //code
327 struct Work
328 {
329     int t, d;
330     bool operator< (const Work &rhs) const {
331         return d < rhs.d;
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 T_i ，
354 期限是 D_i ，求一種工作排序使得逾期工作數量最小。

355 //solution
356 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
357 依序放入工作列表中，如果發現有工作預期，
358 就從目前選擇的工作中，移除耗時最長的工作。

360 上述方法為 Moore-Hodgson's Algorithm。

361
362 //problem
363 給定烏龜的重量和可承受重量，問最多可以疊幾隻烏龜？
364
365 和最少延遲數量問題是相同的問題，只要將題敘做轉換。
366
367 工作處理時長 → 烏龜重量
368 工作期限 → 烏龜可承受重量
369 多少工作不延期 → 可以疊幾隻烏龜

```
370
371 //code
372 struct Work{
373     int t, d;
374     bool operator< (const Work &rhs) const {
375         return d < rhs.d;
376     }
377 };
378
379 int main(){
380     int n = 0;
381     Work a[10000];
382     priority_queue<int> pq;
383     while (cin >> a[n].t >> a[n].d)
384         ++n;
385     sort(a, a + n);
386     int sumT = 0, ans = n;
387     for (int i = 0; i < n; ++i){
388         pq.push(a[i].t);
389         sumT += a[i].t;
390         if (a[i].d < sumT){
391             int x = pq.top();
392             pq.pop();
393             sumT -= x;
394             --ans;
395         }
396     }
397     cout << ans << '\n';
398 }
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 T_i ，
404 期限是 D_i ，如果第 i 項工作延遲需要受到 p_i 單位懲罰，
405 請問最少會受到多少單位懲罰。

406 //solution
407 依照懲罰由大到小排序，
408 每項工作依序嘗試可不可以放在 $D_i - T_i + 1, D_i - T_i, \dots, 1, 0$ ，
409 如果有空閒就放進去，否則延後執行。

410
411 //problem
412 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為 T_i ，
413 期限是 D_i ，如果第 i 項工作在期限內完成會獲得 a_i
414 單位獎勵，
415 請問最多會獲得多少單位獎勵。

416 //solution
417 和上題相似，這題變成依照獎勵由大到小排序。

```
418
419 //code
420 struct Work
421 {
422     int d, p;
423     bool operator< (const Work &rhs) const {
424         return p > rhs.p;
425     }
426 };
427
428 int main(){
429     int n;
430     Work a[100005];
431     bitset<100005> ok;
432     while (cin >> n){
433
```

```

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
452 多機調度問題
453 //problem
454 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為  $T_i$ ，
455 有 M 台機器可執行多項工作，但不能將工作拆分，
456 最快可以在什麼時候完成所有工作？
457
458 //solution
459 將工作由大到小排序，每項工作交給最快空閒的機器。
460
461 //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，

```

越早出現的數字要越小

5. 如果有數字在 B 裡面而不在 A 裡面，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         deleteList(root->next);
59         delete root;
60         return;
61     }
62 };
63
64 class TreeProblem {
65     int null = INT_MIN;
66     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     return 0;
146 }
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 32
34 33
35 34
36 35
37 36
38 37
39 38
40 39
41 40
42 */

```

12 reference

12.1 hw6

```

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]=integer[i]+other.integer[i];
22             if(result.integer[i]>=10){
23                 result.integer[i]-=10;
24                 result.integer[i+1]++;
25             }
26         }
27         return result;
28     }
29
30     HugeInt operator-(const HugeInt& other)const{
31         HugeInt result("");
32         for(int i=0;i<40;i++){
33             result.integer[i]=integer[i]-other.integer[i];
34             if(result.integer[i]<0){
35                 result.integer[i]+=10;
36                 result.integer[i+1]--;
37             }
38         }
39         return result;
40     }
41
42     HugeInt operator*(const HugeInt& other)const{
43         HugeInt result("");
44         for(int i=0;i<40;i++){
45             for(int j=0;j<40;j++){
46                 result.integer[i+j]+=integer[i]*other.integer[j];
47             }
48             for(int i=0;i<40;i++){
49                 result.integer[i+1]+=result.integer[i]/10;
50                 result.integer[i]%=10;
51             }
52             return result;
53         }
54
55     HugeInt operator/(const HugeInt& other)const{
56         HugeInt result("");
57         HugeInt remainder("0");
58         HugeInt num("10");
59         for(int i=39;i>=0;i--){
60             if(i==39) remainder.integer[0]=integer[i];
61             else{
62                 remainder=remainder*num;
63                 remainder.integer[0]=integer[i];
64             }
65             int quotient=0;
66             while(remainder>other){
67                 remainder=remainder-other;
68                 quotient++;
69             }
70             if(remainder==other){
71                 remainder=remainder-other;
72                 quotient++;
73
74                 result.integer[i]=quotient;
75             }
76             return result;
77         }
78
79     HugeInt operator%(const HugeInt& other)const{
80         HugeInt remainder("0");
81         HugeInt value("0");
82         HugeInt num("10");
83         for(int i=39;i>=0;i--){
84             remainder=remainder*num;
85             remainder.integer[0]=integer[i];
86             while(remainder>other){
87                 remainder=remainder-other;
88                 if(remainder==other) remainder=value;
89             }
90             return remainder;
91         }
92
93     bool operator>(const HugeInt& other)const{
94         for(int i=39;i>=0;i--){
95             if(integer[i]>other.integer[i]) return true;
96             else if(integer[i]<other.integer[i]) return false;
97         }
98         return false;
99     }
100
101     bool operator<(const HugeInt& other)const{
102         for(int i=39;i>=0;i--){
103             if(integer[i]<other.integer[i]) return true;
104             else if(integer[i]>other.integer[i]) return false;
105         }
106         return false;
107     }
108
109     bool operator==(const HugeInt& other)const{
110         for(int i=39;i>=0;i--){
111             if(integer[i]!=other.integer[i]) return false;
112         }
113         return true;
114     }
115
116     bool operator>=(const HugeInt& other)const{
117         for(int i=39;i>=0;i--){
118             if(integer[i]<other.integer[i]) 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]) return false;
125             return true;
126         }
127
128     bool operator!=(const HugeInt& other)const{
129         return !(*this==other);
130     }
131
132     friend istream& operator>>(istream& in, HugeInt& hugeInt){
133         string s;
134         in>>s;
135         hugeInt=HugeInt(s);
136         return in;
137     }
138
139     friend ostream& operator<<(ostream& out, const HugeInt& hugeInt){
140         bool isLeadingZero=true;
141         for(int i=39;i>=0;i--){

```

```

139         if(hugeInt.integer[i])
140             isLeadingZero=false;
141         if(!isLeadingZero)
142             out<<hugeInt.integer[i];
143     }
144     if(isLeadingZero) out<<0;
145     return out;
146 }
147 void print(HugeInt a,HugeInt b){
148     if(a>b) cout<<a<<" > "<<b<<endl;
149     else if(a<b) cout<<a<<" < "<<b<<endl;
150     else cout<<a<<" = "<<b<<endl;
151     cout<<a<<" + "<<b<<" = "<<a+b<<endl;
152     if(a>b) cout<<a<<" - "<<b<<" = "<<a-b<<endl;
153     else if(a<b) cout<<a<<" - "<<b<<" =
154         -"<<b-a<<endl;
155     else cout<<a<<" - "<<b<<" = "<<a-b<<endl;
156     cout<<a<<" * "<<b<<" = "<<a*b<<endl;
157     cout<<a<<" / "<<b<<" = "<<a/b<<endl;
158     cout<<a<<" % "<<b<<" = "<<a%b<<endl;
159 }
160 int main(){
161     string x,y;
162     int cnt=0;
163     while(cin>>x>>y){
164         HugeInt x1(x);
165         if(cnt++) cout<<endl;
166         x1.print(x,y);
167     }
168 }

```

12.2 hw5

```

1 #include <iostream>
2 #include <string>
3 #include <random>
4 #include <vector>
5 #include <cassert>
6 #include <chrono>
7 #include <algorithm>
8 using namespace std;
9
10 template <typename T = int>
11 vector<T> randomvec(int n){
12     vector<T> vec(n);
13     unsigned
14     seed=chrono::system_clock::now().time_since_epoch().count();
15     default_random_engine generator(seed);
16     uniform_real_distribution<double>
17     distribution(0.0,200.0);
18     for(T &num:vec) num=distribution(generator);
19     return vec;
20 }
21
22 template <typename T>
23 bool AssertVectorIsSorted(vector<T>& vec){
24     for(int i=0;i<(int)vec.size()-1;++i)
25         if(vec[i]>vec[i+1]) return false;
26     return true;
27 }
28
29 template <typename T>
30 void printvector(vector<T>& vec){
31     for(T &x:vec) cout<<x<<" ";
32     cout<<"\n";
33     return;
34 }
35
36 int main(){
37     int n;
38     string s;
39     while(cin>>n>>s){
40         if(s=="int"){

```

```

39         vector<int> vec=randomvec<int>(n);
40         printvector(vec);
41         sort(vec.begin(), vec.end());
42         printvector(vec);
43         assert(AssertVectorIsSorted(vec));
44     }
45     else{
46         vector<double> vec=randomvec<double>(n);
47         printvector(vec);
48         sort(vec.begin(), vec.end());
49         printvector(vec);
50         assert(AssertVectorIsSorted(vec));
51     }
52     cout<<"True\n";
53 }
54 return 0;
55 }

```

12.3 sort

```

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 }

```