

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	deque	2
4.3	map	2
4.4	unordered_map	3
4.5	set	3
4.6	multiset	3
4.7	unordered_set	3
4.8	單調隊列	3
5	sort	4
5.1	大數排序	4
6	math	4
6.1	質數與因數	4
6.2	快速幂	4
6.3	歐拉函數	5
6.4	atan	5
6.5	大步小步	5
7	algorithm	6
7.1	basic	6
7.2	二分搜	6
7.3	三分搜	6
7.4	prefix sum	6
7.5	差分	7
7.6	greedy	7
7.7	floyd warshall	9
7.8	dinic	9
7.9	SegmentTree	9
7.10	Nim Game	10
7.11	Trie	10
7.12	SPFA	11
7.13	dijkstra	11
7.14	SCC Tarjan	12
7.15	SCC Kosaraju	12
7.16	ArticulationPoints Tarjan	12
7.17	最小樹狀圖	12
7.18	凸包	14
8	geometry	15
8.1	intersection	15
9	動態規劃	15
9.1	LCS 和 LIS	15
10	Section2	15
10.1	thm	15
11	dp 表格	16
11.1	DPlist	16
12	slogan	26
12.1	slogan	26

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]
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			
11		9223372036854775807	to -9223372036854775808
12	double	8	1.79769e+308 to 2.22507e-308
13	long double	16	1.18973e+4932 to 3.3621e-4932
14	float	4	3.40282e+38 to 1.17549e-38
15	unsigned long long	8	0 to 18446744073709551615
16	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     int mx=0;
18     int center=0;
19     vector<int> r(n);
20     int ans=1;
21     r[0]=1;
22     for(int i=1;i<n;i++){
23         int ii=center-(i-center);
24         int len=mx-i+1;
25         if(i>mx){
26             r[i]=ex(i,i);
27             center=i;
28             mx=i+r[i]-1;
29         }
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         }
35         else r[i]=min(r[ii],len);
36         ans=max(ans,r[i]);
37     }
38     cout<<ans-1<<"\n";
39     return 0;
40 }

```

3.2 stringstream

```

1 string s,word;
2 stringstream ss;
3 getline(cin,s);
4 ss<<s;
5 while(ss>>word) 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。
2
3 讀取優先權最高的值：
4     x = pq.top();
5     pq.pop(); //讀取後刪除
6 判斷是否為空的priority_queue：
7     pq.empty() //回傳true
8     pq.size() //回傳0
9 如需改變priority_queue的優先權定義：
10    priority_queue<T> pq; //預設由大到小
11    priority_queue<T, vector<T>, greater<T>> > pq;
12    //改成由小到大大
13    priority_queue<T, vector<T>, cmp> pq; //cmp

```

4.2 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() //刪除元素，需要使用迭代器指定刪除的元素或位置，
21 //同時也會返回指向刪除元素下一元素的迭代器。
22 dq.clear() //清空整個 deque 佇列。
23 dq.size() //檢查 deque 的尺寸
24 dq.empty() //如果 deque 佇列為空返回 1；
25 //若是存在任何元素，則返回 0
26 dq.begin() //返回一個指向 deque 開頭的迭代器
27 dq.end() //指向 deque 結尾，
28 //不是最後一個元素，
29 //而是最後一個元素的下一個位置

```

4.3 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 int main(){

```

```

35 //declaration container and iterator
36 map<string, string> mp;
37 map<string, string>::iterator iter;
38 map<string, string>::reverse_iterator iter_r;
39
40 //insert element
41 mp.insert(pair<string, string>
42           ("r000", "student_zero"));
43 mp["r123"] = "student_first";
44 mp["r456"] = "student_second";
45
46 //traversal
47 for(iter=mp.begin(); iter!=mp.end(); iter++)
48     cout<<iter->first<<" "
49         <<iter->second<<endl;
50 for(iter_r=mp.rbegin(); iter_r!=mp.rend(); iter_r++)
51     cout<<iter_r->first<<" "
52         <<iter_r->second<<endl;
53
54 //find and erase the element
55 iter=mp.find("r123");
56 mp.erase(iter);
57 iter=mp.find("r123");
58 if(iter!=mp.end())
59     cout<<"Find, the value is "
60         <<iter->second<<endl;
61 else cout<<"Do not Find"<<endl;
62 return 0;
63 }

```

4.4 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

```

4.5 set

```

1 set： 集合，去除重複的元素，資料由小到大排序。
2
3 取值： 使用iterator
4       x = *st.begin();
5           // set中的第一個元素(最小的元素)。
6       x = *st.rbegin();
7           // set中的最後一個元素(最大的元素)。
8
9 判斷是否為空的set：
10    st.empty() 回傳true
11    st.size() 回傳零
12
13 常用來搭配的member function：
14    st.count(x);
15    auto it = st.find(x);
16           // binary search, O(log(N))
17    auto it = st.lower_bound(x);
18           // binary search, O(log(N))
19    auto it = st.upper_bound(x);
20           // binary search, O(log(N))

```

4.6 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);
7     //會刪除所有值為 val 的元素。
8     st.erase(st.find(val));
9     //只刪除第一個值為 val 的元素。

```

4.7 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 unordered_set 判斷元素是否存在
7 unordered_set<int> myunordered_set;
8 myunordered_set.insert(2);
9 myunordered_set.insert(4);
10 myunordered_set.insert(6);
11 cout << myunordered_set.count(4) << "\n"; // 1
12 cout << myunordered_set.count(8) << "\n"; // 0

```

4.8 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
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 #include <bits/stdc++.h>
10 #define maxn 1000100
11 using namespace std;
12 int q[maxn], a[maxn];
13 int n, k;
14
15 void getmin() {
16     // 得到這個隊列裡的最小值，直接找到最後的就行了
17     int head=0, tail=0;
18     for(int i=1; i<=n; i++) {
19         while(head<=tail&&a[q[tail]]>=a[i]) tail--;
20         q[++tail]=i;
21     }
22     for(int i=k; i<=n; i++) {
23         while(head<=tail&&a[q[tail]]>=a[i]) tail--;
24         q[++tail]=i;
25         while(q[head]<=i-k) head++;
26         cout<<a[q[head]]<<" ";
27     }
28     cout<<endl;
29 }
30
31 void getmax() { // 和上面同理
32     int head=0, tail=0;
33     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     cout<<endl;
44 }
45
46 int main(){
47     cin>>n>>k; //每k個連續的數
48     for(int i=1; i<=n; i++) cin>>a[i];
49     getmin();
50     getmax();
51     return 0;
52 }

```

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

```

6 math

6.1 質數與因數

```

1 埃氏篩法
2 int n;
3 vector<int> isprime(n+1,1);
4 isprime[0]=isprime[1]=0;
5 for(int i=2;i*i<=n;i++){
6     if(isprime[i])
7         for(int j=i*i;j<=n;j+=i) isprime[j]=0;
8 }
9
10 歐拉篩 O(n)
11 #define MAXN 47000 //sqrt(2^31)=46,340...
12 bool isPrime[MAXN];
13 int prime[MAXN];
14 int primeSize=0;
15 void getPrimes(){
16     memset(isPrime, true, sizeof(isPrime));
17     isPrime[0]=isPrime[1]=false;
18     for(int i=2;i<MAXN;i++){
19         if(isPrime[i]) prime[primeSize++]=i;
20         for(int
21             j=0;j<primeSize&&i*prime[j]<=MAXN;j++){
22             isPrime[i*prime[j]]=false;
23             if(i%prime[j]==0) break;
24         }
25     }
26 }
27 最大公因數 O(log(min(a,b)))
28 int GCD(int a,int b){
29     if(b==0) return a;
30     return GCD(b,a%b);
31 }
32
33 質因數分解
34 void primeFactorization(int n){
35     for(int i=0;i<(int)p.size();++i){
36         if(p[i]*p[i]>n) break;
37         if(n%p[i]) continue;
38         cout<<p[i]<<' ';
39         while(n%p[i]==0) n/=p[i];
40     }
41     if(n!=1) cout<<n<<' ';
42     cout<<'\\n';
43 }
44
45 擴展歐幾里得算法
46 //ax+by=GCD(a,b)
47 #include <bits/stdc++.h>
48 using namespace std;

```

```

49
50 int ext_euc(int a,int b,int &x,int &y){
51     if(b==0){
52         x=1,y=0;
53         return a;
54     }
55     int d=ext_euc(b,a%b,y,x);
56     y-=a/b*x;
57     return d;
58 }
59
60 int main(){
61     int a,b,x,y;
62     cin>>a>>b;
63     ext_euc(a,b,x,y);
64     cout<<x<<' '<<y<<endl;
65     return 0;
66 }
67
68
69

```

```

70 歌德巴赫猜想
71 solution : 把偶數 N (6≤N≤10^6) 寫成兩個質數的和。
72 #include <iostream>
73 using namespace std;
74 #define N 2000000
75 int ox[N],p[N],pr;
76 void PrimeTable(){
77     ox[0]=ox[1]=1;
78     pr=0;
79     for(int i=2;i<N;i++){
80         if(!ox[i]) p[pr++]=i;
81         for(int j=0;i*p[j]<N&&j<pr;j++){
82             ox[i*p[j]]=1;
83         }
84     }
85
86 int main(){
87     PrimeTable();
88     int n;
89     while(cin>>n,n){
90         int x;
91         for(x=1;x+=2)
92             if(!ox[x]&&!ox[n-x]) break;
93         printf("%d = %d + %d\\n",n,x,n-x);
94     }
95 }
96 problem : 給定整數 N ,
97     求 N 最少可以拆成多少個質數的和。
98 如果 N 是質數, 則答案為 1。
99 如果 N 是偶數(不包含2), 則答案為 2 (強歌德巴赫猜想)。
100 如果 N 是奇數且 N-2 是質數, 則答案為 2 (2+質數)。
101 其他狀況答案為 3 (弱歌德巴赫猜想)。
102 #include<bits/stdc++.h>
103 using namespace std;
104
105 bool isPrime(int n){
106     for(int i=2;i<n;++i){
107         if(i*i>n) return true;
108         if(n%i==0) return false;
109     }
110     return true;
111 }
112
113 int main(){
114     int n;
115     cin>>n;
116     if(isPrime(n)) cout<<"1\\n";
117     else if(n%2==0||isPrime(n-2)) cout<<"2\\n";
118     else cout<<"3\\n";
119 }

```

6.2 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 }

```

6.3 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
3 int phi(){
4     int ans=n;
5     for(int i=2;i<=n;i++){
6         if(n%i==0){
7             ans=ans-ans/i;
8             while(n%i==0) n/=i;
9         }
10    }
11    if(n>1) ans=ans-ans/n;
12    return ans;
13 }

```

6.4 atan

```

1 說明
2     atan() 和 atan2() 函數分別計算 x 和 y/x 的反正切。
3
4 回覆值
5     atan() 函數會傳回介於範圍 - /2 到 /2 弧度之間的值。
6     atan2() 函數會傳回介於 - 至 弧度之間的值。
7     如果 atan2() 函數的兩個引數都是零，
8     則函數會將 errno 設為 EDOM，並傳回值 0。
9
10 範例
11 #include <math.h>
12 #include <stdio.h>
13
14 int main(void){
15     double a,b,c,d;
16
17     c=0.45;
18     d=0.23;
19
20     a=atan(c);
21     b=atan2(c,d);
22
23     printf("atan(%lf)=%lf/n",c,a);
24     printf("atan2(%lf,%lf)=%lf/n",c,d,b);
25
26 }
27
28 /*
29 atan(0.450000)=0.422854
30 atan2(0.450000,0.230000)=1.098299
31 */

```

6.5 大步小步

```

1 題意
2 給定 B,N,P，求出 L 滿足  $B^L \equiv N \pmod{P}$ 。
3
4 題解
5 餘數的循環節長度必定為 P 的因數，因此
6  $B^0, B^1, B^2, \dots, B^{P-1}$ ，
7 也就是說如果有解則  $L < P$ ，枚舉 0,1,2,...,P-1 能得到結果，但會超時。
8
9 將 L 拆成  $mx+y$ ，只要分別枚舉 x,y 就能得到答案，
10 設  $m=\sqrt{P}$  能保證最多枚舉  $2\sqrt{P}$  次。
11
12  $B^{mx+y} \equiv N \pmod{P}$ 
13  $B^{mx} B^y \equiv N \pmod{P}$ 
14  $B^y \equiv N(B^{-m})^x \pmod{P}$ 
15
16 先求出  $B^0, B^1, B^2, \dots, B^{m-1}$ ，
17 再枚舉  $N(B^{-m}), N(B^{-m})^2, \dots$  查看是否有對應的  $B^y$ 。
18 這種算法稱為大步小步演算法，
19 大步指的是枚舉 x (一次跨 m 步)，
20 小步指的是枚舉 y (一次跨 1 步)。
21
22 複雜度分析
23 利用 map/unorder_map 存放  $B^0, B^1, B^2, \dots, B^{m-1}$ ，
24 枚舉 x 查詢 map/unorder_map 是否有對應的  $B^y$ ，
25 存放和查詢最多  $2\sqrt{P}$  次，時間複雜度為  $O(\sqrt{P} \log \sqrt{P}) / O(\sqrt{P})$ 。
26
27
28 #include <bits/stdc++.h>
29 using namespace std;
30 using LL = long long;
31 LL B, N, P;
32
33 LL fpow(LL a, LL b, LL c){
34     LL res=1;
35     for(;b>=1;){
36         if(b&1)
37             res=(res*a)%c;
38         a=(a*a)%c;
39     }
40     return res;
41 }
42
43 LL BSGS(LL a, LL b, LL p){
44     a%=p, b%=p;
45     if(a==0)
46         return b==0?-1:-1;
47     if(b==1)
48         return 0;
49     map<LL, LL> tb;
50     LL sq=ceil(sqrt(p-1));
51     LL inv=fpow(a, p-sq-1, p);
52     tb[1]=sq;
53     for(LL i=1, tmp=1; i<sq; ++i){
54         tmp=(tmp*a)%p;
55         if(!tb.count(tmp))
56             tb[tmp]=i;
57     }
58     for(LL i=0; i<sq; ++i){
59         if(tb.count(b)){
60             LL res=tb[b];
61             return i*sq+(res==sq?0:res);
62         }
63         b=(b*inv)%p;
64     }
65     return -1;
66 }
67
68 int main(){
69     ios::sync_with_stdio(false);
70     cin.tie(0), cout.tie(0);
71     while(cin>>P>>B>>N){

```

```

72     LL ans=BSGS(B,N,P);
73     if(ans==-1)
74         cout<<"no solution\n";
75     else
76         cout<<ans<<'\\n';
77 }
78 }

```

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，
11     如果不存在，則回傳 last。
12 lower_bound(first, last, val)
13 upper_bound：尋找第一個大於 x 的元素位置，
14     如果不存在，則回傳 last。
15 upper_bound(first, last, val)
16 next_permutation：將序列順序轉換成下一個字典序，
17     如果存在回傳 true，反之回傳 false。
18 next_permutation(first, last)
19 prev_permutation：將序列順序轉換成上一個字典序，
20     如果存在回傳 true，反之回傳 false。
21 prev_permutation(first, last)

```

7.2 二分搜

```

1 int binary_search(int target) {
2     // For range [ok, ng) or (ng, ok], "ok" is for the
3     // index that target value exists, with "ng" doesn't.
4     int ok = maxn, ng = -1;
5     // For first lower_bound, ok=maxn and ng=-1,
6     // for last lower_bound, ok = -1 and ng = maxn
7     // (the "check" funtion
8     // should be changed depending on it.)
9     while(abs(ok - ng) > 1) {
10         int mid = (ok + ng) >> 1;
11         if(check(mid)) ok = mid;
12         else ng = mid;
13     }
14     // Be careful, "arr[mid]>=target" for first
15     // lower_bound and "arr[mid]<=target" for
16     // last lower_bound. For range (ng, ok],
17     // convert it into (ng, mid] and (mid, ok] than
18     // choose the first one, or convert [ok, ng) into
19     // [ok, mid) and [mid, ng) and then choose
20     // the second one.
21     return ok;
22 }
23
24 lower_bound(arr, arr + n, k);    //最左邊 ≥ k 的位置
25 upper_bound(arr, arr + n, k);    //最左邊 > k 的位置
26 upper_bound(arr, arr + n, k) - 1; //最右邊 ≤ k 的位置
27 lower_bound(arr, arr + n, k) - 1; //最右邊 < k 的位置
28 (lower_bound, upper_bound)      //等於 k 的範圍
29 equal_range(arr, arr+n, k);

```

7.3 三分搜

```

1 題意
2 給定兩射線方向和速度，問兩射線最近距離。
3
4 題解
5 假設 F(t) 為兩射線在時間 t 的距離，F(t) 為二次函數，
6 可用三分搜找二次函數最小值。
7
8 #include <bits/stdc++.h>
9 using namespace std;
10
11 struct Point{
12     double x, y, z;
13     Point() {}
14     Point(double _x, double _y, double _z):
15         x(_x), y(_y), z(_z){}
16     void read() { cin>>x>>y>>z; }
17     Point operator+(const Point &rhs) const{
18         return Point(x+rhs.x, y+rhs.y, z+rhs.z);
19     }
20     Point operator-(const Point &rhs) const{
21         return Point(x-rhs.x, y-rhs.y, z-rhs.z);
22     }
23     Point operator*(const double &d) const{
24         return Point(x*d, y*d, z*d);
25     }
26     Point operator/(const double &d) const{
27         return Point(x/d, y/d, z/d);
28     }
29     double dist(const Point &rhs) const{
30         double res = 0;
31         res+=(x-rhs.x)*(x-rhs.x);
32         res+=(y-rhs.y)*(y-rhs.y);
33         res+=(z-rhs.z)*(z-rhs.z);
34         return res;
35     }
36 };
37
38 int main(){
39     ios::sync_with_stdio(false);
40     cin.tie(0), cout.tie(0);
41     int T;
42     cin>>T;
43     for(int ti=1; ti<=T; ++ti){
44         double time;
45         Point x1, y1, d1, x2, y2, d2;
46         cin>>time;
47         x1.read();
48         y1.read();
49         x2.read();
50         y2.read();
51         d1=(y1-x1)/time;
52         d2=(y2-x2)/time;
53         double L=0, R=1e8, m1, m2, f1, f2;
54         double ans = x1.dist(x2);
55         while(abs(L-R)>1e-10){
56             m1=(L+R)/2;
57             m2=(m1+R)/2;
58             f1=((d1*m1)+x1).dist(((d2*m1)+x2));
59             f2=((d1*m2)+x1).dist(((d2*m2)+x2));
60             ans = min(ans, min(f1, f2));
61             if(f1<f2) R=m2;
62             else L=m1;
63         }
64         cout<<"Case "<<ti<<": ";
65         cout<<fixed<<setprecision(4)<<sqrt(ans)<<'\\n';
66     }
67 }

```

7.4 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 }

```

7.5 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。

```

```

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 }

```

7.6 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。

```

刪數字問題

```

11 //problem
12 給定一個數字 N( $\leq 10^4$ )，需要刪除 K 個數字，
13 請問刪除 K 個數字後最小的數字為何？
14
15 //solution
16 刪除滿足第 i 位數大於第 i+1 位數的最左邊第 i 位數，
17 扣除高位數的影響較扣除低位數的大。
18
19 //code

```

```

20 int main(){
21     string s;
22     int k;
23     cin>>s>>k;
24     for(int i=0;i<k;++i){
25         if((int)s.size()==0) break;
26         int pos =(int)s.size()-1;
27         for(int j=0;j<(int)s.size()-1;++j){
28             if(s[j]>s[j+1]){
29                 pos=j;
30                 break;
31             }
32         }
33         s.erase(pos,1);
34     }
35     while((int)s.size()>0&&s[0]=='0')
36         s.erase(0,1);
37     if((int)s.size()) cout<<s<<'\n';
38     else cout<<0<<'\n';
39 }

```

最小區間覆蓋長度

```

43 //problem
44 給定 n 條線段區間為 [Li,Ri]，
45 請問最少要選幾個區間才能完全覆蓋 [0,S]?

```

```

47 //solution
48 先將所有區間依照左界由小到大排序，
49 對於當前區間 [Li,Ri]，要從左界 >Ri 的所有區間中，
50 找到有著最大的右界的區間，連接當前區間。

```

```

52 //problem
53 長度 n 的直線中有數個加熱器，
54 在 x 的加熱器可以讓 [x-r,x+r] 內的物品加熱，
55 問最少要幾個加熱器可以把 [0,n] 的範圍加熱。

```

```

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

```

```

61 //code
62 int main(){
63     int n, r;
64     int a[1005];
65     cin>>n>>r;
66     for(int i=1;i<=n;++i) cin>>a[i];
67     int i=1,ans=0;
68     while(i<=n){
69         int R=min(i+r-1,n),L=max(i-r+1,0)
70         int nextR=-1;
71         for(int j=R;j>=L;--j){
72             if(a[j]){
73                 nextR=j;
74                 break;
75             }
76         }
77         if(nextR==-1){
78             ans=-1;
79             break;
80         }
81         ++ans;
82         i=nextR+r;
83     }
84     cout<<ans<<'\n';
85 }

```

最多不重疊區間

```

89 //problem
90 給你 n 條線段區間為 [Li,Ri]，
91 請問最多可以選擇幾條不重疊的線段(頭尾可相連)?

```

```

93 //solution
94 依照右界由小到大排序，
95 每次取到一個不重疊的線段，答案 +1。

```

```

96
97 //code
98 struct Line{
99     int L,R;
100     bool operator< (const Line &rhs) const{
101         return R<rhs.R;
102     }
103 };
104
105 int main(){
106     int t;
107     cin>>t;
108     Line a[30];
109     while(t--){
110         int n=0;
111         while(cin>>a[n].L>>a[n].R,a[n].L||a[n].R)
112             ++n;
113         sort(a,a+n);
114         int ans=1,R=a[0].R;
115         for(int i=1;i<n;i++){
116             if(a[i].L>=R){
117                 ++ans;
118                 R=a[i].R;
119             }
120         }
121         cout<<ans<<'\n';
122     }
123 }

```

最小化最大延遲問題

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

//solution
 按照到期時間從早到晚處理。

```

136 //code
137 struct Work{
138     int t, d;
139     bool operator< (const Work &rhs) const{
140         return d<rhs.d;
141     }
142 };
143
144 int main(){
145     int n;
146     Work a[10000];
147     cin>>n;
148     for(int i=0;i<n;++i)
149         cin>>a[i].t>>a[i].d;
150     sort(a,a+n);
151     int maxL=0,sumT=0;
152     for(int i=0;i<n;++i){
153         sumT+=a[i].t;
154         maxL=max(maxL,sumT-a[i].d);
155     }
156     cout<<maxL<<'\n';
157 }

```

最少延遲數量問題

//problem
 給定 N 個工作，每個工作的需要處理時長為 T_i ，
 期限是 D_i ，求一種工作排序使得逾期工作數量最小。

//solution
 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
 依序放入工作列表中，如果發現有工作預期，
 就從目前選擇的工作中，移除耗時最長的工作。
 上述方法為 Moore-Hodgson's Algorithm。

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

```

181 //code
182 struct Work{
183     int t, d;
184     bool operator< (const Work &rhs) const{
185         return d<rhs.d;
186     }
187 };
188
189 int main(){
190     int n=0;
191     Work a[10000];
192     priority_queue<int> pq;
193     while(cin>>a[n].t>>a[n].d)
194         ++n;
195     sort(a,a+n);
196     int sumT=0,ans=n;
197     for(int i=0;i<n;++i){
198         pq.push(a[i].t);
199         sumT+=a[i].t;
200         if(a[i].d<sumT){
201             int x=pq.top();
202             pq.pop();
203             sumT-=x;
204             --ans;
205         }
206     }
207     cout<<ans<<'\n';
208 }

```

任務調度問題

//problem
 給定 N 項工作，每項工作的需要處理時長為 T_i ，
 期限是 D_i ，如果第 i 項工作延遲需要受到 p_i 單位懲罰，
 請問最少會受到多少單位懲罰。

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

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

//solution
 和上題相似，這題變成依照獎勵由大到小排序。

```

229 //code
230 struct Work{
231     int d,p;
232     bool operator< (const Work &rhs) const{
233         return p>rhs.p;
234     }
235 };
236
237 int main(){
238     int n;
239     Work a[100005];
240     bitset<100005> ok;
241     while(cin>>n){
242         ok.reset();
243         for(int i=0;i<n;++i)
244             cin>>a[i].d>>a[i].p;
245         sort(a,a+n);

```



```

246     int ans=0;
247     for(int i=0;i<n;++i){
248         int j=a[i].d;
249         while(j--){
250             if(!ok[j]){
251                 ans+=a[i].p;
252                 ok[j]=true;
253                 break;
254             }
255         }
256         cout<<ans<<'\n';
257     }
258 }

```

7.7 floyd warshall

```

1  int w[n][n];
2  int d[n][n];
3  int medium[n][n];
4  // 由 i 點到 j 點的路徑，其中繼點為 medium[i][j]。
5
6  void floyd_warshall(){ //O(V^3)
7      for(int i=0;i<n;i++){
8          for(int j=0;j<n;j++){
9              d[i][j]=w[i][j];
10             medium[i][j]=-1;
11             // 預設為沒有中繼點
12         }
13         for(int i=0;i<n;i++) d[i][i]=0;
14         for(int k=0;k<n;k++){
15             for(int i=0;i<n;i++){
16                 for(int j=0;j<n;j++){
17                     if(d[i][k]+d[k][j]<d[i][j]){
18                         d[i][j]=d[i][k]+d[k][j];
19                         medium[i][j]=k;
20                         // 由 i 點走到 j 點經過了 k 點
21                     }
22                 }
23             }
24             // 這支函式並不會印出起點和終點，必須另行印出。
25             void find_path(int s,int t){ // 印出最短路徑
26                 if(medium[s][t]==-1) return; // 沒有中繼點就結束
27                 find_path(s,medium[s][t]); // 前半段最短路徑
28                 cout<<medium[s][t]; // 中繼點
29                 find_path(medium[s][t],t); // 後半段最短路徑
30             }
31         }
32     }
33 }

```

7.8 dinic

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <queue>
4  #define MAXNODE 105
5  #define oo 1e9
6  using namespace std;
7
8  int nodeNum;
9  int graph[MAXNODE][MAXNODE];
10 int levelGraph[MAXNODE];
11 bool canReachSink[MAXNODE];
12
13 bool bfs(int from, int to){
14     memset(levelGraph,0,sizeof(levelGraph));
15     levelGraph[from]=1;
16     queue<int> q;
17     q.push(from);
18     int currentNode;
19     while(!q.empty()){
20         currentNode=q.front();
21         q.pop();
22         for(int nextNode=1;nextNode<=nodeNum;
23             ++nextNode){

```

```

24         if((levelGraph[nextNode]==0)&&
25             graph[currentNode][nextNode]>0){
26             levelGraph[nextNode]=
27                 levelGraph[currentNode]+1;
28             q.push(nextNode);
29         }
30         if((nextNode==to)&&
31             (graph[currentNode][nextNode]>0))
32             return true;
33     }
34 }
35 return false;
36 }
37 int dfs(int from, int to, int bottleNeck){
38     if(from == to) return bottleNeck;
39     int outFlow = 0;
40     int flow;
41     for(int nextNode=1;nextNode<=nodeNum;++nextNode){
42         if((graph[from][nextNode]>0)&&
43             (levelGraph[from]==levelGraph[nextNode]-1)&&
44             canReachSink[nextNode]){
45             flow=dfs(nextNode,to,
46                 min(graph[from][nextNode],bottleNeck));
47             graph[from][nextNode]-=flow; //貪心
48             graph[nextNode][from]+=flow; //反悔路
49             outFlow+=flow;
50             bottleNeck-=flow;
51         }
52         if(bottleNeck==0) break;
53     }
54     if(outFlow==0) canReachSink[from]=false;
55     return outFlow;
56 }
57
58 int dinic(int from, int to){
59     int maxFlow=0;
60     while(bfs(from, to)){
61         memset(canReachSink,1,sizeof(canReachSink));
62         maxFlow += dfs(from, to, oo);
63     }
64     return maxFlow;
65 }
66
67 int main(){
68     int from, to, edgeNum;
69     int NetWorkNum = 1;
70     int maxFlow;
71     while(scanf("%d",&nodeNum)!=EOF&&nodeNum!=0){
72         memset(graph, 0, sizeof(graph));
73         scanf("%d %d %d", &from, &to, &edgeNum);
74         int u, v, w;
75         for (int i = 0; i < edgeNum; ++i){
76             scanf("%d %d %d", &u, &v, &w);
77             graph[u][v] += w;
78             graph[v][u] += w;
79         }
80         maxFlow = dinic(from, to);
81         printf("Network %d\n", NetWorkNum++);
82         printf("The bandwidth is %d.\n\n", maxFlow);
83     }
84     return 0;
85 }

```

7.9 SegmentTree

```

1  #define MAXN 1000
2  int data[MAXN]; //原數據
3  int st[4 * MAXN]; //線段樹
4  int tag[4 * MAXN]; //懶標
5
6  inline int pull(int l, int r) {
7      // 隨題目改變sum、max、min
8      // l、r是左右樹的index
9      return st[l] + st[r];
10 }

```

```

11
12 void build(int l, int r, int i) {
13     // 在[l, r]區間建樹，目前根的index為i
14     if (l == r) {
15         st[i] = data[l];
16         return;
17     }
18     int mid = l + ((r - l) >> 1);
19     build(l, mid, i * 2);
20     build(mid + 1, r, i * 2 + 1);
21     st[i] = pull(i * 2, i * 2 + 1);
22 }
23
24 int query(int ql, int qr, int l, int r, int i) {
25     // [ql, qr]是查詢區間,[l, r]是當前節點包含的區間
26     if (ql <= l && r <= qr)
27         return st[i];
28     int mid = l + ((r - l) >> 1);
29     if (tag[i]) {
30         //如果當前懶標有值則更新左右節點
31         st[i * 2] += tag[i] * (mid - l + 1);
32         st[i * 2 + 1] += tag[i] * (r - mid);
33         tag[i * 2] += tag[i]; //下傳懶標至左節點
34         tag[i * 2 + 1] += tag[i]; //下傳懶標至右節點
35         tag[i] = 0;
36     }
37     int sum = 0;
38     if (ql <= mid)
39         sum += query(ql, qr, l, mid, i * 2);
40     if (qr > mid)
41         sum += query(ql, qr, mid + 1, r, i * 2 + 1);
42     return sum;
43 }
44
45 void update(int ql, int qr, int l, int r, int i, int c) {
46     // [ql, qr]是查詢區間,[l, r]是當前節點包含的區間
47     // c是變化量
48     if (ql <= l && r <= qr) {
49         st[i] += (r - l + 1) * c;
50         //求和,此需乘上區間長度
51         tag[i] += c;
52         return;
53     }
54     int mid = l + ((r - l) >> 1);
55     if (tag[i] && l != r) {
56         //如果當前懶標有值則更新左右節點
57         st[i * 2] += tag[i] * (mid - l + 1);
58         st[i * 2 + 1] += tag[i] * (r - mid);
59         tag[i * 2] += tag[i]; //下傳懶標至左節點
60         tag[i * 2 + 1] += tag[i]; //下傳懶標至右節點
61         tag[i] = 0;
62     }
63     if (ql <= mid) update(ql, qr, l, mid, i * 2, c);
64     if (qr > mid) update(ql, qr, mid + 1, r, i * 2 + 1, c);
65     st[i] = pull(i * 2, i * 2 + 1);
66 }
67 //如果是直接改值而不是加值，query與update中的tag與st的
//改值從+=改成=

```

7.10 Nim Game

```

1 //兩人輪流取銅板，每人每次需在某堆取一枚以上的銅板，
2 //但不能同時在兩堆取銅板，直到最後，
3 //將銅板拿光的人贏得此遊戲。

```

```

4
5 #include <bits/stdc++.h>
6 #define maxn 23+5
7 using namespace std;
8
9 int SG[maxn];
10 int visited[1000+5];
11 int pile[maxn], ans;
12
13 void calculateSG() {

```

```

14     SG[0]=0;
15     for(int i=1;i<=maxn;i++){
16         int cur=0;
17         for(int j=0;j<i;j++)
18             for(int k=0;k<=j;k++)
19                 visited[SG[j]^SG[k]]=i;
20         while(visited[cur]==i) cur++;
21         SG[i]=cur;
22     }
23 }
24
25 int main(){
26     calculateSG();
27     int Case=0,n;
28     while(cin>>n,n){
29         ans=0;
30         for(int i=1;i<=n;i++) cin>>pile[i];
31         for(int i=1;i<=n;i++)
32             if(pile[i]&1) ans^=SG[n-i];
33         cout<<"Game "<<Case<<" ";
34         if(!ans) cout<<"-1 -1 -1\n";
35         else{
36             bool flag=0;
37             for(int i=1;i<=n;i++){
38                 if(pile[i]){
39                     for(int j=i+1;j<=n;j++){
40                         for(int k=j;k<=n;k++){
41                             if((SG[n-i]^SG[n-j]^SG[n-k])==ans){
42                                 cout<<i-1<<" "<<j-1<<" "<<k-1<<endl;
43                                 flag=1;
44                                 break;
45                             }
46                         }
47                     }
48                     if(flag) break;
49                 }
50             }
51             if(flag) break;
52         }
53     }
54     return 0;
55 }
56
57 /*
58 input
59 4 1 0 1 100
60 3 1 0 5
61 2 2 1
62 0
63 output
64 Game 1: 0 2 3
65 Game 2: 0 1 1
66 Game 3: -1 -1 -1
67 */

```

7.11 Trie

```

1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 const int maxn = 300000 + 10;
5 const int mod = 20071027;
6
7 int dp[maxn];
8 int mp[4000*100 + 10][26];
9 char str[maxn];
10
11 struct Trie {
12     int seq;
13     int val[maxn];
14
15     Trie() {
16         seq = 0;
17         memset(val, 0, sizeof(val));
18         memset(mp, 0, sizeof(mp));
19     }

```

```

20 void insert(char* s, int len) {
21     int r = 0;
22     for(int i=0; i<len; i++) {
23         int c = s[i] - 'a';
24         if(!mp[r][c]) mp[r][c] = ++seq;
25         r = mp[r][c];
26     }
27     val[r] = len;
28     return;
29 }
30
31 int find(int idx, int len) {
32     int result = 0;
33     for(int r=0; idx<len; idx++) {
34         int c = str[idx] - 'a';
35         if(!(r = mp[r][c])) return result;
36         if(val[r])
37             result = (result + dp[idx + 1]) % mod;
38     }
39     return result;
40 }
41
42 };
43
44 int main() {
45     int n, tc = 1;
46
47     while(~scanf("%s%d", str, &n)) {
48         Trie tr;
49         int len = strlen(str);
50         char word[100+10];
51
52         memset(dp, 0, sizeof(dp));
53         dp[len] = 1;
54
55         while(n--) {
56             scanf("%s", word);
57             tr.insert(word, strlen(word));
58         }
59
60         for(int i=len-1; i>=0; i--)
61             dp[i] = tr.find(i, len);
62         printf("Case %d: %d\n", tc++, dp[0]);
63     }
64     return 0;
65 }
66
67 /*****
68 ****Input****
69 * abcd
70 * 4
71 * a b cd ab
72 ****
73 ****Output***
74 * Case 1: 2
75 ****
76 */

```

7.12 SPFA

```

1 struct Edge
2 {
3     int t;
4     long long w;
5     Edge(){};
6     Edge(int _t, long long _w) : t(_t), w(_w) {}
7 };
8
9 bool SPFA(int st) // 平均O(V + E) 最糟O(VE)
10 {
11     vector<int> cnt(n, 0);
12     bitset<MXV> inq(0);
13     queue<int> q;
14     q.push(st);
15     dis[st] = 0;

```

```

16     inq[st] = true;
17     while (!q.empty())
18     {
19         int cur = q.front();
20         q.pop();
21         inq[cur] = false;
22         for (auto &e : G[cur])
23         {
24             if (dis[e.t] <= dis[cur] + e.w)
25                 continue;
26             dis[e.t] = dis[cur] + e.w;
27             if (inq[e.t])
28                 continue;
29             ++cnt[e.t];
30             if (cnt[e.t] > n)
31                 return false; // negative cycle
32             inq[e.t] = true;
33             q.push(e.t);
34         }
35     }
36     return true;
37 }

```

7.13 dijkstra

```

1 #include<bits/stdc++.h>
2 #define maxn 50000+5
3 #define INF 0x3f3f3f3f
4 using namespace std;
5
6 struct edge{
7     int v,w;
8 };
9
10 struct Item{
11     int u,dis;
12     bool operator<(const Item &rhs)const{
13         return dis>rhs.dis;
14     }
15 };
16
17 vector<edge> G[maxn];
18 int dist[maxn];
19
20 void dijkstra(int s){ // O((V + E)log(E))
21     memset(dist,INF,sizeof(dist));
22     dist[s]=0;
23     priority_queue<Item> pq;
24     pq.push({s,0});
25     while(!pq.empty()){
26         Item now=pq.top();
27         pq.pop();
28         if(now.dis>dist[now.u]) continue;
29         for(edge e:G[now.u]){
30             if(dist[e.v]>dist[now.u]+e.w){
31                 dist[e.v]=dist[now.u]+e.w;
32                 pq.push({e.v,dist[e.v]});
33             }
34         }
35     }
36 }
37
38 int main(){
39     int t,cas=1;
40     cin>>t;
41     while(t--){
42         int n,m,s,t;
43         cin>>n>>m>>s>>t;
44         for(int i=0;i<=n;i++) G[i].clear();
45         int u,v,w;
46         for(int i=0;i<m;i++){
47             cin>>u>>v>>w;
48             G[u].push_back({v,w});
49             G[v].push_back({u,w});
50         }
51         dijkstra(s);

```

```

52     cout<<"Case #"<<cas++<<" ";
53     if(dist[t]==INF) cout<<"unreachable\n";
54     else cout<<dist[t]<<endl;
55 }
56 }

```

7.14 SCC Tarjan

```

1 //Strongly Connected Components
2 //Tarjan O(V + E)
3 int dfn[N], low[N], dfncnt, sk[N], in_stack[N], tp;
4 //dfn[u]: dfs時u被visited的順序
5 //low[u]: 在u的dfs子樹中能回到最早已在stack中的節點
6 int scc[N], sc;//節點 u 所在 SCC 的編號
7 int sz[N]; //強連通 u 的大小
8
9 void tarjan(int u) {
10     low[u] = dfn[u] = ++dfncnt, s[++tp] = u,
11     in_stack[u] = 1;
12     for (int i = h[u]; i; i = e[i].nex) {
13         const int &v = e[i].t;
14         if (!dfn[v]) {
15             tarjan(v);
16             low[u] = min(low[u], low[v]);
17         } else if (in_stack[v]) {
18             low[u] = min(low[u], dfn[v]);
19         }
20     }
21     if (dfn[u] == low[u]) {
22         ++sc;
23         while (s[tp] != u) {
24             scc[s[tp]] = sc;
25             sz[sc]++;
26             in_stack[s[tp]] = 0;
27             --tp;
28         }
29         scc[s[tp]] = sc;
30         sz[sc]++;
31         in_stack[s[tp]] = 0;
32         --tp;
33     }
34 }

```

7.15 SCC Kosaraju

```

1 //做兩次dfs, O(V + E)
2 //g 是原圖, g2 是反圖
3 //s是dfs離開的節點
4 void dfs1(int u) {
5     vis[u] = true;
6     for (int v : g[u])
7         if (!vis[v]) dfs1(v);
8     s.push_back(u);
9 }
10
11 void dfs2(int u) {
12     group[u] = sccCnt;
13     for (int v : g2[u])
14         if (!group[v]) dfs2(v);
15 }
16
17 void kosaraju() {
18     sccCnt = 0;
19     for (int i = 1; i <= n; ++i)
20         if (!vis[i]) dfs1(i);
21     for (int i = n; i >= 1; --i)
22         if (!group[s[i]]) {
23             ++sccCnt;
24             dfs2(s[i]);
25         }
26 }

```

7.16 ArticulationPoints Tarjan

```

1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 vector<vector<int>>> G;
5 int N;
6 int timer;
7 bool visited[105];
8 int visTime[105]; // 第一次visit的時間
9 int low[105];
10 // 最小能回到的父節點(不能是自己的parent)的visTime
11 int res;
12 //求割點數量
13 void tarjan(int u, int parent) {
14     int child = 0;
15     bool isCut = false;
16     visited[u] = true;
17     visTime[u] = low[u] = ++timer;
18     for (int v: G[u]) {
19         if (!visited[v]) {
20             ++child;
21             tarjan(v, u);
22             low[u] = min(low[u], low[v]);
23             if (parent != -1 && low[v] >= visTime[u])
24                 isCut = true;
25         }
26         else if (v != parent)
27             low[u] = min(low[u], visTime[v]);
28     }
29     //If u is root of DFS tree->有兩個以上的children
30     if (parent == -1 && child >= 2)
31         isCut = true;
32     if (isCut)
33         ++res;
34 }
35
36 int main()
37 {
38     char input[105];
39     char* token;
40     while (scanf("%d", &N) != EOF && N)
41     {
42         G.assign(105, vector<int>());
43         memset(visited, false, sizeof(visited));
44         memset(low, 0, sizeof(low));
45         memset(visTime, 0, sizeof(visTime));
46         timer = 0;
47         res = 0;
48         getchar(); // for \n
49         while (fgets(input, 105, stdin))
50         {
51             if (input[0] == '0')
52                 break;
53             int size = strlen(input);
54             input[size - 1] = '\0';
55             --size;
56             token = strtok(input, " ");
57             int u = atoi(token);
58             int v;
59             while (token = strtok(NULL, " "))
60             {
61                 v = atoi(token);
62                 G[u].emplace_back(v);
63                 G[v].emplace_back(u);
64             }
65         }
66         tarjan(1, -1);
67         printf("%d\n", res);
68     }
69     return 0;
70 }

```

7.17 最小樹狀圖

1 定義
2 有向圖上的最小生成樹 (Directed Minimum Spanning Tree)
3 稱為最小樹形圖。
4 常用的演算法是朱劉演算法 (也稱為Edmonds 演算法) ,
5 可以在 $O(nm)$ 時間內解決最小樹形圖問題。

6
7 流程
8 1. 對於每個點, 選擇它入度最小的那條邊
9 2. 如果沒有環, 演算法終止;
10 否則進行縮環並更新其他點到環的距離。

```
12 bool solve() {
13     ans = 0;
14     int u, v, root = 0;
15     for (;;) {
16         f(i, 0, n) in[i] = 1e100;
17         f(i, 0, m) {
18             u = e[i].s;
19             v = e[i].t;
20             if (u != v && e[i].w < in[v]) {
21                 in[v] = e[i].w;
22                 pre[v] = u;
23             }
24         }
25         f(i, 0, m) if(i!=root && in[i]>1e50) return 0;
26         int tn = 0;
27         memset(id, -1, sizeof id);
28         memset(vis, -1, sizeof vis);
29         in[root] = 0;
30         f(i, 0, n) {
31             ans += in[i];
32             v = i;
33             while(vis[v] != i && id[v] == -1 && v != root) {
34                 vis[v] = i;
35                 v = pre[v];
36             }
37             if (v != root && id[v] == -1) {
38                 for(int u=pre[v]; u!=v; u=pre[u]) id[u]=tn;
39                 id[v] = tn++;
40             }
41         }
42         if (tn == 0) break;
43         f(i, 0, n) if (id[i] == -1) id[i] = tn++;
44         f(i, 0, m) {
45             u = e[i].s;
46             v = e[i].t;
47             e[i].s = id[u];
48             e[i].t = id[v];
49             if (e[i].s != e[i].t) e[i].w -= in[v];
50         }
51         n = tn;
52         root = id[root];
53     }
54     return ans;
55 }
```

59 Tarjan 的DMST 演算法
60 Tarjan 提出了一種能夠在
61 $O(m+n\log n)$ 時間內解決最小樹形圖問題的演算法。

62
63 流程
64 Tarjan 的演算法分為收縮與伸展兩個過程。
65 接下來先介紹收縮的過程。
66 我們要假設輸入的圖是滿足強連通的,
67 如果不滿足那就加入 $O(n)$ 條邊使其滿足,
68 並且這些邊的邊權是無窮大的。
69
70 我們需要一個堆存儲結點的入邊編號, 入邊權值,
71 結點總代價等相關信息, 由於後續過程中會有堆的合併操作,
72 這裡採用左偏樹 與並查集實現。
73 演算法的每一步都選擇一個任意結點 v ,
74 需要保證 v 不是根節點, 並且在堆中沒有它的入邊。
75 再將 v 的最小入邊加入到堆中,

76 如果新加入的這條邊使堆中的邊形成了環,
77 那麼將構成環的那些結點收縮,
78 我們不妨將這些已經收縮的結點命名為超級結點,
79 再繼續這個過程, 如果所有的頂點都縮成了超級結點,
80 那麼收縮過程就結束了。
81 整個收縮過程結束後會得到一棵收縮樹,
82 之後就會對它進行伸展操作。
83
84 堆中的邊總是會形成一條路徑 $v_0 \leftarrow v_1 \leftarrow \dots \leftarrow v_k$,
85 由於圖是強連通的, 這個路徑必然存在,
86 並且其中的 v_i 可能是最初的單一結點,
87 也可能是壓縮後的超級結點。
88
89 最初有 $v_0=a$, 其中 a 是圖中任意的一個結點,
90 每次都選擇一條最小入邊 $v_k \leftarrow u$,
91 如果 u 不是 v_0, v_1, \dots, v_k 中的一個結點,
92 那麼就將結點擴展到 $v_{k+1}=u$ 。
93 如果 u 是他們其中的一個結點 v_i ,
94 那麼就找到了一個關於 $v_i \leftarrow \dots \leftarrow v_k \leftarrow v_i$ 的環,
95 再將他們收縮為一個超級結點 c 。
96
97 向隊列 P 中放入所有的結點或超級結點,
98 並初始選擇任一節點 a , 只要佇列不為空, 就進行以下步驟:
99
100 選擇 a 的最小入邊, 保證不存在自環,
101 並找到另一頭的結點 b 。
102 如果結點 b 沒有被記錄過說明未形成環,
103 令 $a \leftarrow b$, 繼續目前操作尋找環。
104
105 如果 b 被記錄過了, 就表示出現了環。
106 總結點數加一, 並將環上的所有結點重新編號, 對堆進行合併,
107 以及結點/超級結點的總權值的更新。
108 更新權值操作就是將環上所有結點的入邊都收集起來,
109 並減去環上入邊的邊權。
110
111
112 #include <bits/stdc++.h>
113 using namespace std;
114 typedef long long ll;
115 #define maxn 102
116 #define INF 0x3f3f3f3f
117
118 struct UnionFind {
119 int fa[maxn << 1];
120 UnionFind() { memset(fa, 0, sizeof(fa)); }
121 void clear(int n) {
122 memset(fa + 1, 0, sizeof(int) * n);
123 }
124 int find(int x) {
125 return fa[x] ? fa[x] = find(fa[x]) : x;
126 }
127 int operator[](int x) { return find(x); }
128 };
129
130 struct Edge {
131 int u, v, w, w0;
132 };
133
134 struct Heap {
135 Edge *e;
136 int rk, constant;
137 Heap *lch, *rch;
138
139 Heap(Edge *_e):
140 e(_e), rk(1), constant(0), lch(NULL), rch(NULL){}
141
142 void push() {
143 if (lch) lch->constant += constant;
144 if (rch) rch->constant += constant;
145 e->w += constant;
146 constant = 0;
147 }
148 };
149

```

150 Heap *merge(Heap *x, Heap *y) {
151     if (!x) return y;
152     if (!y) return x;
153     if (x->e->w + x->constant > y->e->w + y->constant)
154         swap(x, y);
155     x->push();
156     x->rch = merge(x->rch, y);
157     if (!x->lch || x->lch->rk < x->rch->rk)
158         swap(x->lch, x->rch);
159     if (x->rch)
160         x->rk = x->rch->rk + 1;
161     else
162         x->rk = 1;
163     return x;
164 }
165
166 Edge *extract(Heap *&x) {
167     Edge *r = x->e;
168     x->push();
169     x = merge(x->lch, x->rch);
170     return r;
171 }
172
173 vector<Edge> in[maxn];
174 int n, m, fa[maxn << 1], nxt[maxn << 1];
175 Edge *ed[maxn << 1];
176 Heap *Q[maxn << 1];
177 UnionFind id;
178
179 void contract() {
180     bool mark[maxn << 1];
181     //將圖上的每一個節點與其相連的那些節點進行記錄
182     for (int i = 1; i <= n; i++) {
183         queue<Heap *> q;
184         for (int j = 0; j < in[i].size(); j++)
185             q.push(new Heap(&in[i][j]));
186         while (q.size() > 1) {
187             Heap *u = q.front();
188             q.pop();
189             Heap *v = q.front();
190             q.pop();
191             q.push(merge(u, v));
192         }
193         Q[i] = q.front();
194     }
195     mark[1] = true;
196     for (int a=1, b=1, p; Q[a]; b=a, mark[b]=true){
197         //尋找最小入邊以及其端點，保證無環
198         do {
199             ed[a] = extract(Q[a]);
200             a = id[ed[a]->u];
201         } while (a == b && Q[a]);
202         if (a == b) break;
203         if (!mark[a]) continue;
204         //對發現的環進行收縮，以及環內的節點重新編號，
205         //總權值更新
206         for (a = b, n++; a != n; a = p) {
207             id.fa[a] = fa[a] = n;
208             if (Q[a]) Q[a]->constant -= ed[a]->w;
209             Q[n] = merge(Q[n], Q[a]);
210             p = id[ed[a]->u];
211             nxt[p == n ? b : p] = a;
212         }
213     }
214 }
215
216 ll expand(int x, int r);
217 ll expand_iter(int x) {
218     ll r = 0;
219     for (int u=nxt[x]; u!=x; u=nxt[u]){
220         if (ed[u]->w0 >= INF)
221             return INF;
222         else
223             r+=expand(ed[u]->v, u)+ed[u]->w0;
224     }
225     return r;
226 }

```

```

227
228 ll expand(int x, int t) {
229     ll r = 0;
230     for (; x != t; x = fa[x]) {
231         r += expand_iter(x);
232         if (r >= INF) return INF;
233     }
234     return r;
235 }
236
237 void link(int u, int v, int w) {
238     in[v].push_back({u, v, w});
239 }
240
241 int main() {
242     int rt;
243     scanf("%d %d %d", &n, &m, &rt);
244     for (int i = 0; i < m; i++) {
245         int u, v, w;
246         scanf("%d %d %d", &u, &v, &w);
247         link(u, v, w);
248     }
249     //保證強連通
250     for (int i = 1; i <= n; i++)
251         link(i > 1 ? i - 1 : n, i, INF);
252     contract();
253     ll ans = expand(rt, n);
254     if (ans >= INF)
255         puts("-1");
256     else
257         printf("%lld\n", ans);
258     return 0;
259 }

```

7.18 凸包

```

1  /* *****
2  * Q: 平面上給定多個區域，由多個座標點所形成，再給定
3  * 多點(x,y)，判斷有落點的區域(destroyed)的面積總和。
4  * *****
5  #include <bits/stdc++.h>
6  using namespace std;
7
8  const int maxn = 500 + 10;
9  const int maxCoordinate = 500 + 10;
10
11 struct Point {
12     int x, y;
13 };
14
15 int n;
16 bool destroyed[maxn];
17 Point arr[maxn];
18 vector<Point> polygons[maxn];
19
20 void scanAndSortPoints() {
21     int minX = maxCoordinate, minY = maxCoordinate;
22     for (int i=0; i<n; i++) {
23         int x, y;
24         scanf("%d%d", &x, &y);
25         arr[i] = (Point){x, y};
26         if (y < minY || (y == minY && x < minX)) {
27             // If there are floating points, use:
28             // if (y < minY || (fabs(y - minY) < eps && x < minX)) {
29                 minX = x, minY = y;
30             }
31         }
32     }
33     sort(arr, arr+n, [minX, minY](Point& a, Point& b){
34         double theta1 = atan2(a.y - minY, a.x - minX);
35         double theta2 = atan2(b.y - minY, b.x - minX);
36         return theta1 < theta2;
37     });
38     return;
39 }

```



```

40 // returns cross product of u(AB) x v(AC)
41 int cross(Point& A, Point& B, Point& C) {
42     int u[2] = {B.x - A.x, B.y - A.y};
43     int v[2] = {C.x - A.x, C.y - A.y};
44     return (u[0] * v[1]) - (u[1] * v[0]);
45 }
46
47 // size of arr = n >= 3
48 // st = the stack using vector, m = index of the top
49 vector<Point> convex_hull() {
50     vector<Point> st(arr, arr+3);
51     for(int i=3, m=2; i<n; i++, m++) {
52         while(m >= 2) {
53             if(cross(st[m], st[m-1], arr[i]) < 0)
54                 break;
55             st.pop_back();
56             m--;
57         }
58         st.push_back(arr[i]);
59     }
60     return st;
61 }
62
63 bool inPolygon(vector<Point>& vec, Point p) {
64     vec.push_back(vec[0]);
65     for(int i=1; i<vec.size(); i++) {
66         if(cross(vec[i-1], vec[i], p) < 0) {
67             vec.pop_back();
68             return false;
69         }
70     }
71     vec.pop_back();
72     return true;
73 }
74
75     1 | x1   x2   x3   x4   x5           xn |
76 A = - |   x   x   x   x   x ... x   |
77     2 | y1   y2   y3   y4   y5           yn |
78 double calculateArea(vector<Point>& v) {
79     v.push_back(v[0]); // make v[n] = v[0]
80     double result = 0.0;
81     for(int i=1; i<v.size(); i++)
82         result += v[i-1].x*v[i].y - v[i-1].y*v[i].x;
83     v.pop_back();
84     return result / 2.0;
85 }
86
87 int main() {
88     int p = 0;
89     while(~scanf("%d", &n) && (n != -1)) {
90         scanAndSortPoints();
91         polygons[p++] = convex_hull();
92     }
93
94     int x, y;
95     double result = 0.0;
96     while(~scanf("%d%d", &x, &y)) {
97         for(int i=0; i<p; i++) {
98             if(inPolygon(polygons[i], (Point){x, y}))
99                 destroyed[i] = true;
100         }
101     }
102     for(int i=0; i<p; i++) {
103         if(destroyed[i])
104             result += calculateArea(polygons[i]);
105     }
106     printf("%.2lf\n", result);
107     return 0;
108 }

```

8 geometry

8.1 intersection

```

1 using LL = long long;
2
3 struct Point2D {
4     LL x, y;
5 };
6
7 struct Line2D {
8     Point2D s, e;
9     LL a, b, c; // L: ax + by = c
10    Line2D(Point2D s, Point2D e): s(s), e(e) {
11        a = e.y - s.y;
12        b = s.x - e.x;
13        c = a * s.x + b * s.y;
14    }
15 };
16
17 // 用克萊馬公式求二元一次解
18 Point2D intersection2D(Line2D l1, Line2D l2) {
19     LL D = l1.a * l2.b - l2.a * l1.b;
20     LL Dx = l1.c * l2.b - l2.c * l1.b;
21     LL Dy = l1.a * l2.c - l2.a * l1.c;
22
23     if(D) { // intersection
24         double x = 1.0 * Dx / D;
25         double y = 1.0 * Dy / D;
26     } else {
27         if(Dx || Dy) // Parallel lines
28             // Same line
29     }
30 }

```

9 動態規劃

9.1 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

```

10 Section2

10.1 thm

- 中文測試
- $\sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$
- $\binom{x}{y} = \frac{x!}{y!(x-y)!}$
- $\int_0^\infty e^{-x} dx$
- $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

11 dp 表格

11.1 DPlist

1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							

73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							
95							
96							
97							
98							
99							
100							
101							
102							
103							
104							
105							
106							
107							
108							
109							
110							
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							
119							
120							
121							
122							
123							
124							
125							
126							
127							
128							
129							
130							
131							
132							
133							
134							
135							
136							
137							
138							
139							
140							
141							
142							
143							
144							
145							
146							
147							
148							
149							

150	|		|		|		|		|
151	-----								
152	|		|		|		|		|
153	|		|		|		|		|
154	-----								
155	|		|		|		|		|
156	|		|		|		|		|
157	-----								
158	|		|		|		|		|
159	|		|		|		|		|
160	-----								
161	|		|		|		|		|
162	|		|		|		|		|
163	-----								
164	|		|		|		|		|
165	|		|		|		|		|
166	-----								
167	|		|		|		|		|
168	|		|		|		|		|
169	-----								
170	|		|		|		|		|
171	|		|		|		|		|
172	-----								
173	|		|		|		|		|
174	|		|		|		|		|
175	-----								
176	|		|		|		|		|
177	|		|		|		|		|
178	-----								
179	|		|		|		|		|
180	|		|		|		|		|
181	-----								
182	|		|		|		|		|
183	|		|		|		|		|
184	-----								
185	|		|		|		|		|
186	|		|		|		|		|
187	-----								
188	|		|		|		|		|
189	|		|		|		|		|
190	-----								
191	|		|		|		|		|
192	|		|		|		|		|
193	-----								
194	|		|		|		|		|
195	|		|		|		|		|
196	-----								
197	|		|		|		|		|
198	|		|		|		|		|
199	-----								
200	|		|		|		|		|
201	|		|		|		|		|
202	-----								
203	|		|		|		|		|
204	|		|		|		|		|
205	-----								
206	|		|		|		|		|
207	|		|		|		|		|
208	-----								
209	|		|		|		|		|
210	|		|		|		|		|
211	-----								
212	|		|		|		|		|
213	|		|		|		|		|
214	-----								
215	|		|		|		|		|
216	|		|		|		|		|
217	-----								
218	|		|		|		|		|
219	|		|		|		|		|
220	-----								
221	|		|		|		|		|
222	|		|		|		|		|
223	-----								
224	|		|		|		|		|
225	|		|		|		|		|
226	-----								

227	|		|		|		|		|
228	|		|		|		|		|
229	-----								
230	|		|		|		|		|
231	|		|		|		|		|
232	-----								
233	|		|		|		|		|
234	|		|		|		|		|
235	-----								
236	|		|		|		|		|
237	|		|		|		|		|
238	-----								
239	|		|		|		|		|
240	|		|		|		|		|
241	-----								
242	|		|		|		|		|
243	|		|		|		|		|
244	-----								
245	|		|		|		|		|
246	|		|		|		|		|
247	-----								
248	|		|		|		|		|
249	|		|		|		|		|
250	-----								
251	|		|		|		|		|
252	|		|		|		|		|
253	-----								
254	|		|		|		|		|
255	|		|		|		|		|
256	-----								
257	|		|		|		|		|
258	|		|		|		|		|
259	-----								
260	|		|		|		|		|
261	|		|		|		|		|
262	-----								
263	|		|		|		|		|
264	|		|		|		|		|
265	-----								
266	|		|		|		|		|
267	|		|		|		|		|
268	-----								
269	|		|		|		|		|
270	|		|		|		|		|
271	-----								
272	|		|		|		|		|
273	|		|		|		|		|
274	-----								
275	|		|		|		|		|
276	|		|		|		|		|
277	-----								
278	|		|		|		|		|
279	|		|		|		|		|
280	-----								
281	|		|		|		|		|
282	|		|		|		|		|
283	-----								
284	|		|		|		|		|
285	|		|		|		|		|
286	-----								
287	|		|		|		|		|
288	|		|		|		|		|
289	-----								
290	|		|		|		|		|
291	|		|		|		|		|
292	-----								
293	|		|		|		|		|
294	|		|		|		|		|
295	-----								
296	|		|		|		|		|
297	|		|		|		|		|
298	-----								
299	|		|		|		|		|
300	|		|		|		|		|
301	-----								
302	|		|		|		|		|
303	|		|		|		|		|

304							
305	|	|	|	|	|	|	|
306	|	|	|	|	|	|	|
307							
308	|	|	|	|	|	|	|
309	|	|	|	|	|	|	|
310							
311	|	|	|	|	|	|	|
312	|	|	|	|	|	|	|
313							
314	|	|	|	|	|	|	|
315	|	|	|	|	|	|	|
316							
317	|	|	|	|	|	|	|
318	|	|	|	|	|	|	|
319							
320	|	|	|	|	|	|	|
321	|	|	|	|	|	|	|
322							
323	|	|	|	|	|	|	|
324	|	|	|	|	|	|	|
325							
326	|	|	|	|	|	|	|
327	|	|	|	|	|	|	|
328							
329	|	|	|	|	|	|	|
330	|	|	|	|	|	|	|
331							
332	|	|	|	|	|	|	|
333	|	|	|	|	|	|	|
334							
335	|	|	|	|	|	|	|
336	|	|	|	|	|	|	|
337							
338	|	|	|	|	|	|	|
339	|	|	|	|	|	|	|
340							
341	|	|	|	|	|	|	|
342	|	|	|	|	|	|	|
343							
344	|	|	|	|	|	|	|
345	|	|	|	|	|	|	|
346							
347	|	|	|	|	|	|	|
348	|	|	|	|	|	|	|
349							
350	|	|	|	|	|	|	|
351	|	|	|	|	|	|	|
352							
353	|	|	|	|	|	|	|
354	|	|	|	|	|	|	|
355							
356	|	|	|	|	|	|	|
357	|	|	|	|	|	|	|
358							
359	|	|	|	|	|	|	|
360	|	|	|	|	|	|	|
361							
362	|	|	|	|	|	|	|
363	|	|	|	|	|	|	|
364							
365	|	|	|	|	|	|	|
366	|	|	|	|	|	|	|
367							
368	|	|	|	|	|	|	|
369	|	|	|	|	|	|	|
370							
371	|	|	|	|	|	|	|
372	|	|	|	|	|	|	|
373							
374	|	|	|	|	|	|	|
375	|	|	|	|	|	|	|
376							
377	|	|	|	|	|	|	|
378	|	|	|	|	|	|	|
379							
380	|	|	|	|	|	|	|

381	|	|	|	|	|	|	|
382							
383	|	|	|	|	|	|	|
384	|	|	|	|	|	|	|
385							
386	|	|	|	|	|	|	|
387	|	|	|	|	|	|	|
388							
389	|	|	|	|	|	|	|
390	|	|	|	|	|	|	|
391							
392	|	|	|	|	|	|	|
393	|	|	|	|	|	|	|
394							
395	|	|	|	|	|	|	|
396	|	|	|	|	|	|	|
397							
398	|	|	|	|	|	|	|
399	|	|	|	|	|	|	|
400							
401	|	|	|	|	|	|	|
402	|	|	|	|	|	|	|
403							
404	|	|	|	|	|	|	|
405	|	|	|	|	|	|	|
406							
407	|	|	|	|	|	|	|
408	|	|	|	|	|	|	|
409							
410	|	|	|	|	|	|	|
411	|	|	|	|	|	|	|
412							
413	|	|	|	|	|	|	|
414	|	|	|	|	|	|	|
415							
416	|	|	|	|	|	|	|
417	|	|	|	|	|	|	|
418							
419	|	|	|	|	|	|	|
420	|	|	|	|	|	|	|
421							
422	|	|	|	|	|	|	|
423	|	|	|	|	|	|	|
424							
425	|	|	|	|	|	|	|
426	|	|	|	|	|	|	|
427							
428	|	|	|	|	|	|	|
429	|	|	|	|	|	|	|
430							
431	|	|	|	|	|	|	|
432	|	|	|	|	|	|	|
433							
434	|	|	|	|	|	|	|
435	|	|	|	|	|	|	|
436							
437	|	|	|	|	|	|	|
438	|	|	|	|	|	|	|
439							
440	|	|	|	|	|	|	|
441	|	|	|	|	|	|	|
442							
443	|	|	|	|	|	|	|
444	|	|	|	|	|	|	|
445							
446	|	|	|	|	|	|	|
447	|	|	|	|	|	|	|
448							
449	|	|	|	|	|	|	|
450	|	|	|	|	|	|	|
451							
452	|	|	|	|	|	|	|
453	|	|	|	|	|	|	|
454							
455	|	|	|	|	|	|	|
456	|	|	|	|	|	|	|
457							

458	|		|		|		|		|
459	|		|		|		|		|
460	-----								
461	|		|		|		|		|
462	|		|		|		|		|
463	-----								
464	|		|		|		|		|
465	|		|		|		|		|
466	-----								
467	|		|		|		|		|
468	|		|		|		|		|
469	-----								
470	|		|		|		|		|
471	|		|		|		|		|
472	-----								
473	|		|		|		|		|
474	|		|		|		|		|
475	-----								
476	|		|		|		|		|
477	|		|		|		|		|
478	-----								
479	|		|		|		|		|
480	|		|		|		|		|
481	-----								
482	|		|		|		|		|
483	|		|		|		|		|
484	-----								
485	|		|		|		|		|
486	|		|		|		|		|
487	-----								
488	|		|		|		|		|
489	|		|		|		|		|
490	-----								
491	|		|		|		|		|
492	|		|		|		|		|
493	-----								
494	|		|		|		|		|
495	|		|		|		|		|
496	-----								
497	|		|		|		|		|
498	|		|		|		|		|
499	-----								
500	|		|		|		|		|
501	|		|		|		|		|
502	-----								
503	|		|		|		|		|
504	|		|		|		|		|
505	-----								
506	|		|		|		|		|
507	|		|		|		|		|
508	-----								
509	|		|		|		|		|
510	|		|		|		|		|
511	-----								
512	|		|		|		|		|
513	|		|		|		|		|
514	-----								
515	|		|		|		|		|
516	|		|		|		|		|
517	-----								
518	|		|		|		|		|
519	|		|		|		|		|
520	-----								
521	|		|		|		|		|
522	|		|		|		|		|
523	-----								
524	|		|		|		|		|
525	|		|		|		|		|
526	-----								
527	|		|		|		|		|
528	|		|		|		|		|
529	-----								
530	|		|		|		|		|
531	|		|		|		|		|
532	-----								
533	|		|		|		|		|
534	|		|		|		|		|

535	-----								
536	|		|		|		|		|
537	|		|		|		|		|
538	-----								
539	|		|		|		|		|
540	|		|		|		|		|
541	-----								
542	|		|		|		|		|
543	|		|		|		|		|
544	-----								
545	|		|		|		|		|
546	|		|		|		|		|
547	-----								
548	|		|		|		|		|
549	|		|		|		|		|
550	-----								
551	|		|		|		|		|
552	|		|		|		|		|
553	-----								
554	|		|		|		|		|
555	|		|		|		|		|
556	-----								
557	|		|		|		|		|
558	|		|		|		|		|
559	-----								
560	|		|		|		|		|
561	|		|		|		|		|
562	-----								
563	|		|		|		|		|
564	|		|		|		|		|
565	-----								
566	|		|		|		|		|
567	|		|		|		|		|
568	-----								
569	|		|		|		|		|
570	|		|		|		|		|
571	-----								
572	|		|		|		|		|
573	|		|		|		|		|
574	-----								
575	|		|		|		|		|
576	|		|		|		|		|
577	-----								
578	|		|		|		|		|
579	|		|		|		|		|
580	-----								
581	|		|		|		|		|
582	|		|		|		|		|
583	-----								
584	|		|		|		|		|
585	|		|		|		|		|
586	-----								
587	|		|		|		|		|
588	|		|		|		|		|
589	-----								
590	|		|		|		|		|
591	|		|		|		|		|
592	-----								
593	|		|		|		|		|
594	|		|		|		|		|
595	-----								
596	|		|		|		|		|
597	|		|		|		|		|
598	-----								
599	|		|		|		|		|
600	|		|		|		|		|
601	-----								
602	|		|		|		|		|
603	|		|		|		|		|
604	-----								
605	|		|		|		|		|
606	|		|		|		|		|
607	-----								
608	|		|		|		|		|
609	|		|		|		|		|
610	-----								
611	|		|		|		|		|

612	|		|		|		|		|
613	-----								
614	|		|		|		|		|
615	|		|		|		|		|
616	-----								
617	|		|		|		|		|
618	|		|		|		|		|
619	-----								
620	|		|		|		|		|
621	|		|		|		|		|
622	-----								
623	|		|		|		|		|
624	|		|		|		|		|
625	-----								
626	|		|		|		|		|
627	|		|		|		|		|
628	-----								
629	|		|		|		|		|
630	|		|		|		|		|
631	-----								
632	|		|		|		|		|
633	|		|		|		|		|
634	-----								
635	|		|		|		|		|
636	|		|		|		|		|
637	-----								
638	|		|		|		|		|
639	|		|		|		|		|
640	-----								
641	|		|		|		|		|
642	|		|		|		|		|
643	-----								
644	|		|		|		|		|
645	|		|		|		|		|
646	-----								
647	|		|		|		|		|
648	|		|		|		|		|
649	-----								
650	|		|		|		|		|
651	|		|		|		|		|
652	-----								
653	|		|		|		|		|
654	|		|		|		|		|
655	-----								
656	|		|		|		|		|
657	|		|		|		|		|
658	-----								
659	|		|		|		|		|
660	|		|		|		|		|
661	-----								
662	|		|		|		|		|
663	|		|		|		|		|
664	-----								
665	|		|		|		|		|
666	|		|		|		|		|
667	-----								
668	|		|		|		|		|
669	|		|		|		|		|
670	-----								
671	|		|		|		|		|
672	|		|		|		|		|
673	-----								
674	|		|		|		|		|
675	|		|		|		|		|
676	-----								
677	|		|		|		|		|
678	|		|		|		|		|
679	-----								
680	|		|		|		|		|
681	|		|		|		|		|
682	-----								
683	|		|		|		|		|
684	|		|		|		|		|
685	-----								
686	|		|		|		|		|
687	|		|		|		|		|
688	-----								

689	|		|		|		|		|
690	|		|		|		|		|
691	-----								
692	|		|		|		|		|
693	|		|		|		|		|
694	-----								
695	|		|		|		|		|
696	|		|		|		|		|
697	-----								
698	|		|		|		|		|
699	|		|		|		|		|
700	-----								
701	|		|		|		|		|
702	|		|		|		|		|
703	-----								
704	|		|		|		|		|
705	|		|		|		|		|
706	-----								
707	|		|		|		|		|
708	|		|		|		|		|
709	-----								
710	|		|		|		|		|
711	|		|		|		|		|
712	-----								
713	|		|		|		|		|
714	|		|		|		|		|
715	-----								
716	|		|		|		|		|
717	|		|		|		|		|
718	-----								
719	|		|		|		|		|
720	|		|		|		|		|
721	-----								
722	|		|		|		|		|
723	|		|		|		|		|
724	-----								
725	|		|		|		|		|
726	|		|		|		|		|
727	-----								
728	|		|		|		|		|
729	|		|		|		|		|
730	-----								
731	|		|		|		|		|
732	|		|		|		|		|
733	-----								
734	|		|		|		|		|
735	|		|		|		|		|
736	-----								
737	|		|		|		|		|
738	|		|		|		|		|
739	-----								
740	|		|		|		|		|
741	|		|		|		|		|
742	-----								
743	|		|		|		|		|
744	|		|		|		|		|
745	-----								
746	|		|		|		|		|
747	|		|		|		|		|
748	-----								
749	|		|		|		|		|
750	|		|		|		|		|
751	-----								
752	|		|		|		|		|
753	|		|		|		|		|
754	-----								
755	|		|		|		|		|
756	|		|		|		|		|
757	-----								
758	|		|		|		|		|
759	|		|		|		|		|
760	-----								
761	|		|		|		|		|
762	|		|		|		|		|
763	-----								
764	|		|		|		|		|
765	|		|		|		|		|

766							
767	|	|	|	|	|	|	|
768	|	|	|	|	|	|	|
769							
770	|	|	|	|	|	|	|
771	|	|	|	|	|	|	|
772							
773	|	|	|	|	|	|	|
774	|	|	|	|	|	|	|
775							
776	|	|	|	|	|	|	|
777	|	|	|	|	|	|	|
778							
779	|	|	|	|	|	|	|
780	|	|	|	|	|	|	|
781							
782	|	|	|	|	|	|	|
783	|	|	|	|	|	|	|
784							
785	|	|	|	|	|	|	|
786	|	|	|	|	|	|	|
787							
788	|	|	|	|	|	|	|
789	|	|	|	|	|	|	|
790							
791	|	|	|	|	|	|	|
792	|	|	|	|	|	|	|
793							
794	|	|	|	|	|	|	|
795	|	|	|	|	|	|	|
796							
797	|	|	|	|	|	|	|
798	|	|	|	|	|	|	|
799							
800	|	|	|	|	|	|	|
801	|	|	|	|	|	|	|
802							
803	|	|	|	|	|	|	|
804	|	|	|	|	|	|	|
805							
806	|	|	|	|	|	|	|
807	|	|	|	|	|	|	|
808							
809	|	|	|	|	|	|	|
810	|	|	|	|	|	|	|
811							
812	|	|	|	|	|	|	|
813	|	|	|	|	|	|	|
814							
815	|	|	|	|	|	|	|
816	|	|	|	|	|	|	|
817							
818	|	|	|	|	|	|	|
819	|	|	|	|	|	|	|
820							
821	|	|	|	|	|	|	|
822	|	|	|	|	|	|	|
823							
824	|	|	|	|	|	|	|
825	|	|	|	|	|	|	|
826							
827	|	|	|	|	|	|	|
828	|	|	|	|	|	|	|
829							
830	|	|	|	|	|	|	|
831	|	|	|	|	|	|	|
832							
833	|	|	|	|	|	|	|
834	|	|	|	|	|	|	|
835							
836	|	|	|	|	|	|	|
837	|	|	|	|	|	|	|
838							
839	|	|	|	|	|	|	|
840	|	|	|	|	|	|	|
841							
842	|	|	|	|	|	|	|

843	|	|	|	|	|	|	|
844							
845	|	|	|	|	|	|	|
846	|	|	|	|	|	|	|
847							
848	|	|	|	|	|	|	|
849	|	|	|	|	|	|	|
850							
851	|	|	|	|	|	|	|
852	|	|	|	|	|	|	|
853							
854	|	|	|	|	|	|	|
855	|	|	|	|	|	|	|
856							
857	|	|	|	|	|	|	|
858	|	|	|	|	|	|	|
859							
860	|	|	|	|	|	|	|
861	|	|	|	|	|	|	|
862							
863	|	|	|	|	|	|	|
864	|	|	|	|	|	|	|
865							
866	|	|	|	|	|	|	|
867	|	|	|	|	|	|	|
868							
869	|	|	|	|	|	|	|
870	|	|	|	|	|	|	|
871							
872	|	|	|	|	|	|	|
873	|	|	|	|	|	|	|
874							
875	|	|	|	|	|	|	|
876	|	|	|	|	|	|	|
877							
878	|	|	|	|	|	|	|
879	|	|	|	|	|	|	|
880							
881	|	|	|	|	|	|	|
882	|	|	|	|	|	|	|
883							
884	|	|	|	|	|	|	|
885	|	|	|	|	|	|	|
886							
887	|	|	|	|	|	|	|
888	|	|	|	|	|	|	|
889							
890	|	|	|	|	|	|	|
891	|	|	|	|	|	|	|
892							
893	|	|	|	|	|	|	|
894	|	|	|	|	|	|	|
895							
896	|	|	|	|	|	|	|
897	|	|	|	|	|	|	|
898							
899	|	|	|	|	|	|	|
900	|	|	|	|	|	|	|
901							
902	|	|	|	|	|	|	|
903	|	|	|	|	|	|	|
904							
905	|	|	|	|	|	|	|
906	|	|	|	|	|	|	|
907							
908	|	|	|	|	|	|	|
909	|	|	|	|	|	|	|
910							
911	|	|	|	|	|	|	|
912	|	|	|	|	|	|	|
913							
914	|	|	|	|	|	|	|
915	|	|	|	|	|	|	|
916							
917	|	|	|	|	|	|	|
918	|	|	|	|	|	|	|
919							

920	|	|	|	|	|	|	|
921	|	|	|	|	|	|	|
922	-----						
923	|	|	|	|	|	|	|
924	|	|	|	|	|	|	|
925	-----						
926	|	|	|	|	|	|	|
927	|	|	|	|	|	|	|
928	-----						
929	|	|	|	|	|	|	|
930	|	|	|	|	|	|	|
931	-----						
932	|	|	|	|	|	|	|
933	|	|	|	|	|	|	|
934	-----						
935	|	|	|	|	|	|	|
936	|	|	|	|	|	|	|
937	-----						
938	|	|	|	|	|	|	|
939	|	|	|	|	|	|	|
940	-----						
941	|	|	|	|	|	|	|
942	|	|	|	|	|	|	|
943	-----						
944	|	|	|	|	|	|	|
945	|	|	|	|	|	|	|
946	-----						
947	|	|	|	|	|	|	|
948	|	|	|	|	|	|	|
949	-----						
950	|	|	|	|	|	|	|
951	|	|	|	|	|	|	|
952	-----						
953	|	|	|	|	|	|	|
954	|	|	|	|	|	|	|
955	-----						
956	|	|	|	|	|	|	|
957	|	|	|	|	|	|	|
958	-----						
959	|	|	|	|	|	|	|
960	|	|	|	|	|	|	|
961	-----						
962	|	|	|	|	|	|	|
963	|	|	|	|	|	|	|
964	-----						
965	|	|	|	|	|	|	|
966	|	|	|	|	|	|	|
967	-----						
968	|	|	|	|	|	|	|
969	|	|	|	|	|	|	|
970	-----						
971	|	|	|	|	|	|	|
972	|	|	|	|	|	|	|
973	-----						
974	|	|	|	|	|	|	|
975	|	|	|	|	|	|	|
976	-----						
977	|	|	|	|	|	|	|
978	|	|	|	|	|	|	|
979	-----						
980	|	|	|	|	|	|	|
981	|	|	|	|	|	|	|
982	-----						
983	|	|	|	|	|	|	|
984	|	|	|	|	|	|	|
985	-----						
986	|	|	|	|	|	|	|
987	|	|	|	|	|	|	|
988	-----						
989	|	|	|	|	|	|	|
990	|	|	|	|	|	|	|
991	-----						
992	|	|	|	|	|	|	|
993	|	|	|	|	|	|	|
994	-----						
995	|	|	|	|	|	|	|
996	|	|	|	|	|	|	|

997	-----						
998	|	|	|	|	|	|	|
999	|	|	|	|	|	|	|
1000	-----						
1001	|	|	|	|	|	|	|
1002	|	|	|	|	|	|	|
1003	-----						
1004	|	|	|	|	|	|	|
1005	|	|	|	|	|	|	|
1006	-----						
1007	|	|	|	|	|	|	|
1008	|	|	|	|	|	|	|
1009	-----						
1010	|	|	|	|	|	|	|
1011	|	|	|	|	|	|	|
1012	-----						
1013	|	|	|	|	|	|	|
1014	|	|	|	|	|	|	|
1015	-----						
1016	|	|	|	|	|	|	|
1017	|	|	|	|	|	|	|
1018	-----						
1019	|	|	|	|	|	|	|
1020	|	|	|	|	|	|	|
1021	-----						
1022	|	|	|	|	|	|	|
1023	|	|	|	|	|	|	|
1024	-----						
1025	|	|	|	|	|	|	|
1026	|	|	|	|	|	|	|
1027	-----						
1028	|	|	|	|	|	|	|
1029	|	|	|	|	|	|	|
1030	-----						
1031	|	|	|	|	|	|	|
1032	|	|	|	|	|	|	|
1033	-----						
1034	|	|	|	|	|	|	|
1035	|	|	|	|	|	|	|
1036	-----						
1037	|	|	|	|	|	|	|
1038	|	|	|	|	|	|	|
1039	-----						
1040	|	|	|	|	|	|	|
1041	|	|	|	|	|	|	|
1042	-----						
1043	|	|	|	|	|	|	|
1044	|	|	|	|	|	|	|
1045	-----						
1046	|	|	|	|	|	|	|
1047	|	|	|	|	|	|	|
1048	-----						
1049	|	|	|	|	|	|	|
1050	|	|	|	|	|	|	|
1051	-----						
1052	|	|	|	|	|	|	|
1053	|	|	|	|	|	|	|
1054	-----						
1055	|	|	|	|	|	|	|
1056	|	|	|	|	|	|	|
1057	-----						
1058	|	|	|	|	|	|	|
1059	|	|	|	|	|	|	|
1060	-----						
1061	|	|	|	|	|	|	|
1062	|	|	|	|	|	|	|
1063	-----						
1064	|	|	|	|	|	|	|
1065	|	|	|	|	|	|	|
1066	-----						
1067	|	|	|	|	|	|	|
1068	|	|	|	|	|	|	|
1069	-----						
1070	|	|	|	|	|	|	|
1071	|	|	|	|	|	|	|
1072	-----						
1073	|	|	|	|	|	|	|

1074	|		|		|		|		|
1075	-----								
1076	|		|		|		|		|
1077	|		|		|		|		|
1078	-----								
1079	|		|		|		|		|
1080	|		|		|		|		|
1081	-----								
1082	|		|		|		|		|
1083	|		|		|		|		|
1084	-----								
1085	|		|		|		|		|
1086	|		|		|		|		|
1087	-----								
1088	|		|		|		|		|
1089	|		|		|		|		|
1090	-----								
1091	|		|		|		|		|
1092	|		|		|		|		|
1093	-----								
1094	|		|		|		|		|
1095	|		|		|		|		|
1096	-----								
1097	|		|		|		|		|
1098	|		|		|		|		|
1099	-----								
1100	|		|		|		|		|
1101	|		|		|		|		|
1102	-----								
1103	|		|		|		|		|
1104	|		|		|		|		|
1105	-----								
1106	|		|		|		|		|
1107	|		|		|		|		|
1108	-----								
1109	|		|		|		|		|
1110	|		|		|		|		|
1111	-----								
1112	|		|		|		|		|
1113	|		|		|		|		|
1114	-----								
1115	|		|		|		|		|
1116	|		|		|		|		|
1117	-----								
1118	|		|		|		|		|
1119	|		|		|		|		|
1120	-----								
1121	|		|		|		|		|
1122	|		|		|		|		|
1123	-----								
1124	|		|		|		|		|
1125	|		|		|		|		|
1126	-----								
1127	|		|		|		|		|
1128	|		|		|		|		|
1129	-----								
1130	|		|		|		|		|
1131	|		|		|		|		|
1132	-----								
1133	|		|		|		|		|
1134	|		|		|		|		|
1135	-----								
1136	|		|		|		|		|
1137	|		|		|		|		|
1138	-----								
1139	|		|		|		|		|
1140	|		|		|		|		|
1141	-----								
1142	|		|		|		|		|
1143	|		|		|		|		|
1144	-----								
1145	|		|		|		|		|
1146	|		|		|		|		|
1147	-----								
1148	|		|		|		|		|
1149	|		|		|		|		|
1150	-----								

1151	|		|		|		|		|
1152	|		|		|		|		|
1153	-----								
1154	|		|		|		|		|
1155	|		|		|		|		|
1156	-----								
1157	|		|		|		|		|
1158	|		|		|		|		|
1159	-----								
1160	|		|		|		|		|
1161	|		|		|		|		|
1162	-----								
1163	|		|		|		|		|
1164	|		|		|		|		|
1165	-----								
1166	|		|		|		|		|
1167	|		|		|		|		|
1168	-----								
1169	|		|		|		|		|
1170	|		|		|		|		|
1171	-----								
1172	|		|		|		|		|
1173	|		|		|		|		|
1174	-----								
1175	|		|		|		|		|
1176	|		|		|		|		|
1177	-----								
1178	|		|		|		|		|
1179	|		|		|		|		|
1180	-----								
1181	|		|		|		|		|
1182	|		|		|		|		|
1183	-----								
1184	|		|		|		|		|
1185	|		|		|		|		|
1186	-----								
1187	|		|		|		|		|
1188	|		|		|		|		|
1189	-----								
1190	|		|		|		|		|
1191	|		|		|		|		|
1192	-----								
1193	|		|		|		|		|
1194	|		|		|		|		|
1195	-----								
1196	|		|		|		|		|
1197	|		|		|		|		|
1198	-----								
1199	|		|		|		|		|
1200	|		|		|		|		|
1201	-----								
1202	|		|		|		|		|
1203	|		|		|		|		|
1204	-----								
1205	|		|		|		|		|
1206	|		|		|		|		|
1207	-----								
1208	|		|		|		|		|
1209	|		|		|		|		|
1210	-----								
1211	|		|		|		|		|
1212	|		|		|		|		|
1213	-----								
1214	|		|		|		|		|
1215	|		|		|		|		|
1216	-----								
1217	|		|		|		|		|
1218	|		|		|		|		|
1219	-----								
1220	|		|		|		|		|
1221	|		|		|		|		|
1222	-----								
1223	|		|		|		|		|
1224	|		|		|		|		|
1225	-----								
1226	|		|		|		|		|
1227	|		|		|		|		|

Jc11		FJCU	
1228		1305	
1229		1306	
1230		1307	
1231		1308	
1232		1309	
1233		1310	
1234		1311	
1235		1312	
1236		1313	
1237		1314	
1238		1315	
1239		1316	
1240		1317	
1241		1318	
1242		1319	
1243		1320	
1244		1321	
1245		1322	
1246		1323	
1247		1324	
1248		1325	
1249		1326	
1250		1327	
1251		1328	
1252		1329	
1253		1330	
1254		1331	
1255		1332	
1256		1333	
1257		1334	
1258		1335	
1259		1336	
1260		1337	
1261		1338	
1262		1339	
1263		1340	
1264		1341	
1265		1342	
1266		1343	
1267		1344	
1268		1345	
1269		1346	
1270		1347	
1271		1348	
1272		1349	
1273		1350	
1274		1351	
1275		1352	
1276		1353	
1277		1354	
1278		1355	
1279		1356	
1280		1357	
1281		1358	
1282		1359	
1283		1360	
1284		1361	
1285		1362	
1286		1363	
1287		1364	
1288		1365	
1289		1366	
1290		1367	
1291		1368	
1292		1369	
1293		1370	
1294		1371	
1295		1372	
1296		1373	
1297		1374	
1298		1375	
1299		1376	
1300		1377	
1301		1378	
1302		1379	
1303		1380	
1304		1381	

1459							
1460	|	|	|	|	|	|	|
1461	|	|	|	|	|	|	|
1462	-----						
1463	|	|	|	|	|	|	|
1464	|	|	|	|	|	|	|
1465	-----						
1466	|	|	|	|	|	|	|
1467	|	|	|	|	|	|	|
1468	-----						
1469	|	|	|	|	|	|	|
1470	|	|	|	|	|	|	|
1471	-----						
1472	|	|	|	|	|	|	|
1473	|	|	|	|	|	|	|
1474	-----						
1475	|	|	|	|	|	|	|
1476	|	|	|	|	|	|	|
1477	-----						
1478	|	|	|	|	|	|	|
1479	|	|	|	|	|	|	|
1480	-----						
1481	|	|	|	|	|	|	|
1482	|	|	|	|	|	|	|
1483	-----						
1484	|	|	|	|	|	|	|
1485	|	|	|	|	|	|	|
1486	-----						
1487	|	|	|	|	|	|	|
1488	|	|	|	|	|	|	|
1489	-----						
1490	|	|	|	|	|	|	|
1491	|	|	|	|	|	|	|
1492	-----						
1493	|	|	|	|	|	|	|
1494	|	|	|	|	|	|	|
1495	-----						
1496	|	|	|	|	|	|	|
1497	|	|	|	|	|	|	|
1498	-----						
1499	|	|	|	|	|	|	|
1500	|	|	|	|	|	|	|
1501	-----						
1502	|	|	|	|	|	|	|
1503	|	|	|	|	|	|	|
1504	-----						
1505	|	|	|	|	|	|	|
1506	|	|	|	|	|	|	|
1507	-----						
1508	|	|	|	|	|	|	|
1509	|	|	|	|	|	|	|
1510	-----						
1511	|	|	|	|	|	|	|
1512	|	|	|	|	|	|	|
1513	-----						
1514	|	|	|	|	|	|	|
1515	|	|	|	|	|	|	|
1516	-----						
1517	|	|	|	|	|	|	|
1518	|	|	|	|	|	|	|
1519	-----						
1520	|	|	|	|	|	|	|
1521	|	|	|	|	|	|	|
1522	-----						
1523	|	|	|	|	|	|	|
1524	|	|	|	|	|	|	|
1525	-----						
1526	|	|	|	|	|	|	|
1527	|	|	|	|	|	|	|
1528	-----						
1529	|	|	|	|	|	|	|
1530	|	|	|	|	|	|	|
1531	-----						
1532	|	|	|	|	|	|	|
1533	|	|	|	|	|	|	|
1534	-----						

12.1 slogan

Figure 1 displays a 20x20 grid of cells, representing the evolution of a pattern over 20 generations. The grid is divided into two 10x20 sections. The top section (rows 1-10) shows a pattern of black and red lines. The bottom section (rows 11-20) shows a pattern of black and red lines. The pattern evolves from a simple initial state to a complex, fractal-like structure. The grid is labeled with numbers 1 to 20 on the left side.