

泡泡猿 ACM 模板

Rand0w & REXWIND & Dallby

2021 年 11 月 18 日



目录

1	头文件	1
1.1	头文件 (Rand0w)	1
1.2	头文件 (REXWind)	3
1.3	头文件 (Dallby)	4
2	数学	5
2.1	欧拉筛	5
2.2	Exgcd	5
2.3	Excrt 扩展中国剩余定理	5
2.4	线性求逆元	6
2.5	多项式	6
2.5.1	FFT 快速傅里叶变换	6
2.5.2	NTT 快速数论变换	7
2.5.3	MTT 任意模数 FFT	7
2.5.4	FWT 快速沃尔什变换	8
2.6	组合数	9
2.7	矩阵快速幂	9
2.8	高斯消元	10
2.9	欧拉降幂	11
2.10	求质数的原根	11
3	图论	11
3.1	最大流 Dinic	11
3.2	费用流	12
3.3	二分图最大匹配	14
3.4	dijkstra	14
3.5	2-Sat	14
3.6	最大团	15
3.7	稳定婚姻	16
3.8	点双连通分量	16
3.9	强连通分量	17
3.10	最小树形图	18
3.11	KM	18
3.12	差分约束	19
3.13	一般图最大权匹配带花树 (hjt)	20
4	计算几何	21
4.1	三点求圆心	21
4.2	拉格朗日插值	22
5	数据结构	23
5.1	扫描线	23
5.2	并查集系列	25
5.2.1	普通并查集	25
5.2.2	按秩合并并查集	25
5.2.3	可持久化并查集	25
5.2.4	可撤销并查集	27
5.2.5	ETT 维护动态图连通性	27
5.3	平衡树系列	27
5.3.1	fhq_treap	27
5.3.2	替罪羊树	29
5.4	KD tree	32

6 字符串34

6.1 KMP34

6.2 AC 自动机34

6.3 FFT 解决字符串匹配问题36

6.4 字符串哈希37

6.4.1 快速取子串哈希值37

6.4.2 双哈希37

6.5 后缀数组 SA+LCP37

6.6 后缀自动机 SAM38

6.7 广义 SAM40

7 其他41

7.1 基础母函数求方案数41

7.2 ST 表求 RMQ41

7.3 CDQ 分治三维偏序42

7.4 三分43

7.5 数位 dp44

7.6 线性基44

7.7 莫队45

7.8 带修莫队46

8 STL 等小技巧47

8.1 集合 set47

8.2 快读快写 (短)47

8.3 GCD(压行)47

8.4 计时47

8.5 替换 unorderedset 的 hash 函数48

8.6 对拍48

8.6.1 linux&mac 版48

8.6.2 windows 版48

8.7 火车头49

1 头文件

1.1 头文件 (Rand0w)

```
1 #include <bits/stdc++.h>
2 // #include <bits/extc++.h>
3 // using namespace __gnu_pbds;
4 // using namespace __gnu_cxx;
5 using namespace std;
6 #pragma optimize(2)
7 // #pragma GCC optimize("Ofast,no-stack-protector")
8 // #pragma GCC target("sse,sse2,sse3,ssse3,sse4,popcnt,abm,mmx,avx,avx2,tune=native")
9 #define rbset(T) tree<T,null_type,less<T>,rb_tree_tag,tree_order_statistics_node_update>
10 const int inf = 0x7FFFFFFF;
11 typedef long long ll;
12 typedef double db;
13 typedef long double ld;
14 template<class T>inline void MAX(T &x,T y){if(y>x)x=y;}
15 template<class T>inline void MIN(T &x,T y){if(y<x)x=y;}
16 namespace FastIO
17 {
18 char buf[1 << 21], buf2[1 << 21], a[20], *p1 = buf, *p2 = buf, hh = '\n';
19 int p, p3 = -1;
20 void read() {}
21 void print() {}
22 inline int getc()
23 {
24 return p1 == p2 && (p2 = (p1 = buf) + fread(buf, 1, 1 << 21, stdin), p1 == p2) ? EOF : *p1++;
25 }
26 inline void flush()
27 {
28 fwrite(buf2, 1, p3 + 1, stdout), p3 = -1;
29 }
30 template <typename T, typename... T2>
31 inline void read(T &x, T2 &... oth)
32 {
33 int f = 0; x = 0; char ch = getc();
34 while (!isdigit(ch)){if (ch == '-')f = 1; ch = getc();}
35 while (isdigit(ch)){x = x * 10 + ch - 48; ch = getc();}
36 x = f ? -x : x; read(oth...);
37 }
38 template <typename T, typename... T2>
39 inline void print(T x, T2... oth)
40 {
41 if (p3 > 1 << 20) flush();
42 if (x < 0) buf2[++p3] = 45, x = -x;
43 do{a[++p] = x % 10 + 48;} while (x /= 10);
44 do{buf2[++p3] = a[p];} while (--p);
45 buf2[++p3] = hh;
46 print(oth...);
47 }
48 } // namespace FastIO
49 #define read FastIO::read
50 #define print FastIO::print
```

```
51 #define flush FastIO::flush
52 #define spt fixed<<setprecision
53 #define endl1 '\n'
54 #define mul(a,b,mod) ((__int128)(a)*(b)%(mod))
55 #define pii(a,b) pair<a,b>
56 #define pow powmod
57 #define X first
58 #define Y second
59 #define lowbit(x) (x&-x)
60 #define MP make_pair
61 #define pb push_back
62 #define pt putchar
63 #define yx_queue priority_queue
64 #define lson(pos) (pos<<1)
65 #define rson(pos) (pos<<1|1)
66 #define y1 code_by_Rand0w
67 #define yn A_muban_for_ACM
68 #define j1 it_is_just_an_eastegg
69 #define lr hope_you_will_be_happy_to_see_this
70 #define int long long
71 #define rep(i, a, n) for (register int i = a; i <= n; ++i)
72 #define per(i, a, n) for (register int i = n; i >= a; --i)
73 const ll llinf = 4223372036854775851;
74 const ll mod = (0 ? 1000000007 : 998244353);
75 ll pow(ll a,ll b,ll md=mod) {ll res=1;a%=md; assert(b>=0); for(;b>=>1){if(b&1)res=mul(res,a,md);a=mul(a,a,md);}return res;}
76 const ll mod2 = 999998639;
77 const int m1 = 998244353;
78 const int m2 = 1000001011;
79 const int pr=233;
80 const double eps = 1e-7;
81 const int maxm= 1;
82 const int maxn = 510000;
83 void work()
84 {
85 }
86 signed main()
87 {
88     #ifndef ONLINE_JUDGE
89         //freopen("in.txt","r",stdin);
90         //freopen("out.txt","w",stdout);
91     #endif
92     //std::ios::sync_with_stdio(false);
93     //cin.tie(NULL);
94     int t = 1;
95     //cin>>t;
96     for(int i=1;i<=t;i++){
97         //cout<<"Case #"<<i<<": "<<endl1;
98         work();
99     }
100     return 0;
101 }
```

1.2 头文件 (REXWind)

```
1  #include<iostream>
2  #include<cstring>
3  #include<cstdio>
4  #include<algorithm>
5  #include<vector>
6  #include<map>
7  #include<queue>
8  #include<cmath>
9  using namespace std;
10
11 template<class T>inline void read(T &x){
12     x=0;char o,f=1;
13     while(o=getchar(),o<48)if(o==45)f=-f;
14     do x=(x<<3)+(x<<1)+(o^48);while(o=getchar(),o>47);x*=f;}
15 int cancel_sync=(ios::sync_with_stdio(0),cin.tie(0),0);
16 #define ll long long
17 #define ull unsigned long long
18 #define rep(i,a,b) for(int i=(a);i<=(b);i++)
19 #define repb(i,a,b) for(int i=(a);i>=b;i--)
20 #define mkp make_pair
21 #define ft first
22 #define sd second
23 #define log(x) (31-__builtin_clz(x))
24 #define INF 0x3f3f3f3f
25 typedef pair<int,int> pii;
26 typedef pair<ll,ll> pll;
27 ll gcd(ll a,ll b){ while(b^=a^=b^=a%=b); return a; }
28 // #define INF 0x7fffffff
29
30 void solve(){
31
32 }
33
34 int main(){
35     int z;
36     cin>>z;
37     while(z--) solve();
38 }
```

1.3 头文件 (Dallby)

```
1 #include<bits/stdc++.h>
2 // #pragma GCC optimize(3)
3 #include<bits/stdc++.h>
4 using namespace std;
5 #define rep(i,x,y) for(int i=(x);i<=(y);++i)
6 #define dep(i,x,y) for(int i=(x);i>=(y);--i)
7 #define mst(a,x) memset(a,x,sizeof(a))
8 #define endl "\n"
9 #define fr first
10 #define sc second
11 #define debug cout<<"DEBUG\n";
12 #define OMG(a,n) rep(i,1,n) cout<<a[i]<<" "; cout<<endl;
13 #define OMG2(a,n,m) rep(i,1,n) {rep(i,1,m) cout<<a[i][j]<<" "; cout<<endl;}
14 template <typename Type> void RIP(Type x) {cout<<x<<endl;}template <typename Type, typename... Targs>void
    RIP(Type x, Targs... args) {cout<<x<<" ";RIP(args...);}
15 mt19937 rnd(chrono::high_resolution_clock::now().time_since_epoch().count());
16 typedef long long ll; typedef unsigned long long ull; typedef pair<int,ll>pil; typedef pair<int,int>pii;
    typedef pair<ll,ll>p11;
17 const int N=1e6+10; const double eps=1e-9;
18 const int inf=0x3f3f3f3f; const ll INF=0x3f3f3f3f3f3f3f3f;
19 const int mo=(1?998244353:1000000007); ll mul(ll a,ll b,ll m=mo){return a*b%m;} ll fpow(ll a,ll b,ll m=mo){
    ll ans=1; for(;b;a=mul(a,a,m),b>>=1)if(b&1)ans=mul(ans,a,m); return ans;}
20 inline ll read(){ll x=0,tag=1; char c=getchar();for(;;!isdigit(c);c=getchar())if(c=='-')tag=-1;for(;; isdigit(
    c);c=getchar())x=x*10+c-48;return x*tag;}
21 typedef double lf; const lf pi=acos(-1.0); lf readf(){lf x; if(scanf("%lf",&x)!=1)exit(0); return x;}
    template<typename T> T sqr(T x){return x*x;}
22 ll a[N],b[N];
23 void Solve(){
24
25 }
26 int main(){
27     //freopen("D:\\in.txt","r",stdin);
28     //freopen("D:\\out.txt","w",stdout);
29     //ios::sync_with_stdio(false); cin.tie(0); cout.tie(0);
30     int T=1; //T=read();
31     rep(kase,1,T){
32         Solve();
33     }
34     return 0;
35 }
```

2 数学

2.1 欧拉筛

$O(n)$ 筛素数

```
1 int primes[maxn+5],tail;
2 bool is_prime[maxn+5];
3 void euler(){
4     is_prime[1] = 1;
5     for (int i = 2; i < maxn; i++)
6     {
7         if (!is_prime[i])
8             primes[++tail]=i;
9         for (int j = 0; j < primes.size() && i * primes[j] < maxn; j++)
10        {
11            is_prime[i * primes[j]] = 1;
12            if ((i % primes[j]) == 0)
13                break;
14        }
15    }
16 }
```

2.2 Exgcd

求出 $ax + by = \gcd(a, b)$ 的一组可行解 $O(\log n)$

```
1 void Exgcd(ll a,ll b,ll &d,ll &x,ll &y){
2     if(!b){d=a;x=1;y=0;}
3     else{Exgcd(b,a%b,d,y,x);y-=x*(a/b);}
4 }
```

2.3 ExCRT 扩展中国剩余定理

求解同余方程组

$$\begin{cases} x \% b_1 \equiv a_1 \\ x \% b_2 \equiv a_2 \\ \vdots \\ x \% b_n \equiv a_n \end{cases}$$

```
1 int excrt(int a[],int b[],int n){
2     int lc=1;
3     for(int i=1;i<=n;i++){
4         lc=lcm(lc,a[i]);
5     }
6     for(int i=1;i<n;i++){
7         int p,q,g;
8         g=exgcd(a[i],a[i+1],p,q);
9         int k=(b[i+1]-b[i])/g;
10        q=-q;p*=k;q*=k;
11        b[i+1]=a[i]*p%lc+b[i];
12        b[i+1]%=lc;
13        a[i+1]=lcm(a[i],a[i+1]);
14    }
```



```
14     return (b[n]%lc+lc)%lc;
15 }
```

2.4 线性求逆元

```
1 void init(int p){
2     inv[1] = 1;
3     for(int i=2;i<=n;i++){
4         inv[i] = (ll)(p-p/i)*inv[p%i]%p;
5     }
6 }
```

2.5 多项式

2.5.1 FFT 快速傅里叶变换

```
1 const int SIZE=(1<<21)+5;
2 const double PI=acos(-1);
3 struct CP{
4     double x,y;
5     CP(double x=0,double y=0):x(x),y(y){}
6     CP operator +(const CP &A)const{return CP(x+A.x,y+A.y);}
7     CP operator -(const CP &A)const{return CP(x-A.x,y-A.y);}
8     CP operator *(const CP &A)const{return CP(x*A.x-y*A.y,x*A.y+y*A.x);}
9 };
10 int limit,rev[SIZE];
11 void DFT(CP *F,int op){
12     for(int i=0;i<limit;i++)if(i<rev[i])swap(F[i],F[rev[i]]);
13     for(int mid=1;mid<limit;mid<=1){
14         CP wn(cos(PI/mid),op*sin(PI/mid));
15         for(int len=mid<<1,k=0;k<limit;k+=len){
16             CP w(1,0);
17             for(int i=k;i<k+mid;i++){
18                 CP tmp=w*F[i+mid];
19                 F[i+mid]=F[i]-tmp;
20                 F[i]=F[i]+tmp;
21                 w=w*wn;
22             }
23         }
24     }
25     if(op== -1)for(int i=0;i<limit;i++)F[i].x/=limit;
26 }
27 void FFT(int n,int m,CP *F,CP *G){
28     for(limit=1;limit<=n+m;limit<=1);
29     for(int i=0;i<limit;i++)rev[i]=(rev[i>>1]>>1)|((i&1)?limit>>1:0);
30     DFT(F,1),DFT(G,1);
31     for(int i=0;i<limit;i++)F[i]=F[i]*G[i];
32     DFT(F,-1);
33 }
```

2.5.2 NTT 快速数论变换

```

1  const int SIZE=(1<<21)+5;
2  int limit,rev[SIZE];
3  void DFT(ll *f, int op) {
4      const ll G = 3;
5      for(int i=0; i<limit; ++i) if(i<rev[i]) swap(f[i],f[rev[i]]);
6      for(int len=2; len<=limit; len<<=1) {
7          ll w1=pow(pow(G,(mod-1)/len),~op?1:mod-2);
8          for(int l=0, hf=len>>1; l<limit; l+=len) {
9              ll w=1;
10             for(int i=l; i<l+hf; ++i) {
11                 ll tp=w*f[i+hf]%mod;
12                 f[i+hf]=(f[i]-tp+mod)%mod;
13                 f[i]=(f[i]+tp)%mod;
14                 w=w*w1%mod;
15             }
16         }
17     }
18     if(op== -1) for(int i=0, inv=pow(limit,mod-2); i<limit; ++i) f[i]=f[i]*inv%mod;
19 }
20 void NTT(int n,int m,int *F,int *G){
21     for(limit=1;limit<=n+m;limit<<=1);
22     for(int i=0;i<limit;i++)rev[i]=(rev[i>>1]>>1)|((i&1)?limit>>1:0);
23     DFT(F,1),DFT(G,1);
24     for(int i=0;i<limit;i++)F[i]=F[i]*G[i];
25     DFT(F,-1);
26 }

```

2.5.3 MTT 任意模数 FFT

FFT 版常数巨大，慎用。

```

1  struct MTT{
2      static const int N=1<<20;
3      struct cp{
4          long double a,b;
5          cp(){a=0,b=0;}
6          cp(const long double &a,const long double &b):a(a),b(b){}
7          cp operator+(const cp &t)const{return cp(a+t.a,b+t.b);}
8          cp operator-(const cp &t)const{return cp(a-t.a,b-t.b);}
9          cp operator*(const cp &t)const{return cp(a*t.a-b*t.b,a*t.b+b*t.a);}
10         cp conj()const{return cp(a,-b);}
11     };
12     cp wn(int n,int f){
13         static const long double pi=acos(-1.0);
14         return cp(cos(pi/n),f*sin(pi/n));
15     }
16     int g[N];
17     void dft(cp a[],int n,int f){
18         for(int i=0;i<n;i++)if(i>g[i])swap(a[i],a[g[i]]);
19         for(int i=1;i<n;i<<=1){
20             cp w=wn(i,f);
21             for(int j=0;j<n;j+=i<<1){
22                 cp e(1,0);

```

```

23         for(int k=0;k<i;e=e*w,k++){
24             cp x=a[j+k],y=a[j+k+i]*e;
25             a[j+k]=x+y,a[j+k+i]=x-y;
26         }
27     }
28 }
29 if(f==-1){
30     cp Inv(1.0/n,0);
31     for(int i=0;i<n;i++)a[i]=a[i]*Inv;
32 }
33 }
34 cp a[N],b[N],Aa[N],Ab[N],Ba[N],Bb[N];
35 vector<ll> conv_mod(const vector<ll> &u,const vector<ll> &v,ll mod){ // 任意模数fft
36     const int n=(int)u.size()-1,m=(int)v.size()-1,M=sqrt(mod)+1;
37     const int k=32-__builtin_clz(n+m+1),s=1<<k;
38     g[0]=0; for(int i=1;i<s;i++)g[i]=(g[i/2]/2)|(((i&1)<<(k-1)));
39     for(int i=0;i<s;i++){
40         a[i]=i<=n?cp(u[i]%mod%M,u[i]%mod/M):cp();
41         b[i]=i<=m?cp(v[i]%mod%M,v[i]%mod/M):cp();
42     }
43     dft(a,s,1); dft(b,s,1);
44     for(int i=0;i<s;i++){
45         int j=(s-i)%s;
46         cp t1=(a[i]+a[j].conj())*cp(0.5,0);
47         cp t2=(a[i]-a[j].conj())*cp(0,-0.5);
48         cp t3=(b[i]+b[j].conj())*cp(0.5,0);
49         cp t4=(b[i]-b[j].conj())*cp(0,-0.5);
50         Aa[i]=t1*t3,Ab[i]=t1*t4,Ba[i]=t2*t3,Bb[i]=t2*t4;
51     }
52     for(int i=0;i<s;i++){
53         a[i]=Aa[i]+Ab[i]*cp(0,1);
54         b[i]=Ba[i]+Bb[i]*cp(0,1);
55     }
56     dft(a,s,-1); dft(b,s,-1);
57     vector<ll> ans;
58     for(int i=0;i<n+m+1;i++){
59         ll t1=llround(a[i].a)%mod;
60         ll t2=llround(a[i].b)%mod;
61         ll t3=llround(b[i].a)%mod;
62         ll t4=llround(b[i].b)%mod;
63         ans.push_back((t1+(t2+t3)*M%mod+t4*M*M)%mod);
64     }
65     return ans;
66 }
67 }mtt;

```

2.5.4 FWT 快速沃尔什变换

计算

$$C_i = \sum_{j \oplus k = i}^n A_j \times B_k$$

\oplus 可以是与、或、异或

```

1 void FWT(ll *f, int op) {
2     for(int len=2; len<=up; len<=1) {
3         for(int l=0, hf=len>>1; l<up; l+=len) {
4             for(int i=l; i<l+hf; ++i) {
5                 ll x=f[i], y=f[i+hf];
6                 if(op>0) {
7                     if(op==1) f[i]=(x+y)%mod, f[i+hf]=(x-y+mod)%mod; //xor
8                     else if(op==2) f[i]=(x+y)%mod; //and
9                     else f[i+hf]=(x+y)%mod; //or
10                }
11                else {
12                    if(op==-1) f[i]=(x+y)*inv2%mod, f[i+hf]=(x-y+mod)*inv2%mod; //xor
13                    else if(op==-2) f[i]=(x-y+mod)%mod; //and
14                    else f[i+hf]=(y-x+mod)%mod; //or
15                }
16            }
17        }
18    }
19 }

```

2.6 组合数

预处理阶乘，并通过逆元实现相除

```

1 ll jc[MAXN];
2 ll qpow(ll d,ll c){//快速幂
3     ll res = 1;
4     while(c){
5         if(c&1) res=res*d%med;
6         d=d*d%med;c>>=1;
7     }return res;
8 }
9 inline ll niyuan(ll x){return qpow(x,med-2);}
10 void initjc(){//初始化阶乘
11     jc[0] = 1;
12     rep(i,1,MAXN-1) jc[i] = jc[i-1]*i%med;
13 }
14 inline int C(int n,int m){//n是下面的
15     if(n<m) return 0;
16     return jc[n]*niyuan(jc[n-m])%med*niyuan(jc[m])%med;
17 }
18 int main(){
19     initjc();
20     int n,m;
21     while(cin>>n>>m) cout<<C(n,m)<<endl;
22 }

```

2.7 矩阵快速幂

```

1 struct Matrix{
2     ll a[MAXN][MAXN];
3     Matrix(ll x=0){
4         for(int i=0;i<n;i++){

```

```
5         for(int j=0;j<n;j++){
6             a[i][j]=x*(i==j);
7         }
8     }
9 }
10 Matrix operator *(const Matrix &b)const{//通过重载运算符实现矩阵乘法
11     Matrix res(0);
12     for(int i=0;i<n;i++){
13         for(int j=0;j<n;j++){
14             for(int k=0;k<n;k++){
15                 ll &ma = res.a[i][j];
16                 ma = (ma+a[i][k]*b.a[k][j])%mod;
17             }
18         }
19     }
20     return res;
21 }
22 };
23 Matrix qpow(Matrix d,ll m){//底数和幂次数
24     Matrix res(1);//构造E单位矩阵
25     while(m){
26         if(m&1)
27             res=res*d;
28         d=d*d;
29         m>>=1;
30     }
31     return res;
32 }
```

2.8 高斯消元

$O(n^3)$ 复杂度，需要用 double 存储。

```
1 double date[110][110];
2 bool guass(int n){
3     for(int i=1;i<=n;i++){
4         int mix=-1;
5         for(int j=i;j<=n;j++){
6             if(date[j][i]!=0){
7                 mix=j;break;
8             }
9         }
10        if(mix==-1)
11            return false;
12        if(mix!=i)
13            swap(date[mix][j],date[i][j]);
14        double t=date[i][i];
15        for(int j=i;j<=n;j++){
16            date[i][j]=date[i][j]/t;
17        }
18        for(int j=1;j<=n;j++){
19            if(date[j][i]==0||j==i)
20                continue;
21            double g=date[j][i]/date[i][i];
22            for(int k=1;k<=n+1;k++)
```

```

23         date[j][k]-=date[i][k]*g;
24     }
25 }
26 return true;
27 }

```

2.9 欧拉降幂

$$a^b \equiv \begin{cases} a^{b \% \phi(p)}, & \gcd(a, p) = 1 \\ a^b, & \gcd(a, p) \neq 1, b < \phi(p) \pmod{p} \\ a^{b \% \phi(p) + \phi(p)}, & \gcd(a, p) \neq 1, b \geq \phi(p) \end{cases}$$

2.10 求质数的原根

模 m 乘法群中找到一个数 a ，以 a 为生成元造出来的群的大小为 $\phi(m)$ （对于指数 m 来说 $=m-1$ ），则 a 称为模数 m 的原根。

原根判定定理：

设 $m \geq 3, \gcd(a, m) = 1$ ，则 a 是模 m 的原根的充要条件是，对于 $\varphi(m)$ 的每个素因数 p ，都有 $a^{\frac{\varphi(m)}{p}} \not\equiv 1 \pmod{m}$ 。

```

1 vector<int> zyz;
2 inline ll get_yg(ll p){
3     zyz.clear();
4     ll tp = p-1;//phi(p)
5     int sqr = sqrt(tp+1);
6     rep(i,2,sqr){
7         if(tp%i==0)
8             zyz.push_back(i);
9         while(tp%i==0) tp/=i;
10    }
11    if(tp!=1) zyz.push_back(tp);
12    rep(i,2,p){
13        bool flag = 1;
14        for(auto x:zyz)
15            if(qpow(i,(p-1)/x,p)==1){flag = 0;break;}
16        if(flag) return i;
17    }
18    return -1;
19 }

```

3 图论

3.1 最大流 Dinic

编号从 0 开始可用，复杂度 $O(V^2E)$

```

1 struct FLOW{
2     struct edge{int to,w,nxt;};
3     vector<edge> a; int head[N],cur[N];
4     int n,s,t;
5     queue<int> q; bool inque[N];
6     int dep[N];
7     void ae(int x,int y,int w){ // add edge
8         a.push_back({y,w,head[x]});
9         head[x]=a.size()-1;

```

```

10 }
11 bool bfs(){ // get dep[]
12     fill(dep,dep+n,inf); dep[s]=0;
13     copy(head,head+n,cur);
14     q=queue<int>(); q.push(s);
15     while(!q.empty()){
16         int x=q.front(); q.pop(); inque[x]=0;
17         for(int i=head[x];i!=-1;i=a[i].nxt){
18             int p=a[i].to;
19             if(dep[p]>dep[x]+1 && a[i].w){
20                 dep[p]=dep[x]+1;
21                 if(inque[p]==0){
22                     inque[p]=1;
23                     q.push(p);
24                 }
25             }
26         }
27     }
28     return dep[t]!=inf;
29 }
30 int dfs(int x,int flow){ // extend
31     int now,ans=0;
32     if(x==t)return flow;
33     for(int &i=cur[x];i!=-1;i=a[i].nxt){
34         int p=a[i].to;
35         if(a[i].w && dep[p]==dep[x]+1)
36             if((now=dfs(p,min(flow,a[i].w)))){
37                 a[i].w-=now;
38                 a[i^1].w+=now;
39                 ans+=now,flow-=now;
40                 if(flow==0)break;
41             }
42     }
43     return ans;
44 }
45 void init(int _n){
46     n=_n+1; a.clear();
47     fill(head,head+n,-1);
48     fill(inque,inque+n,0);
49 }
50 int solve(int _s,int _t){ // return max flow
51     s=_s,t=_t;
52     int ans=0;
53     while(bfs())ans+=dfs(s,inf);
54     return ans;
55 }
56 }flow;
57 void add(int x,int y,int w){flow.ae(x,y,w),flow.ae(y,x,0);}
58 // 先flow.init(n), 再add添边, 最后flow.solve(s,t)

```

3.2 费用流

编号从 0 开始可用, 复杂度 $O(VE^2)$

```
1 struct FLOW{
```

```
2 struct edge{int to,w,cost,nxt;};
3 vector<edge> a; int head[N];
4 int n,s,t,totcost;
5 deque<int> q;
6 bool inque[N];
7 int dis[N];
8 struct{int to,e;}pre[N];
9 void ae(int x,int y,int w,int cost){
10     a.push_back((edge){y,w,cost,head[x]});
11     head[x]=a.size()-1;
12 }
13 bool spfa(){
14     fill(dis,dis+n,inf); dis[s]=0;
15     q.assign(1,s);
16     while(!q.empty()){
17         int x=q.front(); q.pop_front();
18         inque[x]=0;
19         for(int i=head[x];i!=-1;i=a[i].nxt){
20             int p=a[i].to;
21             if(dis[p]>dis[x]+a[i].cost && a[i].w){
22                 dis[p]=dis[x]+a[i].cost;
23                 pre[p]={x,i};
24                 if(inque[p]==0){
25                     inque[p]=1;
26                     if(!q.empty()
27                        && dis[q.front()]<=dis[p])
28                         q.push_back(p);
29                     else q.push_front(p);
30                 }
31             }
32         }
33     }
34     return dis[t]!=inf;
35 }
36 void init(int _n){
37     n=_n+1;
38     a.clear();
39     fill(head,head+n,-1);
40     fill(inque,inque+n,0);
41 }
42 int solve(int _s,int _t){ // 返回最大流，费用存totcost里
43     s=_s,t=_t;
44     int ans=0;
45     totcost=0;
46     while(spfa()){
47         int fl=inf;
48         for(int i=t;i!=s;i=pre[i].to)
49             fl=min(fl,a[pre[i].e].w);
50         for(int i=t;i!=s;i=pre[i].to){
51             a[pre[i].e].w-=fl;
52             a[pre[i].e^1].w+=fl;
53         }
54         totcost+=dis[t]*fl;
55         ans+=fl;
56     }
```



```
57     return ans;
58 }
59 }flow;
60 void add(int x,int y,int w,int cost){
61     flow.ae(x,y,w,cost),flow.ae(y,x,0,-cost);
62 }
63 // 先 flow.init(n), 再 add 添边, 最后 flow.solve(s,t)
```

3.3 二分图最大匹配

用最大流求解，一边连源点流量 1，一遍连汇点流量 1，连上匹配边流量 1，最大流即为最大匹配数
时间复杂度趋近 $O(n\log n)$

3.4 dijkstra

```
1 vector<pii> G[N];
2 int dis[N];
3 bool vis[N];
4 void dijkstra(int n,int pos){
5     rep(i,1,n) dis[i]=inf,vis[i]=0;
6     priority_queue<pii,vector<pii>,greater<pii>> pq;
7     pq.push({0,pos});
8     dis[pos]=0;
9     while(!pq.empty()){
10         pii top=pq.top(); pq.pop();
11         int u=top.sc,d=top.fr;
12         if(vis[u]) continue;
13         for(auto e:G[u]){
14             int v=e.fr;
15             if(dis[v]>d+e.sc) {
16                 dis[v]=d+e.sc;
17                 pq.push({dis[v],v});
18             }
19         }
20     }
21 }
```

3.5 2-Sat

```
1 //
2 struct TwoSat{
3     //适用于存在多个二选一抉择(互斥), 且不同编号抉择间存在互斥关系的问题
4     //考虑到不会撤回操作 复杂度O(N)
5     //编号从0开始
6     int n;
7     vector<int> G[2*N];
8     int S[2*N],c=0;
9     bool mark[2*N],ok;
10    void init(int n){
11        this->n=n,ok=1;
12        rep(i,0,n*2) mark[i]=0;
13        rep(i,0,n*2) G[i].clear();
14    }
```

```
15 bool dfs(int u){
16     if(mark[u^1]) return false;
17     if(mark[u]) return true;
18     S[++c]=u;
19     mark[u]=1;
20     for(auto v:G[u]){
21         if(!dfs(v)) return false;
22     }
23     return true;
24 }
25 //x,y代表抉择编号,val代表选0/1
26 void add(int x,int xval,int y,int yval){
27     x=x*2+xval,y=y*2+yval;
28     G[x^1].push_back(y);
29     G[y^1].push_back(x);
30 }
31 void solve(){
32     rep(i,0,n-1){
33         c=0;
34         if(!dfs(i*2)){
35             while(c) mark[S[c--]]=0;
36             if(!dfs(i*2+1)) ok=0;
37         }
38     }
39 }
40 }solver;
```

3.6 最大团

```
1 int mp[60][60];
2 int n;
3 int mx=0;//ans
4 vector<int> tmp;
5 bool check(int now){
6     bool f1=true;
7     for(int i=0;i<tmp.size();i++){
8         if(mp[tmp[i]][now]!=1||mp[now][tmp[i]]!=1){
9             f1=false ;
10            break;
11        }
12    }
13    return f1;
14 }
15 void dfs(int step){
16     if(step==n+1){
17         if(tmp.size()>mx){
18             mx=tmp.size();
19         }
20         return;
21     }
22     if(tmp.size()+n-step+1<=mx){
23         return;
24     }
25     if(check(step)){
```

```

26     tmp.push_back(step);
27     dfs(step+1);
28     tmp.pop_back();
29 }
30     dfs(step+1);
31 }

```

3.7 稳定婚姻

```

1 //构造一种匹配方式,使得不存在一组未被选中且双方好感更高的匹配
2 int B[N][N],G[N][N];//x对x的好感
3 vector<int> vec[N];
4 int pos[N],px[N],py[N],cur;
5 queue<int> que;
6 bool cmp(const int x,const int y){
7     return B[cur][x]>B[cur][y];
8 }
9 void stable_marriage(int n){
10     memset(pos,0,sizeof(pos));
11     memset(py,0,sizeof(py));
12     rep(i,1,n) vec[i].clear();
13     rep(i,1,n) rep(j,1,n) vec[i].push_back(j);
14     rep(i,1,n) {
15         cur=i;
16         sort(vec[i].begin(),vec[i].end(),cmp);
17     }
18     rep(i,1,n) que.push(i);
19     while(!que.empty()){
20         queue<int> tq;
21         while(!que.empty()){
22             int b=que.front(); que.pop();
23             int p=pos[b]++,g=vec[b][p];
24             if(!py[g]||G[g][b]>G[g][py[g]]){
25                 if(py[g]) tq.push(py[g]);
26                 py[g]=b,px[b]=g;
27             }
28             else tq.push(b);
29         }
30         que=tq;
31     }
32 }

```

3.8 点双连通分量

```

1 vector<int> G[N],bcc[N];
2 int pre[N]={0},low[N];
3 int cur,bcnt,bccno[N]; //!=0;
4 bool iscut[N];
5 stack<pii> S;
6 void dfs(int u,int fa){
7     low[u]=pre[u]=++cur;
8     int child=0;
9     for(auto v:G[u]){

```

```

10     if(v==fa) continue;
11     if(pre[v]&&pre[v]<pre[u]) {
12         //S.push({u,v});
13         low[u]=min(low[u],pre[v]);
14     }
15     else if(!pre[v]){
16         S.push({u,v});
17         child++;
18         dfs(v,u);
19         low[u]=min(low[u],low[v]);
20         if(low[v]>=pre[u]){
21             iscut[u]=1;
22             bcnt++; bcc[bcnt].clear();
23             while(1){
24                 pii x=S.top(); S.pop();
25                 if(bccno[x.fr]!=bcnt){
26                     bcc[bcnt].push_back(x.fr);
27                     bccno[x.fr]=bcnt;
28                 }
29                 if(bccno[x.sc]!=bcnt){
30                     bcc[bcnt].push_back(x.sc);
31                     bccno[x.sc]=bcnt;
32                 }
33                 if(x.fr==u&&x.sc==v) break;
34             }
35         }
36     }
37 }
38 if(fa==-1&&child==1) iscut[u]=0;

```

3.9 强连通分量

```

1 vector<int> G[N];
2 int sccno[N],dfn[N],low[N],scnt,tot;
3 stack<int> S;
4 void tarjan(int u){
5     dfn[u]=low[u]=++tot;
6     S.push(u);
7     for(auto v:G[u]){
8         if(sccno[v]) continue;
9         if(!dfn[v]){
10             tarjan(v);
11             low[u]=min(low[u],low[v]);
12         }
13         else low[u]=min(low[u],dfn[v]); //low[v] is also ok.
14     }
15     if(low[u]==dfn[u]){
16         scnt++;
17         int top=-1;
18         while(top!=u){
19             top=S.top(); S.pop();
20             sccno[top]=scnt;
21         }
22     }

```

23 }

3.10 最小树形图

```

1 struct Edge{int u,v,w,b;};
2 vector<Edge> eset,E;
3 int fa[N],minw[N],id[N],top[N];
4 ll solve(int n,int rt){
5     ll res=0;
6     while(1){
7         int cnt=0;
8         rep(i,1,n) minw[i]=inf,id[i]=top[i]=0;
9         for(auto &e:eset){
10             if(e.u!=e.v&&e.w<minw[e.v]){
11                 minw[e.v]=e.w;
12                 fa[e.v]=e.u;
13             }
14         }
15         minw[rt]=0;
16         rep(i,1,n){
17             if(minw[i]==inf) return -1;
18             res+=minw[i];
19             for(int u=i;!id[u]&&u!=rt;u=fa[u]){
20                 if(top[u]==i){
21                     id[u]=++cnt;
22                     for(int v=fa[u];v!=u;v=fa[v]){
23                         id[v]=cnt;
24                     }
25                     break;
26                 }
27                 else top[u]=i;
28             }
29         }
30         if(!cnt) return res;
31         rep(i,1,n) if(!id[i]) id[i]=++cnt;
32         for(auto &e:eset){
33             e.w-=minw[e.v];
34             e.u=id[e.u],e.v=id[e.v];
35         }
36         n=cnt;
37         rt=id[rt];

```

3.11 KM

```

1 int n;
2 ll G[N][N];
3 int px[N],py[N],vx[N],vy[N],pre[N];
4 ll lx[N],ly[N],slack[N],d;
5 queue<int> que;
6 void upd(int v){
7     int t;
8     while(v){
9         t=px[pre[v]];

```

```

10     py[v]=pre[v];
11     px[pre[v]]=v;
12     v=t;
13 }
14 }
15 void bfs(int x){
16     rep(i,1,n) vy[i]=vx[i]=0,slack[i]=inf;
17     while(!que.empty()) que.pop();
18     que.push(x);
19     while(1){
20         while(!que.empty()){
21             int u=que.front(); que.pop();
22             vx[u]=1;
23             rep(v,1,n) if(!vy[v]){
24                 if(lx[u]+ly[v]-G[u][v]<slack[v]){
25                     slack[v]=lx[u]+ly[v]-G[u][v];
26                     pre[v]=u;
27                     if(!slack[v]){
28                         vy[v]=1;
29                         if(!py[v]) {upd(v); return;}
30                         else que.push(py[v]);
31                     }
32                 }
33             }
34         }
35         d=inf;
36         rep(i,1,n) if(slack[i]) d=min(d,slack[i]);
37         rep(i,1,n) {
38             if(vx[i]) lx[i]-=d;
39             if(vy[i]) ly[i]+=d;
40             else slack[i]-=d;
41         }
42         rep(i,1,n){
43             if(!vy[i]&&!slack[i]) {
44                 vy[i]=1;
45                 if(!py[i]) {upd(i); return;}
46                 else que.push(py[i]);
47             }
48         }
49     }
50 }
51 ll KM(){
52     ll res=0;
53     fill(lx+1,lx+n+1,-inf); memset(ly,0,sizeof(ly));
54     memset(px,0,sizeof(px)); memset(py,0,sizeof(py));
55     memset(pre,0,sizeof(pre));
56     rep(i,1,n) rep(j,1,n) lx[i]=max(lx[i],G[i][j]);
57     rep(i,1,n) bfs(i);
58     rep(i,1,n) res+=G[i][px[i]];
59     return res;
60 }

```

3.12 差分约束

```

1 //介绍WIP
2 vector<pair<int,ll>> G[N];
3 bool inque[N];
4 int incnt[N];
5 ll dis[N];
6 bool bellman_ford(ll x){
7     queue<int> que;
8     rep(i,1,n) {
9         dis[i]=0,inque[i]=1,incnt[i]=0;
10        que.push(i);
11    }
12    while(!que.empty()){
13        int u=que.front(); que.pop();
14        inque[u]=0;
15        for(auto e:G[u]){
16            int v=e.fr;
17            //cout<<dis[u]<<" "<<e.sc<<" "<<dis[v]<<endl;
18            if(dis[u]+e.sc<dis[v]){
19                dis[v]=dis[u]+e.sc;
20                if(!inque[v]){
21                    inque[v]=1;
22                    que.push(v);
23                    if(++incnt[v]>n) return true;
24                }
25            }
26        }
27    }
28    return false;
29 }

```

3.13 一般图最大权匹配带花树 (hjt)

```

1 int n;
2 vector<int> G[N];
3 struct DSU { // join: d[x] = d[y], query: d[x] == d[y]
4     int a[N];
5     void init(int n) { iota(a, a + n + 1, 0); }
6     int fa(int x) { return a[x] == x ? x : a[x] = fa(a[x]); }
7     int &operator[](int x) { return a[fa(x)]; }
8 } d;
9 deque<int> q;
10 int mch[N],vis[N],dfn[N],fa[N],dcnt=0;
11 int lca(int x,int y){
12     dcnt++;
13     while(1){
14         if(x==0)swap(x,y); x=d[x];
15         if(dfn[x]==dcnt)return x;
16         else dfn[x]=dcnt,x=fa[mch[x]];
17     }
18 }
19 void shrink(int x,int y,int p){
20     while(d[x]!=p){
21         fa[x]=y; y=mch[x];

```

```
22     if(vis[y]==2)vis[y]=1,q.push_back(y);
23     if(d[x]==x)d[x]=p;
24     if(d[y]==y)d[y]=p;
25     x=fa[y];
26 }
27 }
28 bool match(int s){
29     d.init(n); fill(fa,fa+n+1,0);
30     fill(vis,vis+n+1,0); vis[s]=1;
31     q.assign(1,s);
32     while(!q.empty()){
33         int x=q.front(); q.pop_front();
34         for(auto p:G[x]){
35             if(d[x]==d[p] || vis[p]==2)continue;
36             if(!vis[p]){
37                 vis[p]=2; fa[p]=x;
38                 if(!mch[p]){
39                     for(int now=p,last,tmp;now;now=last){
40                         last=mch[tmp=fa[now]];
41                         mch[now]=tmp,mch[tmp]=now;
42                     }
43                     return 1;
44                 }
45                 vis[mch[p]]=1; q.push_back(mch[p]);
46             }
47             else if(vis[p]==1){
48                 int l=lca(x,p);
49                 shrink(x,p,l);
50                 shrink(p,x,l);
51             }
52         }
53     }
54     return 0;
55 }
```

4 计算几何

4.1 三点求圆心

```
1 struct point{
2     double x;
3     double y;
4 };
5
6 point cal(point a,point b,point c){
7     double x1 = a.x;double y1 = a.y;
8     double x2 = b.x;double y2 = b.y;
9     double x3 = c.x; double y3 = c.y;
10    double a1 = 2*(x2-x1); double a2 = 2*(x3-x2);
11    double b1 = 2*(y2-y1); double b2 = 2*(y3-y2);
12    double c1 = x2*x2 + y2*y2 - x1*x1 - y1*y1;
13    double c2 = x3*x3 + y3*y3 - x2*x2 - y2*y2;
14    double rx = (c1*b2-c2*b1)/(a1*b2-a2*b1);
```



```

15     double ry = (c2*a1-c1*a2)/(a1*b2-a2*b1);
16     return point{rx,ry};
17 }

```

4.2 拉格朗日插值

```

1 namespace polysum {
2 #define rep(i,a,n) for (int i=a;i<n;i++)
3 #define per(i,a,n) for (int i=n-1;i>=a;i--)
4 const int D = 1010000; ///可能需要用到的最高次
5 LL a[D], f[D], g[D], p[D], p1[D], p2[D], b[D], h[D][2], C[D];
6 LL powmod(LL a, LL b) {
7     LL res = 1;
8     a %= mod;
9     assert(b >= 0);
10
11     for (; b >= 1) {
12         if (b & 1)
13             res = res * a % mod;
14
15         a = a * a % mod;
16     }
17
18     return res;
19 }
20
21 ///函数用途: 给出数列的 (d+1) 项, 其中d为最高次方项
22 ///求出数列的第n项, 数组下标从0开始
23 LL calcn(int d, LL *a, LL n) { /// a[0].. a[d] a[n]
24     if (n <= d)
25         return a[n];
26
27     p1[0] = p2[0] = 1;
28     rep(i, 0, d + 1) {
29         LL t = (n - i + mod) % mod;
30         p1[i + 1] = p1[i] * t % mod;
31     }
32     rep(i, 0, d + 1) {
33         LL t = (n - d + i + mod) % mod;
34         p2[i + 1] = p2[i] * t % mod;
35     }
36     LL ans = 0;
37     rep(i, 0, d + 1) {
38         LL t = g[i] * g[d - i] % mod * p1[i] % mod * p2[d - i] % mod * a[i] % mod;
39
40         if ((d - i) & 1)
41             ans = (ans - t + mod) % mod;
42         else
43             ans = (ans + t) % mod;
44     }
45     return ans;
46 }
47 void init(int M) {///用到的最高次
48     f[0] = f[1] = g[0] = g[1] = 1;

```

```

49     rep(i, 2, M + 5) f[i] = f[i - 1] * i % mod;
50     g[M + 4] = powmod(f[M + 4], mod - 2);
51     per(i, 1, M + 4) g[i] = g[i + 1] * (i + 1) % mod; ///费马小定理筛逆元
52 }
53
54 ///函数用途: 给出数列的 (m+1) 项, 其中m为最高次方
55 ///求出数列的前 (n-1) 项的和 (从第0项开始)
56 LL polysum(LL m, LL *a, LL n) { /// a[0].. a[m] \sum_{i=0}^{n-1} a[i]
57     for (int i = 0; i <= m; i++)
58         b[i] = a[i];
59
60     ///前n项和, 其最高次幂加1
61     b[m + 1] = calcn(m, b, m + 1);
62     rep(i, 1, m + 2) b[i] = (b[i - 1] + b[i]) % mod;
63     return calcn(m + 1, b, n - 1);
64 }
65 LL qpolysum(LL R, LL n, LL *a, LL m) { /// a[0].. a[m] \sum_{i=0}^{n-1} a[i]*R^i
66     if (R == 1)
67         return polysum(n, a, m);
68
69     a[m + 1] = calcn(m, a, m + 1);
70     LL r = powmod(R, mod - 2), p3 = 0, p4 = 0, c, ans;
71     h[0][0] = 0;
72     h[0][1] = 1;
73     rep(i, 1, m + 2) {
74         h[i][0] = (h[i - 1][0] + a[i - 1]) * r % mod;
75         h[i][1] = h[i - 1][1] * r % mod;
76     }
77     rep(i, 0, m + 2) {
78         LL t = g[i] * g[m + 1 - i] % mod;
79
80         if (i & 1)
81             p3 = ((p3 - h[i][0] * t) % mod + mod) % mod, p4 = ((p4 - h[i][1] * t) % mod + mod) % mod;
82         else
83             p3 = (p3 + h[i][0] * t) % mod, p4 = (p4 + h[i][1] * t) % mod;
84     }
85     c = powmod(p4, mod - 2) * (mod - p3) % mod;
86     rep(i, 0, m + 2) h[i][0] = (h[i][0] + h[i][1] * c) % mod;
87     rep(i, 0, m + 2) C[i] = h[i][0];
88     ans = (calcn(m, C, n) * powmod(R, n) - c) % mod;
89
90     if (ans < 0)
91         ans += mod;
92
93     return ans;
94 }
95 }

```

5 数据结构

5.1 扫描线

扫描线是离散化后, 使用类似权值线段树来维护每个截面上的线段长度。

通过把二维平面上的四边形拆分成入边和出边两段, 在遇到边的时候对对应的区间进行区间加/减即可。

每个节点上需要维护被完全覆盖的次数和实际长度。

```

1  #define ls (x<<1)
2  #define rs (x<<1|1)//这种方法感觉还挺好的
3
4  int cancel_sync=(ios::sync_with_stdio(0),cin.tie(0),0);
5  const int MAXN = 2e5+5;//这里要开n的两倍
6  //线段树
7  struct Line{
8      ll l,r,h;
9      int qz;//记录位置和权值
10     bool operator < (Line &rhs){
11         return h < rhs.h;
12     }
13 }line[MAXN];
14 int n;
15 ll x1,y1,x2,y2;
16 ll X[MAXN];
17 //线段树
18 struct Segt{
19     int l,r;//是X的下标,即离散化后的
20     int sum;//sum是被完全覆盖的次数
21     ll len;//len是区间内被盖住的长度
22     //因为每次查询都是查询根节点,所以这边不需要懒惰标记
23 }t[MAXN<<3];//一个边有两个点,所以这里要开8倍
24 void build(int x,int l,int r){
25     t[x].l = l;t[x].r = r;
26     t[x].len = t[x].sum = 0;
27     if(l==r) return;//到了叶子节点
28     int mid = (l+r)>>1;
29     build(ls,l,mid);
30     build(rs,mid+1,r);
31 }
32 void push_up(int x){
33     int l = t[x].l,r = t[x].r;
34     if(t[x].sum) t[x].len = X[r+1]-X[l];//x的区间是X[l]到X[r+1]-1
35     else t[x].len = t[ls].len + t[rs].len;//合并儿子的信息
36 }
37 void update(int x,int L,int R,int v){//这里的LR存的是实际值
38     //这里如果是线段L,R,线段树上是L到R-1的部分维护
39     int l = t[x].l,r = t[x].r;
40     if(X[r+1]<=L||R<=X[l]) return;//加等于,不然会搞到无辜的线
41     if(L<=X[l]&&X[r+1]<=R){
42         t[x].sum += v;//修改覆盖次数
43         push_up(x);
44         return;
45     }
46     update(ls,L,R,v);
47     update(rs,L,R,v);
48     push_up(x);
49 }
50 int main(){
51     cin>>n;
52     rep(i,1,n){
53         cin>>x1>>y1>>x2>>y2;

```

```

54     X[2*i-1] = x1,X[2*i] = x2;//一会儿离散化要用的,这里存实际值
55     line[2*i-1] = Line{x1,x2,y1,1};//开始的线
56     line[2*i] = Line{x1,x2,y2,-1};//结束的线
57 }
58 n<<=1;//line的数量是四边形数量的2倍
59 sort(line+1,line+1+n);
60 sort(X+1,X+1+n);
61 int tot = unique(X+1,X+n+1)-(X+1);//去除重复相邻元素,并且tot记录总数
62 build(1,1,tot-1);//为什么是tot-1?
63 //因为线段树只需要维护X[1]到X[tot]-1这一段的,实际长度是向右贴的
64 ll res = 0;
65 rep(i,1,n-1){//每次高度是line[i+1].h-line[i].h,所以是到n-1就行
66     update(1,line[i].l,line[i].r,line[i].qz);//扫描线加入线段树
67     res += t[1].len*(line[i+1].h-line[i].h);
68 }
69 cout<<res<<endl;
70 }

```

5.2 并查集系列

5.2.1 普通并查集

带路径压缩, $O(1)$ 复杂度

```

1 int fa[maxn];
2 int find(int x){if(fa[x]^x)return fa[x]=find(fa[x]);return x;}
3 void merge(int a,int b){fa[find(a)]=find(b);}

```

5.2.2 按秩合并并查集

```

1 int fa[maxn];
2 int dep[maxn];
3 int find(int x){int now=x; while(fa[now]^now)now=fa[now];return now;}
4 void merge(int a,int b){
5     int l=find(a),r=find(b);
6     if(l==r) return;
7     if(dep[l]>dep[r])swap(l,r);
8     fa[l]=r;
9     dep[r]+=dep[l]==dep[r];
10 }

```

5.2.3 可持久化并查集

```

1 struct chair_man_tree{
2     struct node{
3         int lson,rson;
4     }tree[maxn<<5];
5     int tail=0;
6     int tail2=0;
7     int fa[maxn<<2];
8     int depth[maxn<<2];
9     inline int getnew(int pos){
10         tree[++tail]=tree[pos];

```

```
11     return tail;
12 }
13 int build(int l,int r){
14
15     if(l==r){
16         fa[++tail2]=1;
17         depth[tail2]=1;
18         return tail2;
19     }
20     int now=tail++;
21     int mid=(l+r)>>1;
22     tree[now].lson=build(l,mid);
23     tree[now].rson=build(mid+1,r);
24     return now;
25 }
26 int query(int pos,int l,int r,int qr){
27     if(l==r)
28         return pos;
29     int mid=(l+r)>>1;
30     if(qr<=mid)
31         return query(tree[pos].lson,l,mid,qr);
32     else return query(tree[pos].rson,mid+1,r,qr);
33 }
34 int update(int pos,int l,int r,int qr,int val){
35     if(l==r){
36         depth[++tail2]=depth[pos];
37         fa[tail2]=val;
38         return tail2;
39     }
40     int now=getnew(pos);
41     int mid=(l+r)>>1;
42     if(mid>=qr)
43         tree[now].lson=update(tree[now].lson,l,mid,qr,val);
44     else tree[now].rson=update(tree[now].rson,mid+1,r,qr,val);
45     return now;
46 }
47 int add(int pos,int l,int r,int qr){
48     if(l==r){
49         depth[++tail2]=depth[pos]+1;
50         fa[tail2]=fa[pos];
51         return tail2;
52     }
53     int now=getnew(pos);
54     int mid=(l+r)>>1;
55     if(mid>=qr)
56         tree[now].lson=add(tree[now].lson,l,mid,qr);
57     else tree[now].rson=add(tree[now].rson,mid+1,r,qr);
58     return now;
59 }
60 int getfa(int root,int qr){
61     int t=fa[query(root,1,n,qr)];
62     if(qr==t)
63         return qr;
64     else return getfa(root,t);
65 }
```

```
66 }t;
```

5.2.4 可撤销并查集

```
1 struct DSU{
2     int *rnk,*f,top;
3     pii *stk;
4     DSU(int n=N){
5         rnk=new int[n],f=new int[n];
6         stk=new pii[n];
7     }
8     void init(int n){
9         rep(i,1,n) rnk[i]=0,f[i]=i;
10        top=0;
11    }
12    int getf(int u){return f[u]==u?u:getf(f[u]);}
13    void unite(int u,int v){
14        u=getf(u),v=getf(v);
15        if(u==v) return;
16        if(rnk[u]>rnk[v]){
17            stk[++top]={v,rnk[v]};
18            f[v]=u;
19        }
20        else{
21            stk[++top]={u,rnk[u]};
22            f[u]=v;
23            if(rnk[u]==rnk[v]) rnk[v]++;
24        }
25    }
26    void undo(int pos){
27        while(top>pos){
28            int u=stk[top].fr,r=stk[top].sc;
29            f[u]=u,rnk[u]=r;
30            --top;
31        }
32    }
33 }dsu;
```

5.2.5 ETT 维护动态图连通性

待补

5.3 平衡树系列

5.3.1 fhq_treap

无旋 treap, 可持久化, 常数大

```
1 mt19937 rnd(514114);
2 struct fhq_treap{
3     struct node{
4         int l, r;
5         int val, key;
6         int size;
```

```
7   } fhq[maxn];
8   int cnt, root;
9   inline int newnode(int val){
10      fhq[++cnt].val = val;
11      fhq[cnt].key = rnd();
12      fhq[cnt].size = 1;
13      fhq[cnt].l = fhq[cnt].r = 0;
14      return cnt;
15  }
16  inline void pushup(int now){
17      fhq[now].size = fhq[fhq[now].l].size + fhq[fhq[now].r].size + 1;
18  }
19  void split(int now, int val, int &x, int &y){
20      if (!now){
21          x = y = 0;
22          return;
23      }
24      else if (fhq[now].val <= val){
25          x = now;
26          split(fhq[now].r, val, fhq[now].r, y);
27      }
28      else{
29          y = now;
30          split(fhq[now].l, val, x, fhq[now].l);
31      }
32      pushup(now);
33  }
34  int merge(int x, int y){
35      if (!x || !y)
36          return x + y;
37      if (fhq[x].key > fhq[y].key){
38          fhq[x].r = merge(fhq[x].r, y);
39          pushup(x);
40          return x;
41      }else{
42          fhq[y].l = merge(x, fhq[y].l);
43          pushup(y);
44          return y;
45      }
46  }
47  inline void insert(int val){
48      int x, y;
49      split(root, val, x, y);
50      root = merge(merge(x, newnode(val)), y);
51  }
52  inline void del(int val){
53      int x, y, z;
54      split(root, val - 1, x, y);
55      split(y, val, y, z);
56      y = merge(fhq[y].l, fhq[y].r);
57      root = merge(merge(x, y), z);
58  }
59  inline int getrk(int num){
60      int x, y;
61      split(root, num - 1, x, y);
```

```

62     int ans = fhq[x].size + 1;
63     root = merge(x, y);
64     return ans;
65 }
66 inline int getnum(int rank){
67     int now=root;
68     while(now)
69     {
70         if(fhq[fhq[now].l].size+1==rank)
71             break;
72         else if(fhq[fhq[now].l].size>=rank)
73             now=fhq[now].l;
74         else{
75             rank-=fhq[fhq[now].l].size+1;
76             now=fhq[now].r;
77         }
78     }
79     return fhq[now].val;
80 }
81 inline int pre(int val){
82     int x, y, ans;
83     split(root, val - 1, x, y);
84     int t = x;
85     while (fhq[t].r)
86         t = fhq[t].r;
87     ans = fhq[t].val;
88     root = merge(x, y);
89     return ans;
90 }
91 inline int aft(int val){
92     int x, y, ans;
93     split(root, val, x, y);
94     int t = y;
95     while (fhq[t].l)
96         t = fhq[t].l;
97     ans = fhq[t].val;
98     root = merge(x, y);
99     return ans;
100 }
101 } tree;

```

5.3.2 替罪羊树

```

1 struct node
2 {
3     int l, r, val;
4     int size, fact;
5     bool exsit;
6 };
7 class tzy_tree
8 {
9 public:
10     double alpha=0.75;
11     node tzy[1100000];

```



```

12  int root=0,cnt=0;
13  vector<int> tt;
14  inline void newnode(int &now,int v){
15      now=++cnt;
16      tzy[now].val=v;
17      tzy[now].l=tzy[now].r=0;
18      tzy[now].size=tzy[now].fact=tzy[now].exsit=1;
19  }
20  inline bool imbalanced(int now){
21      if(max(tzy[tzy[now].l].size,tzy[tzy[now].r].size)>tzy[now].size*alpha||tzy[now].size-tzy[now].fact>tzy
        [now].size*0.3)
22          return true;
23      return false;
24  }
25  void zhongxu(int now){
26      if(!now)
27          return;
28      zhongxu(tzy[now].l);
29      if(tzy[now].exsit)
30          tt.push_back(now);
31      zhongxu(tzy[now].r);
32  }
33  void lift(int l,int r,int &now){
34      if(l==r){
35          now=tt[l];
36          tzy[now].l=tzy[now].r=0;
37          tzy[now].fact=tzy[now].size=1;
38          return;
39      }
40      int m=(l+r)>>1;
41      while(l<m&&tt[m].val==tzy[tt[m-1]].val)
42          m--;
43      now=tt[m];
44      if(l<m) lift(l,m-1,tzy[now].l);
45      else tzy[now].l=0;
46      lift(m+1,r,tzy[now].r);
47      tzy[now].size=tzy[tzy[now].l].size+tzy[tzy[now].r].size+1;
48      tzy[now].fact=tzy[tzy[now].l].fact+tzy[tzy[now].r].fact+1;
49  }
50  void rebuild(int &now){
51      tt.clear();
52      zhongxu(now);
53      if(tt.empty()){
54          now=0;
55          return;
56      }
57      lift(0,tt.size()-1,now);
58  }
59  void update(int now,int end){
60      if(!now)return;
61      if(tzy[end].val<tzy[now].val)
62          update(tzy[now].l,end);
63      else update(tzy[now].r,end);
64      tzy[now].size=tzy[tzy[now].l].size+tzy[tzy[now].r].size+1;
65  }

```

```
66 void check(int &now,int end){
67     if(now==end)
68         return;
69     if(imbalanced(now)){
70         rebuild(now);
71         update(root,now);
72         return;
73     }
74     if(tzy[end].val<tzy[now].val)
75         check(tzy[now].l,end);
76     else
77         check(tzy[now].r,end);
78 }
79 inline void init(){
80     root=1;
81     cnt=0;
82 }
83 void insert(int &now,int val){
84
85     if(!now){
86         newnode(now,val);
87         check(root,now);
88         return;
89     }
90     tzy[now].fact++,tzy[now].size++;
91     if(val<tzy[now].val)
92         insert(tzy[now].l,val);
93     else
94         insert(tzy[now].r,val);
95 }
96 void erase(int now,int val){
97     if(tzy[now].exsit&& tzy[now].val==val){
98         tzy[now].exsit=false;
99         tzy[now].fact--;
100         check(root,now);
101         return;
102     }
103     tzy[now].fact--;
104     if(val<tzy[now].val)
105         erase(tzy[now].l,val);
106     else erase(tzy[now].r,val);
107 }
108 int getrank(int val){
109     int now=root,rk=1;
110     while(now){
111         if(val<=tzy[now].val)
112             now=tzy[now].l;
113         else rk+=tzy[now].exsit+tzy[tzy[now].l].fact,now=tzy[now].r;
114     }
115     return rk;
116 }
117 int getnum(int rk){
118     int now=root;
119     while(now){
120         if(tzy[now].exsit&& tzy[tzy[now].l].fact+tzy[now].exsit==rk)
```

```

121         break;
122     else if(tzy[tzy[now].l].fact>=rk){
123         now=tzy[now].l;
124     }else{
125         rk-=tzy[tzy[now].l].fact+tzy[now].exsit;
126         now=tzy[now].r;
127     }
128 }
129 return tzy[now].val;
130 }
131 }tree;

```

5.4 KD tree

```

1 inline void updmin(int &x,int y){x=min(x,y);}
2 inline void updmax(int &x,int y){x=max(x,y);}
3 int Dim;
4 struct KDT{
5     int root;
6     int dim,top=0,tot=0,*rub;
7     struct point{
8         int x[2],w;
9         bool operator<(const point&b){
10             return x[Dim]<b.x[Dim];
11         }
12     }*p;
13     struct node{
14         int mi[2],mx[2],sum=0,ls,rs,sz=0;
15         point p;
16     }*tr;
17     int newnode(){
18         if(top) return rub[top--];
19         else return ++tot;
20     }
21     void up(int u){
22         int l=tr[u].ls,r=tr[u].rs;
23         rep(i,0,1){
24             tr[u].mi[i]=tr[u].mx[i]=tr[u].p.x[i];
25             if(l){
26                 updmin(tr[u].mi[i],tr[l].mi[i]);
27                 updmax(tr[u].mx[i],tr[l].mx[i]);
28             }
29             if(r){
30                 updmin(tr[u].mi[i],tr[r].mi[i]);
31                 updmax(tr[u].mx[i],tr[r].mx[i]);
32             }
33         }
34         tr[u].sum=tr[l].sum+tr[r].sum+tr[u].p.w;
35         tr[u].sz=tr[l].sz+tr[r].sz+1;
36     }
37     int build(int l,int r,int dim){
38         if(l>r) return 0;
39         int mid=l+r>>1,u=newnode();
40         Dim=dim; nth_element(p+l,p+mid,p+r+1);

```

```

41     tr[u].p=p[mid];
42     tr[u].ls=build(l,mid-1,dim^1),tr[u].rs=build(mid+1,r,dim^1);
43     up(u);
44     return u;
45 }
46 void pia(int u,int num){//传统?
47     int l=tr[u].ls,r=tr[u].rs;
48     if(l) pia(l,num);
49     p[tr[l].sz+1+num]=tr[u].p,rub[++top]=u;
50     if(r) pia(r,num+1+tr[l].sz);
51 }
52 void balance(int &u,int dim){
53     if(tr[u].sz*0.75<tr[tr[u].ls].sz||
54        tr[u].sz*0.75<tr[tr[u].rs].sz){
55         pia(u,0); u=build(1,tr[u].sz,dim);
56     }
57 }
58 void insert(int &u,point p,int dim){
59     if(!u) {
60         u=newnode(),tr[u].p=p;
61         tr[u].ls=tr[u].rs=0;
62         up(u); return; //待修改
63     }
64     if(p.x[dim]<=tr[u].p.x[dim]) insert(tr[u].ls,p,dim^1);
65     else insert(tr[u].rs,p,dim^1);
66     up(u); balance(u,dim);
67 }
68 int in(int x1,int y1,int x2,int y2,int X1,int Y1,int X2,int Y2){
69     return x1>=X1&&x2<=X2&&y1>=Y1&&y2<=Y2;
70 }//左是否在右内
71 int out(int x1,int y1,int x2,int y2,int X1,int Y1,int X2,int Y2){
72     return x2<X1||x1>X2||y2<Y1||y1>Y2;
73 }//左是否在右外
74 int query(int u,int x1,int y1,int x2,int y2){
75     if(!u) return 0;
76     auto mx=tr[u].mx,mi=tr[u].mi,x=tr[u].p.x;
77     int res=0;
78     if(in(mi[0],mi[1],mx[0],mx[1],x1,y1,x2,y2)) return tr[u].sum;
79     if(out(mi[0],mi[1],mx[0],mx[1],x1,y1,x2,y2)) return 0;
80     if(in(x[0],x[1],x[0],x[1],x1,y1,x2,y2)) res+=tr[u].p.w;
81     res+=query(tr[u].ls,x1,y1,x2,y2)+query(tr[u].rs,x1,y1,x2,y2);
82     return res;
83 }
84 KDT(int maxn=1e6+10){
85     tr=new node[maxn],p=new point[maxn];
86     rub = new int[maxn],root=0;
87 }
88 void insert(int x,int y,int k){insert(root,(point){x,y,k},0);}
89 int query(int x1,int y1,int x2,int y2){return query(root,x1,y1,x2,y2);}
90 };

```

6 字符串

6.1 KMP

```
1 const int MAXN = 2e6+5;
2 int pi[MAXN]; //MAXN记得开大一点,因为这里要存到m+n+1长度的
3 vector<int> res; //储存答案
4
5 void getpi(const string &s){ //求s的前缀函数
6     pi[0]=0;
7     int j=0;
8     rep(i,1,s.length()-1){
9         while(j>0&&s[i]!=s[j]) j=pi[j-1]; //找到合适且最长的j
10        if(s[i]==s[j])j++; //能成功匹配的情况
11        pi[i]=j;
12    }
13 }
14
15 void kmp(string s,string t){ //在主串t中找模式串s
16     getpi(s+'#'+t);
17     int n=(int)s.length(),m=(int)t.length();
18     rep(i,n+1,m+n+1-1)
19         if(pi[i]==n) res.push_back(i-2*s.size()); //i-2n计算得左端点
20 }
```

6.2 AC 自动机

```
1 const int MAXN = 1e5+5;
2 int jdbh[MAXN]; //记录第i个模式串对应的节点编号
3 int cntcx[MAXN]; //记录第i个模式串出现的次数
4 inline int idx(char c){return c-'a';}
5 struct Node{
6     int son[26],flag,fail; //cnt记录次数,flag记录编号
7     void clr(){
8         memset(son,0,sizeof(son));
9         flag=0;
10    }
11 }trie[MAXN*10];
12 int n,cntt; //cntt记录总点数
13 string s,ms[166];
14 int maxx;
15 queue<int>q;
16 inline void insert(string &s,int num){
17     int siz = s.size(),v,u=1;
18     rep(i,0,siz-1){
19         v = idx(s[i]);
20         if(!trie[u].son[v]){trie[u].son[v] = ++cntt;trie[cntt].clr();}
21         u = trie[u].son[v];
22     }
23     trie[u].flag = num; //标记为单词,flag记录编号
24     //保证每个模式串只出现一次
25     cntcx[num] = 0;
26     jdbh[num] = u; //记录当前单词对应的节点编号
```

```
27 }
28 inline void getfail(){
29     rep(i,0,25) trie[0].son[i] = 1;
30     trie[0].flag = 0;
31     q.push(1);
32     trie[1].fail = 0;
33     int u,v,ufail;
34     while(!q.empty()){
35         u = q.front();q.pop();
36         rep(i,0,25){
37             v = trie[u].son[i];
38             ufail = trie[u].fail;
39             if(!v){trie[u].son[i]=trie[ufail].son[i];continue;}//画好一条跳fail的路
40             trie[v].fail = trie[ufail].son[i];
41             q.push(v);
42         }
43     }
44 }
45 inline void query(string &s){
46     int siz = s.size(),u = 1,v,k;
47     rep(i,0,siz-1){
48         v = idx(s[i]);
49         k = trie[u].son[v];
50         while(k){
51             if(trie[k].flag){
52                 cntcx[trie[k].flag]++;//计数
53                 maxx = max(maxx,cntcx[trie[k].flag]);
54             }
55             k = trie[k].fail;//跳fail
56         }
57         u = trie[u].son[v];//这一句其实也有跳fail的功能，很精妙
58     }
59 }
60 inline void solve(){
61     cntt = 1;
62     trie[0].clr();
63     trie[1].clr();
64     rep(i,1,n){
65         cin>>ms[i];
66         insert(ms[i],i);
67     }
68     getfail();
69     cin>>s;
70     maxx = 0;
71     query(s);
72     cout<<maxx<<endl;
73     rep(i,1,n){
74         if(cntcx[i]==maxx) cout<<ms[i]<<endl;
75     }
76 }
```

6.3 FFT 解决字符串匹配问题

可以用来解决含有通配符的字符串匹配问题定义匹配函数

$$(x, y) = (A_x - B_x)^2$$

如果两个字符相同，则满足 $C(x, y) = 0$

定义模式串和文本串 x 位置对齐时候的完全匹配函数为

$$P(x) = \sum C(i, x + i)$$

模式串在位置 x 上匹配时, $p(x) = 0$

通过将模式串 reverse 后卷积，可以快速处理每个位置 x 上的完全匹配函数 $P(x)$ 同理，如果包含通配符，则设通配符的值为 0，可以构造损失函数

$$C(x, y) = (A_x - B_x)^2 \cdot A_x \cdot B_x = A_x^3 B_x + A_x B_x^3 - 2A_x^2 B_x^2$$

通过三次 FFT 即可求得每个位置上的 $P(x)$

以下是用 FFT 解决普通字符串匹配问题的代码

即实现 KMP 的功能，复杂度较高，为 $O(n \log n)$

```

1 void solve(){
2     limit = 1, l=0;
3     cin>>n>>m;
4     cin>>s1>>s2;
5     rep(i,0,n-1) B[i].x = s1[i]-'a'+1;
6     rep(i,0,m-1) A[i].x = s2[i]-'a'+1;
7     double T = 0;
8     //T = sigma A[i]^A[i] i=0~m-1
9     rep(i,0,m-1) T += A[i].x*A[i].x;
10    //f[x] = sigma B[i]^B[i] i=0~x
11    f[0] = B[0].x*B[0].x;
12    rep(i,1,n-1) f[i] = f[i-1]+B[i].x*B[i].x;
13    //g[x] = S[i]*B[j] i+j==x
14    reverse(A,A+m); //S = A.reverse
15    //FFT预处理
16    while(limit<=n+m-2) limit<<=1, l++;
17    rep(i,0,limit-1)
18        r[i] = ( r[i>>1]>>1 ) | ( (i&1)<<(l-1) );
19
20    FFT(A,1); FFT(B,1);
21    rep(i,0,limit) A[i]=A[i]*B[i];
22    FFT(A,-1);
23    rep(i,0,n-1) g[i] = (int)(A[i].x/limit+0.5); //四舍五入
24
25    //T + f(x) - f(x-m) - 2g(x);
26    double tmp;
27    rep(x,m-1,n-1){
28        tmp = T+f[x]-2*g[x];
29        if(x!=m-1) tmp -= f[x-m];
30        //cout<<tmp<<' ';
31        if(fabs(tmp)<eps) cout<<x-(m-1)+1<<endl; //输出匹配上的位置
32    }
33    cout<<endl;
34 }

```

6.4 字符串哈希

6.4.1 快速取子串哈希值

```

1 const int b = 131;//推荐的base, 可以选其他质数
2 void init(int n){//初始化
3     pw[0] = 1;
4     for (int i = 1; i <= n; i ++ ) {
5         h[i] = h[i-1]*b + str[i];//做每个前缀的哈希值
6         pw[i] = pw[i-1]*b;//预处理b^k的值
7     }
8 }
9 // 计算子串 str[l ~ r] 的哈希值
10 ull get(int l, int r) {
11     return h[r] - h[l-1]*pw[r-l+1];
12 }

```

6.4.2 双哈希

```

1 #define ull unsigned long long
2 #define rep(i,a,b) for(int i=(a);i<=(b);i++)
3
4 typedef pair<ull,ull> pll;
5 const int MAXN = 1e4+5;
6 const int M1 = 1e9+7;//第一个模数
7 const int M2 = 1e9+9;//第二个模数
8 const int b = 131;
9 int n;
10 pll a[MAXN];
11
12 pll gethash(string s){
13     ull res1=0,res2=0;
14     int siz = s.length();
15     rep(i,0,siz-1){
16         res1=(res1*b%M1+s[i])%M1;//i位乘以b^i
17         res2=(res2*b%M2+s[i])%M2;//f(s)=Σ s[i] * b^i;
18     }
19     return make_pair(res1,res2);
20 }

```

6.5 后缀数组 SA+LCP

LCP(i,j) 后缀 i 和后缀 j 的最长公共前缀

```

1 int n,m;
2 string s;
3 int rk[MAXN],sa[MAXN],c[MAXN],rk2[MAXN];
4 //sa[i]存排名i的原始编号 rk[i]存编号i的排名 第二关键字rk2
5 inline void get_SA(){
6     rep(i,1,n) ++c[rk[i]=s[i]];//基数排序
7     rep(i,2,m) c[i] += c[i-1];
8     //c做前缀和, 可以知道每个关键字的排名最低在哪里
9     repb(i,n,1) sa[c[rk[i]]--] = i;//记录每个排名的原编号
10 }

```



```

11  for(int w=1;w<=n;w<=1){//倍增
12      int num = 0;
13      rep(i,n-w+1,n) rk2[++num] = i;//没有第二关键字的排在前面
14      rep(i,1,n) if(sa[i]>w) rk2[++num] = sa[i]-w;
15      //编号sa[i]大于w的才能作为编号sa[i]-w的第二关键字
16      rep(i,1,m) c[i] = 0;
17      rep(i,1,n) ++c[rk[i]];
18      rep(i,2,m) c[i]+=c[i-1];
19      repb(i,n,1) sa[c[rk[rk2[i]]]--]=rk2[i],rk2[i]=0;
20      //同一个桶中按照第二关键字排序
21      swap(rk,rk2);
22      //这时候的rk2时这次排序用到的上一轮的rk,要计算出新的rk给下一轮排序
23
24      rk[sa[1]]=1,num=1;
25      rep(i,2,n)
26          rk[sa[i]] = (rk2[sa[i]]==rk2[sa[i-1]]&&rk2[sa[i]+w]==rk2[sa[i-1]+w])?num:++num;
27      //下一次排名的第一关键字,相同的两个元素排名也相同
28      if(num==n) break;//rk都唯一时,排序结束
29      m=num;
30  }
31 }
32 int height[MAXN];
33 inline void get_height(){
34     int k = 0,j;
35     rep(i,1,n) rk[sa[i]] = i;
36     rep(i,1,n){
37         if(rk[i]==1) continue;//第一名往前没有前缀
38         if(k) k--;//h[i]>=h[i-1]-1 即height[rk[i]]>=height[rk[i-1]]-1
39         j = sa[rk[i]-1];//找排在rk[i]前面的
40         while(j+k<=n&&i+k<=n&&s[i+k]==s[j+k]) ++k;//逐字符比较
41         //因为每次k只会-1,故++k最多只会加2n次
42         height[rk[i]] = k;
43     }
44 }
45 inline void solve(){
46     cin>>s;
47     s = ' '+s;
48     n = s.size()-1,m = 122;//m为字符个数'z'=122
49     get_SA();
50     rep(i,1,n) cout<<sa[i]<<' ';
51     cout<<endl;
52 }

```

6.6 后缀自动机 SAM

```

1  struct state{
2      int len,link;
3      map<char,int> nxt;//也可以用数组,空间换时间
4  };
5  state sta[MAXN<<1];//状态数需要设定为两倍
6  int sz,last;//sz为自动机大小
7  inline void init_SAM(){
8      sta[0].len = 0;sta[0].link = -1;//虚拟状态t0
9      sz = 1;

```

```

10     last = 0;
11 }
12 int cnt[MAXN<<1];
13 void SAM_extend(char c){
14     int cur = sz++;
15     cnt[cur] = 1;
16     sta[cur].len = sta[last].len+1;
17     int p = last;
18     //沿着last的link添加到c的转移，直到找到已经有c转移的状态p
19     while(p!=-1&&!sta[p].nxt.count(c)){
20         sta[p].nxt[c] = cur;
21         p = sta[p].link;
22     }
23     if(p==-1) sta[cur].link = 0;//情况1,没有符合的p
24     else{
25         int q = sta[p].nxt[c];
26         if(sta[q].len==sta[p].len+1)//情况2,稳定的转移(lenq=lenp+1,前面没有增加)
27             sta[cur].link = q;
28         else{//情况3,把q的lenp+1的部分拿出来(clone),p到clone的转移是稳定的
29             int clone = sz++;
30             cnt[clone] = 0;
31             sta[clone].len = sta[p].len+1;
32             sta[clone].nxt = sta[q].nxt;
33             sta[clone].link = sta[q].link;
34             while(p!=-1 && sta[p].nxt[c]==q){//把向q的转移指向clone
35                 sta[p].nxt[c]=clone;
36                 p=sta[p].link;
37             }
38             sta[q].link = sta[cur].link = clone;//clone是q的后缀,故linkq=clone
39         }
40     }
41     last = cur;//sta[last]包含目前处理的整个前缀!
42 }
43 string s;
44 vector<int> e[MAXN<<1];
45 void dfs(int now){
46     for(auto to:e[now]){
47         dfs(to);
48         cnt[now] += cnt[to];
49     }
50 }
51 inline void solve(){
52     cin>>s;
53     init_SAM();
54     int siz = s.size();
55     rep(i,0,siz-1) SAM_extend(s[i]);
56     rep(i,1,sz-1) e[sta[i].link].push_back(i);//link边反过来构造树
57     dfs(0);
58     ll maxx = 0;
59     rep(i,1,sz-1)
60         if(cnt[i]!=1) maxx = max(maxx,1ll*cnt[i]*sta[i].len);
61     cout<<maxx<<endl;
62 }
63 int main(){
64     solve();

```

65 }

6.7 广义 SAM

```

1 //广义sam只需要在插入新串时把last设为1
2 //其实就是存一下自己的sam
3 struct SAM{
4     static const int sigma=26,c0='a';
5     struct Node{
6         int fa=0,to[sigma],len=0;
7         int &operator [] (int x) {return to[x];}
8         Node(){
9             rep(i,0,sigma-1) to[i]=0;
10        }
11    }a[N*2];
12    int last=1,tot=1;
13    int newnode(){
14        a[++tot]=Node(); return tot;
15    }
16
17    ll sz[N*2],t[N*2],val[N*2];
18
19    void insert(int c){
20        bool fl=0; int z;
21        c-=c0;
22        //if(a[last][c]&&a[last].len+1==a[a[last][c]].len) return a[last][c];
23        int x=last,next=newnode();
24        sz[next]=1;
25        last=next;
26        a[next].len=a[x].len+1;
27        for(;x&&!a[x][c];x=a[x].fa) a[x][c]=next;
28        if(!x) a[next].fa=1;
29        else{
30            int y=a[x][c];
31            if(a[y].len==a[x].len+1){
32                a[next].fa=y;
33            }
34            else{
35                if(a[x].len+1==a[next].len) fl=1;
36                z=newnode();
37                a[z]=a[y],a[z].len=a[x].len+1;
38                //sz[z]=1;
39                for(;x&&a[x][c]==y;x=a[x].fa) a[x][c]=z;
40                a[y].fa=a[next].fa=z;
41            }
42        }
43    }
44    bool vis[N*2];
45    void dfs(int u){
46        vis[u]=1;
47        sz[u]=1;
48        rep(i,0,25) if(a[u][i]) {
49            if(!vis[a[u][i]]) dfs(a[u][i]);
50            sz[u]+=sz[a[u][i]];

```

```
51     }
52 }
53 void solve(){
54     int n=read();
55     rep(i,1,n){
56         last=1;
57         string s; cin>>s;
58         for(auto c:s) insert(c);
59     }
60     dfs(1);
61     cout<<sz[1]-1<<endl;
62 }
63
64 }sam;
```

7 其他

7.1 基础母函数求方案数

```
1  const int MAXN = 1e4;
2  int c1[MAXN+1];
3  int c2[MAXN+1];
4
5  int main(){
6      int n;
7      while(cin>>n){
8          for(int i=0;i<=n;i++){//初始化
9              c1[i]=0;
10             c2[i]=0;
11         }
12         for(int i=0;i<=n;i++){
13             c1[i]=1;//面值为一元的
14         }
15         for(int i=2;i<=n;i++){//枚举邮票的面值(一共有几组括号
16             for(int j=0;j<=n;j++){//枚举左边次数为0到次数为n的项
17                 for(int k=0;j+k<=n;k+=i){//右边的乘过来,枚举放几枚
18                     //次数大于n的就不用管了
19                     c2[j+k]+=c1[j];
20                 }
21             }
22             for(int i=0;i<=n;i++){//最左边两个括号完成处理
23                 c1[i]=c2[i];//把c2算出来的值挪到左边作为下一次的左边
24                 c2[i]=0;//清空c2记录下一次括号相乘的结果
25             }
26         }
27         cout<<c1[n]<<endl;
28     }
29 }
```

7.2 ST 表求 RMQ

$O(n\log_n)$ 预处理, $O(1)$ 查询

```

1 #define log(x) (31-__builtin_clz(x))
2 const int MAXN = 1e5+10;
3 const int LOGN = log(MAXN)/log(2)+5;
4 int M[MAXN][LOGN];
5 int a[MAXN];
6 int z,m,n;
7 void init(){//初始化, 复杂度O(nlogn)
8     for(int i=1;i<=n;i++) M[i][0]=i;//长度为1的区间最值是自己
9     for(int j=1;j<=LOGN;j++){
10         for(int i=1;i<=n-(1<<j)+1;i++){
11             if(a[M[i][j-1]]<a[M[i+(1<<j-1)][j-1]]) M[i][j] = M[i][j-1];//这里以最小值为例
12             else M[i][j] = M[i+(1<<j-1)][j-1];
13         }
14     }
15 }
16 int query(int l,int r){
17     int k = log(r-l+1)/log(2);//向下取整
18     if(a[M[l][k]]<a[M[r-(1<<k)+1][k]]) return M[l][k];
19     else return M[r-(1<<k)+1][k];
20 }

```

7.3 CDQ 分治三维偏序

```

1 #include<iostream>
2 #include<algorithm>
3 using namespace std;
4 #define rep(i,a,b) for(int i=(a);i<=(b);i++)
5 const int MAXN = 214514;
6 struct node{
7     int a,b,c,cnt,ans;
8 }s1[MAXN],s2[MAXN];
9 int ans[MAXN];//存对每个d,f[i]==d的i数量
10 int n,k,m;
11 //树状数组
12 int mx;
13 int treec[MAXN];
14 inline int lowbit(int x){return x&-x;}
15 inline void add(int x,int t){
16     while(x<=mx) treec[x]+=t,x+=lowbit(x);
17 }
18 inline int query(int x){
19     int ret = 0;
20     while(x) ret+=treec[x],x-=lowbit(x);
21     return ret;
22 }
23 //cdq分治
24 bool cmp1(node x,node y){//以a为关键字从小打到排序
25     if(x.a==y.a){
26         if(x.b==y.b) return x.c<y.c;
27         return x.b<y.b;
28     }
29     return x.a<y.a;

```

```

30 }
31 bool cmp2(node x,node y){//根据b排序,便只剩下c的顺序没有满足
32     if(x.b==y.b) return x.c<y.c;
33     return x.b<y.b;
34 }
35 void cdq(int l,int r){
36     if(l==r) return;
37     int mid = (l+r)>>1;
38     //处理前两种情况:i,j同在左/右
39     cdq(l,mid);cdq(mid+1,r);
40     //处理第三种情况:i在左j在右
41     sort(s2+l,s2+mid+1,cmp2);
42     sort(s2+mid+1,s2+r+1,cmp2);
43     int pxj=l,pxi=mid+1;//双指针,对应pxi的移动把pxj插入树状数组中
44     for(pxi=mid+1;pxi<=r;pxi++){
45         while(s2[pxj].b<=s2[pxi].b&&pxj<=mid){
46             add(s2[pxj].c,s2[pxj].cnt);//带次数插入树状数组中
47             pxj++;
48         }
49         s2[pxi].ans+=query(s2[pxi].c);
50         //查询树状数组中c比他小的
51     }
52     rep(j,l,pxj-1) add(s2[j].c,-s2[j].cnt);//之前错在这里,注意只有pxj前面的才被加过,pxj没有
53     //遍历pxj走过的区间,清空树状数组
54 }
55 int main(){
56     cin>>n>>k;
57     m=0,mx=k;//树状数组的最大数字(类似权值线段树)
58     rep(i,1,n) cin>>s1[i].a>>s1[i].b>>s1[i].c;
59     sort(s1+1,s1+1+n,cmp1);//以a为关键字从小到大排序
60     int tmp=0;//当前这个项出现了几次
61     rep(i,1,n){//合并相同的项并且记录出现次数进cnt
62         tmp++;//当前项出现了几次
63         if(s1[i].a!=s1[i+1].a||s1[i].b!=s1[i+1].b||s1[i].c!=s1[i+1].c){//判断两个node是否不同
64             s2[++m]=s1[i];//m统计元素个数
65             s2[m].cnt = tmp;
66             tmp = 0;
67         }
68     }
69     cdq(1,m);//递归计算
70     //题目问的是f(x)=满足条件ij对数,对应每个x有几个,把结果存到ans[x]中
71     rep(i,1,m) ans[s2[i].ans+s2[i].cnt-1]+=s2[i].cnt;
72     //s2[i].cnt-1是这些数字自己之间满足的对数
73     rep(i,0,n-1) cout<<ans[i]<<endl;
74 }
75 //洛谷P3810陌上花开
76 //https://www.luogu.com.cn/problem/P3810

```

7.4 三分

```

1 while(l<r){//类似求导的方式求极值
2     int x=(l+r)/2,y=x+1; //l+(r-l)/2
3     if(f(x)<f(y))l=x+1; else r=y-1; //最大值
4     //if(f(x)<f(y)) r=y-1; else l=x+1; //最小值

```

5 }

7.5 数位 dp

```

1  ll dp[20][2][2],bit[20]; //这个[2]表示lz状态, 如果lz被使用的话就需要记录
2  ll dfs(int pos,ll s,bool lim=1,bool lz=1){
3      if(pos==-1)return !s; //返回该状态是否符合要求(0或1)
4      ll &x=dp[pos][s][0];
5      if(!lim && x!=-1)return x;
6      ll ans=0;
7      int maxi=lim?bit[pos]:9;
8      if(s){
9          if(maxi>=2) rep(i,0,1)
10             ans+=dfs(pos-1,i,lim&&2==maxi,0);
11      }
12      else{
13          rep(i,0,maxi){
14              if(i==2||i==4) continue;
15              //...//状态转移
16              //if(lz && i==0)...//可能要用lz, 其他地方都不用
17              ans+=dfs(pos-1,0,
18                  lim && i==maxi,
19                  lz && i==0);
20              if(i!=6) ans+=dfs(pos-1,1,lim&&i==maxi,lz&&i==0);
21          }
22      }
23      if(!lim)x=ans; //不限制的时候才做存储 yyds
24      return ans;
25  }
26  ll calc(ll n){
27      int len=0;
28      while(n)bit[len++]=n%10,n/=10;
29      return dfs(len-1,0)+dfs(len-1,1);
30  }

```

7.6 线性基

```

1  struct basis{//线性基超大常数版
2      ll p[64];
3      #define B(x,i) ((x>>i)&1)
4      //yyds
5      void init(){ memset(p,0,sizeof(p)); }
6      void add(ll x){
7          dep(i,62,0){
8              if(!B(x,i)) continue;
9              if(!p[i]) {p[i]=x; break;}
10             x^=p[i];
11         }
12     }
13     ll qmx(ll x){
14         dep(i,62,0) if(!B(x,i)&&p[i]) x^=p[i];
15         return x;
16     }

```

```

17     ll qmn(ll x){
18         dep(i,62,0) if(B(x,i)&&p[i]) x^=p[i];
19         return x;
20     }
21 }b;

```

7.7 莫队

```

1  int cnt[MAXN]; //记录数字在区间[1,r]内出现的次数
2  int pos[MAXN],a[MAXN];
3  ll ans[MAXN];
4  int n,m,k,res;
5  struct Q{
6      int l,r,k; //k记录原来的编号
7      friend bool operator < (Q x,Q y){ //同一个分块内r小的排前面;不同分块则按分块靠前的
8          return pos[x.l]==pos[y.l]?x.r<y.r:pos[x.l]<pos[y.l];
9          //return (pos[a.l]^pos[b.l])?pos[a.l]<pos[b.l]:((pos[a.l]&1)?a.r<b.r:a.r>b.r);
10         //这条第一个和==是一样的,后面的是对于左端点在同一奇数块的区间,右端点按升序排列,反之降序
11     }
12 }q[MAXN];
13
14 void Add(int pos){
15     res -= cnt[a[pos]]*cnt[a[pos]];
16     cnt[a[pos]]++;
17     res += cnt[a[pos]]*cnt[a[pos]];
18 }
19 void Sub(int pos){
20     res -= cnt[a[pos]]*cnt[a[pos]];
21     cnt[a[pos]]--;
22     res += cnt[a[pos]]*cnt[a[pos]];
23 }
24 int main(){
25     cin>>n>>m>>k; //k为数字范围
26     memset(cnt,0,sizeof(cnt));
27     int siz = sqrt(n); //每个分块的大小
28     rep(i,1,n){
29         cin>>a[i];
30         pos[i] = i/siz; //分块
31     }
32     rep(i,1,m){
33         cin>>q[i].l>>q[i].r;
34         q[i].k = i; //记录原来的编号,用于打乱顺序后的还原
35     }
36     sort(q+1,q+1+m);
37     res = 0; //初始化res
38     int l = 1,r = 0; //当前知道的区间
39     //因为是闭区间,如果是[1,1]的话则一开始就包含一个元素了
40     rep(i,1,m){ //莫队的核心,注意加减的顺序
41         while(q[i].l<l) Add(--l);
42         while(q[i].l>l) Sub(l++);
43         while(q[i].r<r) Sub(r--);
44         while(q[i].r>r) Add(++r);
45         ans[q[i].k] = res;
46     }

```



```

47     rep(i,1,m) cout<<ans[i]<<endl;
48 }
    
```

7.8 带修莫队

```

1  int a[MAXN],b[MAXN];//a读入一开始的序列,b记录修改后的
2  int pos[MAXN];//分块
3  int cq,cr;//统计查询修改次数
4  int R[MAXN][3];//0记位置,1记原本的值,2记修改后的值
5  ll res;
6  int ans[MAXN];//记录结果
7  int n,m;
8  void Add(int x){if(cnt[x]==0)res++;cnt[x]++;}//带修莫队的add和sub有区别
9  void Sub(int x){if(cnt[x]==1)res--;cnt[x]--;}
10 struct Q{
11     int l,r,k,t;
12     friend bool operator < (Q a,Q b){
13         return (pos[a.l]^pos[b.l])?pos[a.l]<pos[b.l]:((pos[a.r]^pos[b.r])?a.r<b.r:a.t<b.t);
14         //增加第三关键字,询问的先后顺序,用t或者k应该都行
15     }
16 }q[MAXN];
17 int main(){
18     cin>>n>>m;
19     cq = cr = 0;
20     int siz = pow(n,2.0/3.0);//这么分块最好,别问
21     rep(i,1,n){
22         cin>>a[i];
23         b[i]=a[i];
24         pos[i] = i/siz;
25     }
26     char hc;
27     rep(i,1,m){//读入修改和询问
28         cin>>hc;
29         if(hc=='Q'){
30             cin>>q[cq].l>>q[cq].r;
31             q[cq].k=cq;q[cq].t=cr;//注意这时候R[cr]还是没的,这次询问是在R[cr-1]之后的
32             cq++;
33         }
34         else{
35             cin>>R[cr][0]>>R[cr][2];
36             R[cr][1] = b[R[cr][0]];
37             b[R[cr][0]] = R[cr][2];//在b数组中记录更改
38             cr++;
39         }
40     }
41     sort(q,q+cq);
42     int l=1,r=0,sjc=0;//时间戳
43     res = 0;
44     rep(i,0,cq-1){
45         while(sjc<q[i].t){
46             if(l<=R[sjc][0]&&R[sjc][0]<=r)//判断修改是否在该区间内
47                 Sub(R[sjc][1]),Add(R[sjc][2]);
48             a[R[sjc][0]] = R[sjc][2];//在a上也进行更改
49             sjc++;
    
```

```

50     }
51     while(sjc>q[i].t){
52         sjc--;
53         if(1<=R[sjc][0]&&R[sjc][0]<=r)//判断修改是否在该区间内
54             Sub(R[sjc][2]),Add(R[sjc][1]);
55         a[R[sjc][0]] = R[sjc][1];//在a上也进行更改
56     }
57     while(1>q[i].l) Add(a[--l]);
58     while(1<q[i].l) Sub(a[l++]);
59     while(r<q[i].r) Add(a[++r]);
60     while(r>q[i].r) Sub(a[r--]);
61     ans[q[i].k] = res;
62 }
63 rep(i,0,cq-1) cout<<ans[i]<<endl;
64 }

```

8 STL 等小技巧

8.1 集合 set

还可以通过 lower_bound 和 upper_bound 返回迭代器来找前驱, 后继

```

1 //并交集
2 vector<int> ANS;
3 set_union(s1.begin(),s1.end(),s2.begin(),s2.end(),inserter(ANS,ANS.begin()));//set_intersection()
4
5 //通过迭代器遍历集合
6 set<char>::iterator iter = temp1.begin();
7 while (iter!=temp1.end()){
8     cout<<*iter;
9     iter++;
10 }

```

8.2 快读快写 (短)

```

1 template<class T>inline void read(T &x){x=0;char o,f=1;while(o=getchar(),o<48)if(o==45)f=-f;do x=(x<<3)+(x
    <<1)+(o^48);while(o=getchar(),o>47);x*=f;}
2 template<class T>
3 void wt(T x){//快写
4     if(x < 0) putchar('-'), x = -x;
5     if(x >= 10) wt(x / 10);
6     putchar('0' + x % 10);
7 }

```

8.3 GCD(压行)

```

1 ll gcd(ll a,ll b){ while(b^=a^=b%=b); return a; }

```

8.4 计时

```
1 inline double run_time(){
2     return 1.0*clock()/CLOCKS_PER_SEC;
3 }
```

8.5 替换 unorderedset 的 hash 函数

```
1 struct VectorHash {
2     size_t operator()(const std::vector<int>& v) const {
3         std::hash<int> hasher;
4         size_t seed = 0;
5         for (int i : v) {
6             seed ^= hasher(i) + 0x9e3779b9 + (seed<<6) + (seed>>2);
7         }
8         return seed;
9     }
10 };
11 unordered_set<vector<int>,VectorHash> st;
```

8.6 对拍

8.6.1 linux&mac 版

```
1 while true; do
2     ./3.exe>tmp.in #出数据
3     ./2.exe<tmp.in>tmp.out #被测程序
4     ./4.exe<tmp.in>tmp2.out #正确（暴力）程序
5     if diff tmp.out tmp2.out; then #比较两个输出文件
6         printf AC #结果相同显示AC
7     else
8         echo WA #结果不同显示WA，并退出
9         cat tmp.in
10        cat tmp.out tmp2.out
11        exit 0
12    fi #if的结束标志,与C语言相反,0为真
13 done # while的结束标志
```

8.6.2 windows 版

```
1 @echo off
2 :loop
3     rand.exe > in.txt
4     my.exe < in.txt > myout.txt
5     std.exe < in.txt > stdout.txt
6     fc myout.txt stdout.txt
7     if not errorlevel 1 goto loop
8     pause
9     goto loop
```

8.7 火车头

```
1 #pragma GCC optimize(2)
2 #pragma GCC optimize(3)
3 #pragma GCC optimize("Ofast")
4 #pragma GCC optimize("inline")
5 #pragma GCC optimize("-fgcse")
6 #pragma GCC optimize("-fgcse-lm")
7 #pragma GCC optimize("-fipa-sra")
8 #pragma GCC optimize("-ftree-pre")
9 #pragma GCC optimize("-ftree-vrp")
10 #pragma GCC optimize("-fpeephole2")
11 #pragma GCC optimize("-ffast-math")
12 #pragma GCC optimize("-fsched-spec")
13 #pragma GCC optimize("unroll-loops")
14 #pragma GCC optimize("-falign-jumps")
15 #pragma GCC optimize("-falign-loops")
16 #pragma GCC optimize("-falign-labels")
17 #pragma GCC optimize("-fdevirtualize")
18 #pragma GCC optimize("-fcaller-saves")
19 #pragma GCC optimize("-fcrossjumping")
20 #pragma GCC optimize("-fthread-jumps")
21 #pragma GCC optimize("-funroll-loops")
22 #pragma GCC optimize("-fwhole-program")
23 #pragma GCC optimize("-freorder-blocks")
24 #pragma GCC optimize("-fschedule-insns")
25 #pragma GCC optimize("inline-functions")
26 #pragma GCC optimize("-ftree-tail-merge")
27 #pragma GCC optimize("-fschedule-insns2")
28 #pragma GCC optimize("-fstrict-aliasing")
29 #pragma GCC optimize("-fstrict-overflow")
30 #pragma GCC optimize("-falign-functions")
31 #pragma GCC optimize("-fcse-skip-blocks")
32 #pragma GCC optimize("-fcse-follow-jumps")
33 #pragma GCC optimize("-fsched-interblock")
34 #pragma GCC optimize("-fpartial-inlining")
35 #pragma GCC optimize("no-stack-protector")
36 #pragma GCC optimize("-freorder-functions")
37 #pragma GCC optimize("-findirect-inlining")
38 #pragma GCC optimize("-fhoist-adjacent-loads")
39 #pragma GCC optimize("-frerun-cse-after-loop")
40 #pragma GCC optimize("inline-small-functions")
41 #pragma GCC optimize("-finline-small-functions")
42 #pragma GCC optimize("-ftree-switch-conversion")
43 #pragma GCC optimize("-foptimize-sibling-calls")
44 #pragma GCC optimize("-fexpensive-optimizations")
45 #pragma GCC optimize("-funsafe-loop-optimizations")
46 #pragma GCC optimize("inline-functions-called-once")
47 #pragma GCC optimize("-fdelete-null-pointer-checks")
48 #pragma GCC optimize("Ofast,no-stack-protector")
49 #pragma GCC target("sse,sse2,sse3,ssse3,sse4,popcnt,abm,mmx,avx,avx2,tune=native")
```