

YXHXianYu-XCPC-Template

YXHXianYu-XCPC-Template

1. 常用算法
 - 1.1 对拍
 - 1.2 哈希表
2. 计算几何
 - 2.1 基础
 - 2.2 极角排序
 - 2.3 点与线段
 - 2.4 多边形
 - 2.4.1 简单多边形面积
 - 2.4.2 点包含
 - 2.4.3 凸包
 - 2.4.4 不严格凸包
 - 2.4.5 直线切凸多边形
 - 2.4.6 旋转卡壳
 - 2.4.7 半平面交
 - 2.5 圆
 - 2.5.1 圆和圆的关系
 - 2.5.2 圆和直线的交点
 - 2.5.3 两个圆的交点
 - 2.5.4 两个圆的切线
 - 2.5.5 圆的内心、外心、垂心
 - 2.5.6 最小圆覆盖
 - 2.5.7 两个向量的夹角
 - 2.5.8 求圆和三角形的交的有向面积
 - 2.5.9 圆的面积并、欧拉公式
 - 2.6 杂题
 - 2.6.1 平面最近点对
 - 2.6.2 最小矩形覆盖
3. 字符串
 - 3.1 KMP
 - 3.2 EXKMP
 - 3.3 Manacher
 - 3.4 AC自动机
 - 3.5 后缀数组 - 倍增 $O(n\log n)$
 - 3.6 后缀数组 - SAIS $O(n)$
 - 3.7 后缀自动机
 - 3.8 广义后缀自动机 (缺)
 - 3.9 题: SAM+线段树合并+树上倍增 (缺)
 - 3.10 最小表示法
 - 3.11 杂题
4. 数据结构
 - 4.1 线性基
5. 图论
6. 数论
 - 6.1 逆元
9. 其他
 - 9.1 树哈希

- 缺：EXSAM、回文自动机、序列自动机

1. 常用算法

1.1 对拍

```
// 随机数生成（不保证环境均可用）
mt19937 rand(chrono::system_clock::now().time_since_epoch().count());
cout << rand() << endl;
// 对拍
while(true) {
    system("Edm.exe");
    system("Eac.exe");
    system("E.exe");
    if(system("fc E.out E.ans")) break;
}
```

1.2 哈希表

```
struct HASH { // 多测记得清空
    #define LLI long long // (maybe) int => signed (take care of SPACE Complexiy)
    const static int maxn = 2e5 + 10;
    const static int hashMaxn = 1 << 23;
    struct Edge {
        LLI a, b, v;
        int nxt;
    }e[maxn];
    int lst[hashMaxn], tot;
    int stk[maxn], top;

    void makeEdge(int h, LLI a, LLI b, LLI v) {
        e[++tot].a = a;
        e[tot].b = b;
        e[tot].v = v;
        e[tot].nxt = lst[h];
        lst[h] = tot;

        stk[++top] = h;
    }
    int getH(LLI a, LLI b) {
        return ((int)(1333111 * a + b) & (hashMaxn - 1));
    }
    void clear() {
        while(top) lst[stk[top]] = 0, top--;
        tot = 0;
    }
    void add(LLI a, LLI b, LLI v, bool ad) {
        int h = getH(a, b);
        if(ad) {
```

```

        for(int i = lst[h]; i; i = e[i].nxt) {
            if(e[i].a == a && e[i].b == b) {
                e[i].v += v;
                return;
            }
        }
        makeEdge(h, a, b, v);
    }
    LLI query(LLI a, LLI b) {
        int h = getH(a, b);
        for(int i = lst[h]; i; i = e[i].nxt) {
            if(e[i].a == a && e[i].b == b) {
                return e[i].v;
            }
        }
        return 0;
    }
}
#undef LLI
} mpn; // 多测记得清空

```

2. 计算几何

2.1 基础

```

typedef double db; // 换longdouble时，需要同时替换alpha函数和getTheta函数
const db EPS = 1e-9;

inline int sign(db a) { return a < -EPS ? -1 : a > EPS; }

inline int cmp(db a, db b) { return sign(a - b); }

// 点P
struct P {
    db x, y;
    P(): x(0), y(0) {}
    P(db _x, db _y): x(_x), y(_y) {}
    P operator+(P p) { return {x + p.x, y + p.y}; }
    P operator-(P p) { return {x - p.x, y - p.y}; }
    P operator*(db d) { return {x * d, y * d}; }
    P operator/(db d) { return {x / d, y / d}; }

    bool operator<(P p) const {
        int c = cmp(x, p.x);
        if(c) return c == -1;
        return cmp(y, p.y) == -1;
    }
}

// 这里的比较可能不满足传递性，因为这是基于EPS的比较

```

```

bool operator==(P p) const {
    return cmp(x, p.x) == 0 && cmp(y, p.y) == 0;
}

db dot(P p) { return x * p.x + y * p.y; }
db det(P p) { return x * p.y - y * p.x; }

db distTo(P p) { return (*this-p).abs(); }
// return value in [-pi, pi]; longdouble ver is atan2l(y, x)
db alpha() { return atan2(y, x); }
void read() { cin >> x >> y; }
db abs() { return sqrt(abs2()); }
db abs2() { return x * x + y * y; }
P unit() { return *this / abs(); }
P rot90() { return P(-y, x); }
P rot(db an) { return {x*cos(an) - y*sin(an), x*sin(an) + y*cos(an)}; }
int quad() const { return sign(y) == 1 || (sign(y) == 0 && sign(x) >= 0); }
};

#define cross(p1, p2, p3) ((p2.x-p1.x)*(p3.y-p1.y)-(p3.x-p1.x)*(p2.y-p1.y))
#define crossOp(p1, p2, p3) (sign(cross(p1, p2, p3)))

```

2.2 极角排序

```

int n = 50;
vector<P> p(n + 1);
sort(p.begin() + 1, p.end() + n + 1, [&](P& a, P& b) {
    int qa = a.quad(), qb = b.quad();
    if(qa != qb) return qa < qb;
    else return sign(a.det(b)) > 0;
});

```

2.3 点与线段

```

// 判断 直线p1p2 和 直线q1q2 是否严格相交
// => crossOp(p1, p2, q1) * crossOp(p1, p2, q2) < 0

// 判断 直线p1p2 和 直线q1q2 是否相交
bool isLL(P p1, P p2, P q1, P q2) {
    db a1 = cross(q1, q2, p1), a2 = -cross(q1, q2, p2);
    return sign(a1 + a2) != 0;
}

// 求交点
P getLL(P p1, P p2, P q1, P q2) {
    db a1 = cross(q1, q2, p1), a2 = -cross(q1, q2, p2);
    return (p1 * a2 + p2 * a1) / (a1 + a2);
}

// 判断区间是否相交

```

```

bool intersect(db l1, db r1, db l2, db r2) {
    if(l1 > r1) swap(l1, r1); if(l2 > r2) swap(l2, r2);
    return !( cmp(r1, l2) == -1 || cmp(r2, l1) == -1 );
}

// 线段相交
bool isSS(P p1, P p2, P q1, P q2) {
    return intersect(p1.x, p2.x, q1.x, q2.x)
        && intersect(p1.y, p2.y, q1.y, q2.y)
        && crossOp(p1, p2, q1) * crossOp(p1, p2, q2) <= 0
        && crossOp(q1, q2, p1) * crossOp(q1, q2, p2) <= 0;
}

// 线段严格相交(不能交于端点)
bool isSS_strict(P p1, P p2, P q1, P q2) {
    return crossOp(p1, p2, q1) * crossOp(p1, p2, q2) < 0
        && crossOp(q1, q2, p1) * crossOp(q1, q2, p2) < 0;
}

// 点m 是否在 a 和 b 之间
bool isMiddle(db m, db a, db b) {
    if(a > b) swap(a, b);
    return cmp(a, m) <= 0 && cmp(m, b) <= 0;
}

// 点m 是否在 点a 和 点b 之间
bool isMiddle(P m, P a, P b) {
    return isMiddle(m.x, a.x, b.x) && isMiddle(m.y, a.y, b.y);
}

// 点q 是否在 直线p1p2 上
// => crossOp(p1, p2, q) == 0

// 点q 是否在 线段p1p2 上
bool onSeg(P p1, P p2, P q) {
    return crossOp(p1, p2, q) == 0 && isMiddle(q, p1, p2);
}

// 点q 是否在 线段p1p2 上(严格)
bool onSeg_strict(P p1, P p2, P q) {
    return crossOp(p1, p2, q) == 0 && sign((q-p1).dot(p1-p2)) * sign((q-p2).dot(p1-p2));
}

// 求 q 到 直线p1p2 的投影(垂足)
P proj(P p1, P p2, P q) {
    P dir = p2 - p1;
    return p1 + dir * (dir.dot(q - p1) / dir.abs2());
}

// 求 q 以 直线p1p2 为轴的反射
P reflect(P p1, P p2, P q) {

```

```

    return proj(p1, p2, q) * 2 - q;
}

// 求 q 到 线段p1p2 的最小距离
db nearest(P p1, P p2, P q) {
    if(p1 == p2) return p1.distTo(q);
    P v1 = p2 - p1, v2 = q - p1, v3 = q - p2;
    if(sign(v1.dot(v2)) == -1) return v2.abs();
    if(sign(v1.dot(v3)) == 1) return v3.abs();
    return fabs(v1.det(v2) / v1.abs());
    // if(p1 == p2) return p1.distTo(q); // TLE Version
    // P h = proj(p1, p2, q);
    // if(isMiddle(h, p1, p2)) return h.distTo(q);
    // return min(p1.distTo(q), p2.distTo(q));
}

// 求 线段p1p2 与 线段q1q2 的距离
db disss(P p1, P p2, P q1, P q2) {
    if(isss(p1, p2, q1, q2)) return 0;
    return min(
        min(nearest(p1, p2, q1), nearest(p1, p2, q2)),
        min(nearest(q1, q2, p1), nearest(q1, q2, p2))
    );
}

```

2.4 多边形

```

/* 重要约定，每个vector大小必须等于size+1，且index从1开始 */
/* 重要约定，逆时针为正方向 */

```

2.4.1 简单多边形面积

```

// 求简单多边形面积（测过）
db area(vector<P>& ps) {
    int n = ps.size() - 1;
    db ret = 0;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {
        ret += ps[i].det(ps[i % n + 1]);
    }
    return ret / 2;
}

```

2.4.2 点包含

```

// 求点包含（测过）
// 2:inside, 1:on_seg, 0:outside
int contain(vector<P>& ps, P p) {
    int n = ps.size() - 1;
    int ret = 0;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {

```

```

    P u = ps[i], v = ps[i % n + 1];
    if(onSeg(u, v, p)) return 1;
    if(cmp(u.y, v.y) <= 0) swap(u, v);
    if(cmp(p.y, u.y) > 0 || cmp(p.y, v.y) <= 0) continue;
    ret ^= crossOp(p, u, v) > 0;
}
return ret * 2;
}

```

2.4.3 凸包

```

// 凸包 (测过)
vector<P> convexHull(vector<P>& ps) {
    int n = ps.size() - 1;
    if(n <= 1) return ps;
    sort(ps.begin() + 1, ps.begin() + n + 1); // normal sort
    vector<P> qs(2 * n + 1);
    int cnt = 0;
    for(int i = 1; i <= n; qs[++cnt] = ps[i++]) {
        while(cnt > 1 && crossOp(qs[cnt - 1], qs[cnt], ps[i]) <= 0) cnt--;
    }
    for(int i = n - 1, t = cnt; i >= 1; qs[++cnt] = ps[i--]) {
        while(cnt > t && crossOp(qs[cnt - 1], qs[cnt], ps[i]) <= 0) cnt--;
    }
    qs.resize(cnt); // 去除了最后一个重复的点
    return qs;
}

```

2.4.4 不严格凸包

```

// 不严格凸包(考虑共线)
// 使用前必须对点进行去重
vector<P> convexHullNonStrict(vector<P>& ps) {
    int n = ps.size() - 1;
    if(n <= 1) return ps;
    sort(ps.begin() + 1, ps.begin() + n + 1); // normal sort
    vector<P> qs(2 * n + 1);
    int cnt = 0;
    for(int i = 1; i <= n; qs[++cnt] = ps[i++]) {
        while(cnt > 1 && crossOp(qs[cnt - 1], qs[cnt], ps[i]) < 0) cnt--;
    }
    for(int i = n - 1, t = cnt; i >= 1; qs[++cnt] = ps[i--]) {
        while(cnt > t && crossOp(qs[cnt - 1], qs[cnt], ps[i]) < 0) cnt--;
    }
    qs.resize(cnt); // 去除了最后一个重复的点
    return qs;
}

```

2.4.5 直线切凸多边形

```
// 直线切凸多边形（测过）
// convexCut是用 直线cut出直线的左半边（即叉积为正的点集）
// 所以 convexCut(r, p[i], p[i] o (p[1 - i] - p[i]).rot90());
// 若 o 为 +, 则表示 p[1 - i] 到 p[i] 的外侧（不包含 p[1 - i] 的区域）;
// 若 o 为 -, 则表示 p[1 - i] 到 p[i] 的内侧（包含 p[1 - i] 的区域）;
vector<P> convexCut(const vector<P>& ps, P q1, P q2) {
    vector<P> qs(1);
    int n = ps.size() - 1;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {
        P p1 = ps[i], p2 = ps[i % n + 1];
        int d1 = crossOp(q1, q2, p1), d2 = crossOp(q1, q2, p2);
        if(d1 >= 0) qs.push_back(p1);
        if(d1 * d2 < 0) qs.push_back(getLL(p1, p2, q1, q2));
    }
    return qs;
}
```

2.4.6 旋转卡壳

```
// 旋转卡壳（输入必须是一个凸包）
db convexDiameter(vector<P>& ps) {
    int n = ps.size() - 1; if(n <= 1) return 0;
    int is = 1, js = 1;
    for(int k = 2; k <= n; k++) {
        is = ps[k] < ps[is] ? k : is;
        js = ps[js] < ps[k] ? k : js;
    }
    int i = is, j = js;
    db ret = ps[i].distTo(ps[j]);
    do {
        if((ps[i % n + 1] - ps[i]).det(ps[j % n + 1] - ps[j]) >= 0)
            j = j % n + 1;
        else
            i = i % n + 1;
        ret = max(ret, ps[i].distTo(ps[j]));
    } while(i != is || j != js);
    return ret;
}
```

2.4.7 半平面交

```
// 半平面交
db halfPlane(vector<pair<P, P>>& a) {
    int n = a.size() - 1;
    auto compare = [](pair<P, P>& a, pair<P, P>& b) {
        P va = a.second - a.first;
        P vb = b.second - b.first;
        int qa = va.quad();
    }
}
```



```

        int qb = vb.quad();
        if(qa != qb) return qa < qb;
        int v = sign(va.det(vb));
        return v == -1;
    };
    sort(a.begin() + 1, a.begin() + n + 1, [](pair<P, P>& a, pair<P, P>& b) {
        P va = a.second - a.first;
        P vb = b.second - b.first;
        int qa = va.quad();
        int qb = vb.quad();
        if(qa != qb) return qa < qb;
        int v = sign(va.det(vb));
        if(v != 0) return v == -1;
        return crossOp(a.first, a.second, b.second) < 0;
    });
    auto right = [](pair<P, P>& a, pair<P, P>& b, pair<P, P>& c) {
        P p = getLL(b.first, b.second, c.first, c.second);
        return crossOp(a.first, a.second, p) <= 0;
    };
    vector<pair<P, P>> q(n + 1);
    int h = 1, t = 1;
    q[1] = a[1];
    for(int i = 2; i <= n; i++) {
        if(compare(a[i], a[i-1])) continue;
        while(h < t && right(a[i], q[t], q[t-1])) t--;
        while(h < t && right(a[i], q[h], q[h+1])) h++;
        q[++t] = a[i];
    }
    while(h < t && right(q[h], q[t], q[t-1])) t--;

    if(h == t) return 0.0;

    vector<P> ans(1);
    for(int i = h, j = 1; i < t; i++, j++) {
        ans.push_back(getLL(q[i].first, q[i].second, q[i+1].first, q[i+1].second));
        P cp = getLL(q[i].first, q[i].second, q[i+1].first, q[i+1].second);
    }
    ans.push_back(getLL(q[t].first, q[t].second, q[h].first, q[h].second));

    return fabs(area(ans));
    // return ans;
}

```

2.5 圆

2.5.1 圆和圆的关系

```
// 判断两个圆之间的关系
int circleIntersect(P o1, db r1, P o2, db r2) {
    db d = o1.distTo(o2);
    if(cmp(d, r1 + r2) == 1) return 4; // 相离
    if(cmp(d, r1 + r2) == 0) return 3; // 外切
    if(cmp(d, abs(r1 - r2)) == 1) return 2; // 相交
    if(cmp(d, abs(r1 - r2)) == 0) return 1; // 内切
    return 0; // 内含
}
```

2.5.2 圆和直线的交点

```
// 获取圆和直线的交点
vector<P> getCL(P o, db r, P p1, P p2) {
    if (cmp(abs((o-p1).det(p2-p1)/p1.distTo(p2)),r)>0) return {};
    db x = (p1-o).dot(p2-p1), y = (p2-p1).abs2(), d = x * x - y * ((p1-o).abs2() - r*r);
    d = max(d,(db)0.0); P m = p1 - (p2-p1)*(x/y), dr = (p2-p1)*(sqrt(d)/y);
    return {m-dr,m+dr}; //along dir: p1->p2
}
```

2.5.3 两个圆的交点

```
// 获取两个圆的交点
// need to check whether two circles are the same
vector<P> getCC(P o1, db r1, P o2, db r2) {
    db d = o1.distTo(o2);
    if (cmp(d, r1 + r2) == 1) return {};
    if (cmp(d,abs(r1-r2))==1) return {};
    d = min(d, r1 + r2);
    db y = (r1 * r1 + d * d - r2 * r2) / (2 * d), x = sqrt(r1 * r1 - y * y);
    P dr = (o2 - o1).unit();
    P q1 = o1 + dr * y, q2 = dr.rot90() * x;
    return {q1-q2,q1+q2}; // along circle 1
}
```

2.5.4 两个圆的切线

```
// 求两个圆的切线
// extanCC(r2>0); intanCC(r2<0); tanCP(r2=0)
vector<pair<P, P>> tanCC(P o1, db r1, P o2, db r2) {
    P d = o2 - o1;
    db dr = r1 - r2, d2 = d.abs2(), h2 = d2 - dr * dr;
    if (sign(d2) == 0 || sign(h2) < 0) return {};
    h2 = max((db)0.0, h2);
    vector<pair<P, P>> ret;
    for (db sign : {-1, 1}) {
        P v = (d * dr + d.rot90() * sqrt(h2) * sign) / d2;
        ret.push_back({o1 + v * r1, o2 + v * r2});
    }
}
```

```

    }
    if (sign(h2) == 0) ret.pop_back();
    return ret;
}

```

2.5.5 圆的内心、外心、垂心

```

// 求三角形内心
P inCenter(P A, P B, P C) {
    double a = (B - C).abs(), b = (C - A).abs(), c = (A - B).abs();
    return (A * a + B * b + C * c) / (a + b + c);
}

// 求三角形外心
P circumCenter(P a, P b, P c) {
    P bb = b - a, cc = c - a;
    double db = bb.abs2(), dc = cc.abs2(), d = 2 * bb.det(cc);
    return a - P(bb.y * dc - cc.y * db, cc.x * db - bb.x * dc) / d;
}

// 求三角形垂心
P orthoCenter(P a, P b, P c) {
    P ba = b - a, ca = c - a, bc = b - c;
    double Y = ba.y * ca.y * bc.y,
    A = ca.x * ba.y - ba.x * ca.y,
    x0 = (Y + ca.x * ba.y * b.x - ba.x * ca.y * c.x) / A,
    y0 = -ba.x * (x0 - c.x) / ba.y + ca.y;
    return {x0, y0};
}

```

2.5.6 最小圆覆盖

```

// 最小圆覆盖
pair<P, db> min_circle(vector<P>& ps) {
    random_shuffle(ps.begin(), ps.end());
    int n = ps.size() - 1;
    P o = ps[0]; db r = 0;
    for(int i = 2; i <= n; i++) if(o.distTo(ps[i]) > r + EPS) {
        o = ps[i]; r = 0;
        for(int j = 1; j < i; j++) if(o.distTo(ps[j]) > r + EPS) {
            o = (ps[i] + ps[j]) / 2; r = o.distTo(ps[i]);
            for(int k = 1; k < j; k++) if(o.distTo(ps[k]) > r + EPS) {
                o = circumCenter(ps[i], ps[j], ps[k]);
                r = o.distTo(ps[i]);
            }
        }
    }
    return {o, r};
}

```

2.5.7 两个向量的夹角

```
// 求两个向量的夹角
db getTheta(P p1, P p2) {
    return atan2(p1.det(p2), p1.dot(p2));
}
```

2.5.8 求圆和三角形的交的有向面积

```
// 求圆和三角形的交的有向面积
// 如果要求圆和简单多边形的面积，需要将圆心置于原点，然后再划分简单多边形求和
db areaCT(db r, P p1, P p2){
    vector<P> is = getCL(P(0,0),r,p1,p2);
    if(is.empty()) return r*r*getTheta(p1,p2)/2;
    bool b1 = cmp(p1.abs2(),r*r) == 1, b2 = cmp(p2.abs2(), r*r) == 1;
    if(b1 && b2){
        P md=(is[0]+is[1])/2;
        if(sign((p1-md).dot(p2-md)) <= 0)
            return r*r*(getTheta(p1,is[0]) + getTheta(is[1],p2))/2 +
            is[0].det(is[1])/2;
        else return r*r*getTheta(p1,p2)/2;
    }
    if(b1) return (r*r*getTheta(p1,is[0]) + is[0].det(p2))/2;
    if(b2) return (p1.det(is[1]) + r*r*getTheta(is[1],p2))/2;
    return p1.det(p2)/2;
}
```

2.5.9 圆的面积并、欧拉公式

```
// 圆的面积并
// 利用格林公式，将面积信息转换为边界信息
// 欧拉公式
//  $V - E + F = 1 + C$ 
// V顶点 E边 F面 C连通块
// 求平面个数都非常困难，通常会将问题转化为求点和边的数量
// 点数：将所有圆的交点求出来，再离散化去重
// 边数：圆上有k个点，那么就有k条边，暴力算出每个圆上有几个交点即可
```

2.6 杂题

2.6.1 平面最近点对

```
void work() {
    int n; n = read();

    vector<P> a(n + 1), b(n + 1);
    for(int i = 1; i <= n; i++) a[i].x=read(), a[i].y=read();

    sort(a.begin() + 1, a.end());
}
```

```

db ans = a[1].distTo(a[2]), lim = sqrt(ans);

function<void(int, int)> solve = [&](int L, int R) {
    if(R - L <= 1) return;
    if(R - L <= 4) {
        for(int i = L; i <= R; i++) for(int j = i + 1; j <= R; j++) {
            db v = a[i].distTo(a[j]); if(v < ans) { ans = v; lim = sqrt(ans); }
        }
        sort(a.begin() + L, a.begin() + R + 1, [](const auto& a, const auto& b)
{ return a.y < b.y; });
        return;
    }

    int mid = L + R >> 1;
    db midx = a[mid].x;
    db midx2 = a[mid+1].x;
    solve(L, mid); solve(mid+1, R);

    int i = L, j = mid+1, k = L;
    while(i <= mid && j <= R) { if(a[i].y < a[j].y) b[k++] = a[i++]; else b[k++]
= a[j++]; }
    while(i <= mid) b[k++] = a[i++];
    while(j <= R) b[k++] = a[j++];
    for(int i = L; i <= R; i++) a[i] = b[i];

    vector<P> t;
    for(int i = L; i <= R; i++) {
        if(cmp(abs(a[i].x - midx), lim) <= 0) {
            for(int j = t.size()-1; j >= 0 && cmp(a[i].y-t[j].y,lim) <= 0; j--)
{
                db v = t[j].distTo(a[i]); if(v < ans) { ans = v; lim =
sqrt(ans); }
            }
            t.push_back(a[i]);
        }
    }
};

solve(1, n);

cout << ans << endl;
}

```

2.6.2 最小矩形覆盖

```

void work() {
    int n;
    cin >> n;

    vector<P> p(n + 1);
}

```

```

for(int i = 1; i <= n; i++) {
    cin >> p[i].x >> p[i].y;
}
p = convexHull(p);
n = p.size() - 1;

p.resize(2 * n + 1);
for(int i = 1; i <= n; i++) p[i + n] = p[i];

P d0 = p[2] - p[1];
int R = 1, L = 1, U = 1;
for(int i = 2; i <= n; i++) {
    P di = p[i] - p[1];
    while(d0.dot(di) > d0.dot(p[R] - p[1])) R = i;
    while(d0.dot(di) < d0.dot(p[L] - p[1])) L = i;
    while(d0.det(di) > d0.det(p[U] - p[1])) U = i;
}

int n2 = 2 * n;
db ans = 1e18;
vector<P> result(4);
for(int i = 1; i <= n; i++) {
    P d = p[i + 1] - p[i];
    while(R + 1 <= n2 && d.dot(p[R + 1] - p[i]) > d.dot(p[R] - p[i])) R++;
    while(L + 1 <= n2 && d.dot(p[L + 1] - p[i]) < d.dot(p[L] - p[i])) L++;
    while(U + 1 <= n2 && d.det(p[U + 1] - p[i]) > d.det(p[U] - p[i])) U++;

    db s1 = d.dot(p[R] - p[L]) / d.abs();
    db s2 = d.det(p[U] - p[i]) / d.abs();
    db S = s1 * s2;
    if(S < ans) {
        ans = S;
        // down: p[i], p[i]+d
        // up : p[u], p[u]+d
        // righ: p[r], p[r]+d.rot90()
        // left: p[l], p[l]+d.rot90()
        result[0] = getLL(p[i], p[i] + d, p[L], p[L] + d.rot90());
        result[1] = getLL(p[i], p[i] + d, p[R], p[R] + d.rot90());
        result[2] = getLL(p[U], p[U] + d, p[R], p[R] + d.rot90());
        result[3] = getLL(p[U], p[U] + d, p[L], p[L] + d.rot90());
    }
}

int mnp = 0;
for(int i = 1; i <= 3; i++) {
    if(cmp(result[i].y, result[mnp].y) < 0) {
        mnp = i;
    } else if(cmp(result[i].y, result[mnp].y) == 0 && cmp(result[i].x,
result[mnp].x) < 0) {
        mnp = i;
    }
}
}

```

```

cout << fixed << setprecision(7) << ans << endl;
for(int i = 0; i <= 3; i++) {
    cout << result[(i+mp)%4].x << " " << result[(i+mp)%4].y << endl;
}
}

```

3. 字符串

/* 约定，所有字符串均为1-index */

3.1 KMP

```

vector<int> nxt(m + 1);
for(int i = 2, j = 0; i <= m; i++) {
    while(j && b[i] != b[j + 1]) j = nxt[j];
    if(b[i] == b[j + 1]) j++;
    nxt[i] = j;
}

for(int i = 1, j = 0; i <= n; i++) {
    while(j && a[i] != b[j + 1]) j = nxt[j];
    if(a[i] == b[j + 1]) j++;
    if(j == m) cout << i - m + 1 << endl;
}

```

3.2 EXKMP

```

vector<int> z(m + 1);
int l = 0, r = 0;
for(int i = 2; i <= m; i++) {
    z[i] = i <= r ? min(z[i - l + 1], r - i + 1) : 0;
    while(i + z[i] <= m && b[z[i] + 1] == b[i + z[i]]) z[i]++;
    if(i + z[i] - 1 > r) l = i, r = i + z[i] - 1;
}

vector<int> p(n + 1);
l = 0, r = 0;
for(int i = 1; i <= n; i++) {
    p[i] = i <= r ? min(z[i - l + 1], r - i + 1) : 0;
    while(i + p[i] <= n && b[p[i] + 1] == a[i + p[i]]) p[i]++;
    if(i + p[i] - 1 > r) l = i, r = i + p[i] - 1;
}

```

3.3 Manacher

```
int m = (n << 1) + 1;
string t(m + 1, ' ');
for(int i = 1; i <= n; i++) {
    t[(i << 1) - 1] = '#';
    t[(i << 1)] = s[i];
}
t[m] = '#';

vector<int> f(m + 1);
int md = 0, r = 0, j, k;
for(int i = 1; i <= m; i++) {
    if(i <= r) f[i] = min(r - i, f[(md << 1) - i]);
    while(i - f[i] - 1 >= 1 && i + f[i] + 1 <= m && t[i - f[i] - 1] == t[i + f[i] + 1]) f[i]++;
    if(i + f[i] - 1 > r) md = i, r = i + f[i] - 1;
}

int ans = 1;
for(int i = 1; i <= m; i++) ans = max(ans, f[i]);
cout << ans << endl;
```

3.4 AC自动机

```
/**
 * n个模式串si 和 一个文本串t, 求每个模式串的在文本串里的出现次数
 * ① 建Trie
 * ② 从根开始Bfs
 * long long 对效率存在影响, 建议不开启 #define int long long
 */

struct ACAutomaton { // 默认无多测
    const static int maxn = 1e6 + 10; // 字符串总长
    const static int M = 26; // 字符集
    struct Node {
        int son[M], go[M], fail;
        int cnt;
    } t[maxn];
    int tot, rt, cur;

    int newNode() {
        tot++;
        memset(t[tot].son, 0, sizeof(t[tot].son));
        memset(t[tot].go, 0, sizeof(t[tot].go));
        t[tot].fail = t[tot].cnt = 0;
        return tot;
    }

    void init() { tot = 0; rt = newNode(); }

    int insert(const string& s) { // 1-index
```



```

        int n = s.size() - 1;
        int p = rt;
        for(int j = 1; j <= n; j++) {
            int e = s[j] - 'a';
            if(!t[p].son[e]) t[p].son[e] = newNode();
            p = t[p].son[e];
        }
        return p;
    }

    int q[maxn + 1];
    int t1;
    void build() {
        t1 = 0;
        q[++t1] = rt;
        for(int i = 1; i <= t1; i++) {
            int p = q[i];
            for(int j = 0; j < M; j++) {
                if(t[p].son[j]) {
                    t[p].go[j] = t[p].son[j];
                    t[t[p].son[j]].fail = (p == rt ? rt : t[t[p].fail].go[j]);
                    q[++t1] = t[p].son[j];
                } else {
                    t[p].go[j] = (p == rt ? rt : t[t[p].fail].go[j]);
                }
            }
        }
    }

    void query(const string& s) { // 1-index
        int n = s.size() - 1;
        int p = rt;
        for(int i = 1; i <= n; i++) {
            int e = s[i] - 'a';
            p = t[p].go[e];
            t[p].cnt += 1;
        }
        for(int i = t1; i >= 1; i--) {
            int p = q[i];
            t[t[p].fail].cnt += t[p].cnt;
        }
    }
};

ACAutomaton ac; // 多测记得清空

```

3.5 后缀数组 - 倍增 $O(n \log n)$

```
// long long 对效率存在影响, 建议不开启 #define int long long
// all vec is 1-index; ht[2..n]
void buildSA(string& s, vector<int>& sa, vector<int>& rk, vector<int>& ht, int M = 128) {
    int n = s.size() - 1;
    sa = rk = ht = vector<int>(n + 1);
    vector<int> x(n + 1), y(n + 1), c(max(n, M) + 1);
    for(int i = 1; i <= n; i++) c[x[i] = s[i]]++;
    for(int i = 2; i <= M; i++) c[i] += c[i - 1];
    for(int i = n; i >= 1; i--) sa[c[x[i]]--] = i;
    for(int k = 1; k <= n; k <= 1) {
        int p = 0;
        for(int i = n - k + 1; i <= n; i++) y[++p] = i;
        for(int i = 1; i <= n; i++) if(sa[i] > k) y[++p] = sa[i] - k;
        for(int i = 1; i <= M; i++) c[i] = 0;
        for(int i = 1; i <= n; i++) c[x[i]]++;
        for(int i = 2; i <= M; i++) c[i] += c[i - 1];
        for(int i = n; i >= 1; i--) sa[c[x[y[i]]]--] = y[i];
        swap(x, y);
        p = 1; x[sa[1]] = 1;
        for(int i = 2; i <= n; i++)
            x[sa[i]] = y[sa[i-1]] == y[sa[i]] && y[sa[i-1]+k] == y[sa[i]+k] ? p :
++p;
        if(p == n) break;
        M = p;
    }
    for(int i = 1; i <= n; i++) rk[sa[i]] = i;
    s.push_back(0);
    for(int i = 1, k = 0; i <= n; i++) {
        k = max(k - 1, 0);
        if(rk[i] == 1) continue;
        int j = sa[rk[i] - 1];
        while(s[i + k] == s[j + k]) k++;
        ht[rk[i]] = k;
    }
}

// n=1e5时, 倍增241ms, SAIS 178ms (dls-oj)
// n=1e6时, SAIS 0.3s (reference)
// n=3e5, define int long long 影响 < 100ms
void work() {
    string s;
    cin >> s;
    int n = s.size();
    s = " " + s;

    vector<int> sa, rk, ht;
    buildSA(s, sa, rk, ht); // 1-index
```

```

// ST-LCP 按需
int lim = __lg(n);
vector<vector<int>> st(lim + 1, vector<int>(n + 1));
for(int i = 1; i <= n; i++) st[0][i] = ht[i];
for(int k = 1; k <= lim; k++) {
    int lim2 = n - (1 << k) + 1;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {
        st[k][i] = min(st[k-1][i], st[k-1][i+(1<<k-1)]);
    }
}

auto query = [&](int L, int R) {
    int k = __lg(R - L + 1);
    return min(st[k][L], st[k][R-(1<<k)+1]);
};

auto LCP = [&](int u, int v) {
    if(u == v) return n - u + 1;
    if(rk[u] > rk[v]) swap(u, v);
    // RMQ(ht, rk[u] + 1, rk[v])
    return query(rk[u] + 1, rk[v]);
};

// input: abaabaaabaaaab
// output: 10 11 6 12 7 3 13 8 4 1 14 9 5 2
//          3 4 2 3 6 1 2 5 4 0 1 4 3
for(int i = 1; i <= n; i++) cout << sa[i] << " "; cout << endl;
// for(int i = 2; i <= n; i++) cout << ht[i] << " "; cout << endl;
// for(int i = 2; i <= n; i++) cout << LCP(sa[i-1], sa[i]) << " "; cout << endl;
}

```

3.6 后缀数组 - SAIS $O(n)$

```

// long long 对效率存在影响, 建议不开启 #define int long long
struct SA{
    static const int MAX_LEN=1e6+5;
    static const int SIGMA=128;
    int str[MAX_LEN<<1];
    int type[MAX_LEN<<1];
    int LMS[MAX_LEN<<1];
    int sa[MAX_LEN];
    int rank[MAX_LEN];
    int cnt[MAX_LEN];
    int cur[MAX_LEN];
    void inducedsort(int *str,int len,int sigma,int *LMS,int LMSC,int *type){
        #define PUSH_S(x) (sa[cur[str[x]]--] = x)
        #define PUSH_L(x) (sa[cur[str[x]]++] = x)
        memset(sa,-1,sizeof(int)*(len+2));memset(cnt,0,sizeof(int)*(sigma+2));
        for(int i=0;i<len;i++)++cnt[str[i]];
        for(int i=1;i<sigma;i++)cnt[i]+=cnt[i-1];
        for(int i=0;i<sigma;i++)cur[i]=cnt[i]-1;
        for(int i=LMSC-1;i>=0;--i)PUSH_S(LMS[i]);
        for(int i=1;i<sigma;i++)cur[i]=cnt[i-1];
    }
};

```

```

        for(int i=0;i<len;i++)sa[i]>0&&type[sa[i]-1]==0&&PUSH_L(sa[i]-1);
        for(int i=0;i<sigma;i++)cur[i]=cnt[i]-1;
        for(int i=len-1;i>=0;--i)sa[i]>0&&type[sa[i]-1]&&PUSH_S(sa[i]-1);
        #undef PUSH_S
        #undef PUSH_L
    }
    void sais(int *str,int len,int sigma,int *LMS,int *type){
        type[len-1]=1;
        for(int i=len-2;i>=0;--i)type[i]=(str[i]==str[i+1]?type[i+1]:str[i]
<str[i+1]);
        int LMSC=0;
        rank[0]=-1;
        for(int i=1;i<len;i++)rank[i]=(type[i]&&!type[i-1])?(LMS[LMSC]=i,LMSC++):-1;
        inducedsort(str,len,sigma,LMS,LMSC,type);
        int tot=-1;
        int *s1=str+len;
        for(int i=0,now,last;i<len;i++){
            if(-1==(now=rank[sa[i]]))continue;
            if(tot<1||LMS[now+1]-LMS[now]!=LMS[last+1]-LMS[last])++tot;
            else for(int j=LMS[now],k=LMS[last];j<LMS[now+1];++j,++k)if((str[j]
<<1|type[j])!=(str[k]<<1|type[k])){
                ++tot;
                break;
            }
            s1[last=now]=tot;
        }
        if(tot+1<LMSC)sais(s1,LMSC,tot+1,LMS+LMSC,type+len);
        else for(int i=0;i<LMSC;i++)sa[s1[i]]=i;
        for(int i=0;i<LMSC;i++)s1[i]=LMS[sa[i]];
        inducedsort(str,len,sigma,s1,LMSC,type);
    }
    // 0-index
    void buildSA(string& s, vector<int>& sa, vector<int>& rk, vector<int>& ht){
        int n = s.size();
        sa = rk = ht = vector<int>(n + 1);
        for(int i = 0; i < n; i++) str[i] = s[i];
        sais(str, n + 1, SIGMA, LMS, type);
        for(int i = 1; i <= n; i++) sa[i] = this->sa[i] + 1;
        for(int i = 1; i <= n; i++) rk[sa[i]] = i;
        s.push_back(0);
        for(int i = 1, k = 0; i <= n; i++) {
            k = max(k - 1, 0);
            if(rk[i] == 1) continue;
            int j = sa[rk[i] - 1];
            while(s[i + k] == s[j + k]) k++;
            ht[rk[i]] = k;
        }
    }
}
};

void work() {
    string s;

```

```

cin >> s;
int n = s.size();

vector<int> sa, rk, ht;
s.buildSA(s, sa, rk, ht); // 0-index

for(int i = 1; i <= n; i++) cout << sa[i] << " "; cout << endl;
}

```

3.7 后缀自动机

```

struct SAM {
    static const int M = 26;
    struct Node {
        int len, link;
        int nxt[M];
    };
    vector<Node> t;
    int N, lst;

    Node& operator[] (int i) { return t[i]; }

    SAM(int n = 0) { init(n); }
    void init(int n) {
        t.resize(2 * n + 1); // 2n-1 Points, 3n-4 Edges
        N = 0;
        t[++N].len = 0;
        t[N].link = 0;
        memset(t[N].nxt, 0, sizeof(t[N].nxt));
        lst = N;
    }

    void add(char c) {
        c -= 'a';
        if(t[lst].nxt[c] && t[lst].len + 1 == t[t[lst].nxt[c]].len) { // for exSAM
            lst = t[lst].nxt[c];
            return;
        }

        int x = ++N;
        t[N].len = t[lst].len + 1;
        t[N].link = 0;
        memset(t[N].nxt, 0, sizeof(t[N].nxt));

        int p = lst;
        lst = x;
        for(; p && !t[p].nxt[c]; p = t[p].link) t[p].nxt[c] = x;
        if(!p) {
            t[x].link = 1;
        } else {
            int q = t[p].nxt[c];

```

```

        if(t[p].len + 1 == t[q].len) {
            t[x].link = q;
        } else {
            int cl = ++N;
            t[cl] = t[q];
            t[cl].len = t[p].len + 1;
            if(t[cl].len == t[x].len) lst = cl;
            for(; p && t[p].nxt[c] == q; p = t[p].link) t[p].nxt[c] = cl;
            t[q].link = t[x].link = cl;
        }
    }
}
};

```

3.8 广义后缀自动机 (缺)

3.9 题: SAM+线段树合并+树上倍增 (缺)

3.10 最小表示法

```

// C++ Version
int k = 0, i = 0, j = 1;
while (k < n && i < n && j < n) {
    if (sec[(i + k) % n] == sec[(j + k) % n]) {
        k++;
    } else {
        sec[(i + k) % n] > sec[(j + k) % n] ? i = i + k + 1 : j = j + k + 1;
        if (i == j) i++;
        k = 0;
    }
}
i = min(i, j);

```

3.11 杂题

- JSOI 2007 文本生成器 (AC自动机+DP)
 - 题意: 给定 m 个字符串 s_i , 求长度为 n 且包含至少一个 s_i 的字符串的方案数。
 - 数据范围: $1 \leq n \leq 60, 1 \leq m \leq 100, 1 \leq |s_i| \leq 100$
 - 题解: AC自动机上DP, $dp[i][j][0/1]$: 填了 i 个字符, 在AC自动机上转移到第 j 个点, 是否经过任意一个 s_i 的方案数
- POI 2000 病毒 (AC自动机)
 - 题意: 给定 n 个 01 串 s_i , 求是否存在一个无限长的 01 串, 使得该串不包含任意一个 s_i
 - 数据范围: $1 \leq n \leq 2000, \sum |s_i| \leq 5e4$
 - 题解: 若AC自动机上存在一个不经过 **标记点** 的环, 则存在一个合法无限长 01 串。
 - 标记点: 表示一个完整 s_i 的节点。
 - 找环: 直接dfs, 若下一个点, 已经访问过且在栈中, 则找到一个环。

- 阿狸的打字机 (Fail树)
 - 题意: 给定一个Trie树, 有 m 次询问, 每次求一个节点表示的字符串, 在另一个节点表示的字符串中出现了几次。
 - 题解: (应该是) 等价于, 在Fail树上, 这两个节点必须满足一个是另一个的祖先, 而次数即为两个点的距离。
- AHOI 2013 差异 (后缀数组)
 - 题意: 求 $\sum_{1 \leq i < j \leq n} \text{len}(T_i) + \text{len}(T_j) - 2 * \text{LCP}(T_i, T_j)$
 - 题解: 后缀数组 + 笛卡尔树上计数 (或并查集等经典模型)

4. 数据结构

4.1 线性基

```
struct LB {
    int n;
    vector<int> a;
    LB(int n = 0) { init(n); }
    void init(int n) { this->n = n; a.resize(n + 1); }

    bool insert(int x) {
        for(int i = n; i >= 0; i--) if(x >> i & 1) {
            if(a[i] == 0) {
                a[i] = x;
                return true;
            }
            x ^= a[i];
        }
        return false;
    }

    void flush() { // 让线性基形成最简行阶梯矩阵
        for(int i = 0; i <= n; i++) {
            if(a[i] == 0) continue;
            for(int j = i + 1; j <= n; j++) {
                if(a[j] == 0) continue;
                if(a[j] >> i & 1) a[j] ^= a[i];
            }
        }
    }

    int queryMin(int x) {
        for(int i = n; i >= 0; i--) {
            x = min(x, x ^ a[i]);
        }
        return x;
    }

    int queryMax(int x) {
        for(int i = n; i >= 0; i--) {
            x = max(x, x ^ a[i]);
        }
    }
}
```

```

    }
    return x;
}
};

void work() {
    int n, k;
    cin >> n >> k;

    vector<int> a(n + 1);
    for(int i = 1; i <= n; i++) cin >> a[i];

    LB b(60);
    int cnt0 = 0;
    for(int i = 1; i <= n; i++) {
        if(!b.insert(a[i])) {
            cnt0++;
        }
    }

    // 为什么是向下取整呢？因为有第0小的数，所以是向下取整
    k = k / (1LL << cnt0);
    // k >= cnt0;

    int ans = 0;
    int cnt = 0;
    for(int i = 0; i < B; i++) {
        if(b.a[i] == 0) continue;
        cnt++;
    }
    cnt--;
    for(int i = B - 1; i >= 0; i--) {
        if(b.a[i] == 0) continue;
        if(k >= (1LL << cnt)) {
            k -= 1LL << cnt;
            ans = max(ans, ans ^ b.a[i]);
        } else {
            ans = min(ans, ans ^ b.a[i]);
        }
        cnt--;
    }

    cout << ans << endl;
}

```

5. 图论

6. 数论

6.1 逆元

```
//线性求1~n逆元
inv[i] = (MOD - MOD / i) * inv[MOD % i] % MOD;
//线性求n个不同数的逆元
s[1] = a[1];
for(int i = 2; i <= n; i++) s[i] = s[i - 1] * a[i] % MOD;
inv[n] = Pow(s[n], MOD - 2);
for(int i = n - 1; i >= 1; i--) inv[i] = inv[i + 1] * a[i + 1] % MOD;
for(int i = 2; i <= n; i++) inv[i] = inv[i] * s[i - 1] % MOD;
//卢卡斯定理
// - 若p为质数, 则
// -  $C(n, m) \% MOD = C(n / MOD, m / MOD) * C(n \% MOD, m \% MOD) \% MOD$ ;
// - 第一部分递归处理, 第二部分逆元处理
```

9. 其他

9.1 树哈希

```
// O(m*logm * n)
// O(n) per query
const int maxn = 100 + 10;

int n;
vector<int> e[maxn];

int f[maxn];
int sz[maxn];
int pri[10010];
bool isNPri[10010];

void getPri() {
    for(int i = 2; i <= 10000; i++) {
        if(!isNPri[i]) pri[++pri[0]] = i;
        for(int j = 1; i * pri[j] <= 10000 && j <= pri[0]; j++) {
            isNPri[i * pri[j]] = 1;
            if(i % pri[j] == 0) break;
        }
    }
}

int rt[3];
int szm[maxn];
int sum;
void get_rt(int x, int fa) {
    sz[x] = 1;
    szm[x] = 0;
    for(auto y: e[x]) {
        if(y == fa) continue;
        get_rt(y, x);
    }
}
```

```

        sz[x] += sz[y];
        szm[x] = max(szm[x], sz[y]);
    }
    szm[x] = max(szm[x], sum - sz[x]);
    if(szm[x] < szm[rt[1]]) rt[1] = x;
    else if(szm[x] == szm[rt[1]]) rt[2] = x;
}

void dfs(int x, int fa) {
    sz[x] = 1;
    f[x] = 1;
    for(auto y: e[x]) {
        if(y == fa) continue;
        dfs(y, x);
        sz[x] += sz[y];
        f[x] += f[y] * pri[sz[y]];
    }
}

map<pair<int, pair<int, int> >, int> hsh;
void work() {
    getPri();

    int m;
    cin >> m;
    for(int T = 1; T <= m; T++) {
        cin >> n;
        for(int i = 1; i <= n; i++) e[i].clear();
        for(int i = 1; i <= n; i++) {
            int x; cin >> x;
            if(x) { e[x].push_back(i); e[i].push_back(x); }
        }

        sum = n;
        rt[1] = 0;
        rt[2] = 0; // 下面要检测所以要赋初值
        szm[0] = n + 1;
        get_rt(1, 0);

        pair<int, int> fvalue;

        if(szm[rt[1]] != szm[rt[2]]) {
            dfs(rt[1], 0);
            fvalue = make_pair(f[rt[1]], 0);
        } else {
            dfs(rt[1], 0);
            fvalue = make_pair(f[rt[1]], 0);
            dfs(rt[2], 0);
            fvalue.second = f[rt[2]];
            if(fvalue.first < fvalue.second)
                swap(fvalue.first, fvalue.second);
        }
    }
}

```

```
pair<int, pair<int, int> > va = make_pair(n, fvalue);  
if(hsh[va] == 0) {  
    hsh[va] = T;  
}  
cout << hsh[va] << endl;  
}  
}
```