

algorithm template

zinan.xu.dev@gmail.com

January 4, 2026

Contents

Contents	2
数论	3
素性检测	3
大合数分解	4
二次剩余-膜意义下开方	5
Nim积	7
树	9
树的直径	9
最近公共祖先	10
树同构	12
图论	15
单源最短路	15
有向图-强连通分量	16

数论

素性检测

```
1  #include <vector>
2  namespace PrimeTest {
3      long long mul(long long a, long long b, long long mod){
4          return (__int128) a * b % mod;
5      }
6
7      long long Pow(long long a, long long b, long long mod){
8          //mod <= 10^18.
9          long long res = 1;
10         while(b){
11             if (b&1) res = mul(res, a, mod);
12             b >>= 1;
13             a = mul(a, a, mod);
14         }
15         return res;
16     }
17
18     std::vector<long long> pr = {2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31,
19     ↪ 37};
20
21     bool rabin_test(long long a, long long n, long long s, long long d){
22         long long u = Pow(a, d, n);
23         if (u == 1 or u == n - 1) return false;
24
25         for(long long i = 1; i < s; i++){
26             u = mul(u, u, n);
27             if (u == n - 1) return false;
28         }
29         return true;
30     }
31
32     bool rabin_miller(long long n){
33         if (n < 2) return false;
34         if (n % 2 == 0) return n==2;
35         long long res = 1;
36         long s = 0, d = n-1;
37         while(d%2==0) {
38             s++;
39             d>>=1;
40         }
```

```

41         for(long long i = 0; i < pr.size(); i++){
42             if (n%pr[i] == 0) {
43                 return n == pr[i];
44             }
45             if (rabin_test(pr[i], n, s, d)){
46                 return false;
47             }
48         }
49         return true;
50     }
51 }

```

大合数分解

该板子依赖了【数论】-【素性检测】的板子

```

1  #include <vector>
2  #include <algorithm>
3  namespace Factorize {
4      /*
5       * 可以分解不超过 LONG_LONG_MAX 的合数的所有因子，期望复杂度为
6       *  ↪  $O(n^{1/4})$ 
7       */
8      using namespace PrimeTest;
9
10     /*
11     * 牛逼plus的gcd
12     * 由于不用做除法和取模，只用了二进制命令和减法，所以速度非常快
13     * 这里不是朴素的更相减损术，而是用了一些优雅的性质
14     */
15     long long gcd(long long _a, long long _b) {
16         unsigned long long a = abs(_a), b = abs(_b);
17         if (a == 0) return b;
18         if (b == 0) return a;
19         int shift = __builtin_ctzll(a|b); // 拿到了最多有多少个2
20         a >>= __builtin_ctzll(a); // 这里保证了a是奇数
21         do {
22             b >>= __builtin_ctzll(b); // 这里保证了b是奇数
23             if (a > b) std::swap(a, b);
24             b -= a; // 这里两个奇数相减，一定是偶数，在下一个循环中至少二进
25             ↪ 制会少一位
26         } while (b);
27         return (a << shift);
28     }
29 }

```

```

28     /*
29     * 返回n的任意一个素因子
30     * 用一个优雅的近似随机数来判断是否是素数
31     * 如果随机过程均匀，期望复杂度是  $O(n^{\{1/4\}} * \log(n))$ 
32     */
33     long long pollard_single(long long n) {
34         if (rabin_miller(n)) return n;
35         if (n%2==0) return 2;
36         long long st = 0;
37         auto f = [&](long long x) { return (__int128(x) * x + st) % n; };
38         while (true) {
39             st++;
40             long long x = st, y = f(x);
41             while (true) {
42                 long long p = gcd((y - x + n), n);
43                 if (p == 0 or p == n) break;
44                 if (p != 1) return p;
45                 x = f(x);
46                 y = f(f(y));
47             }
48         }
49     }
50
51     /*
52     * 返回n的所有素因子
53     * n的因子越多，该算法越快
54     * 近似复杂度可以用  $O(n^{\{1/4\}})$  估计
55     */
56     std::vector<long long> pollard(long long n) {
57         if(n==1) return {};
58         auto x = pollard_single(n);
59         if (x==n) return {x};
60         auto l = pollard(x);
61         auto r = pollard(n/x);
62         l.insert(l.end(), r.begin(), r.end());
63         return l;
64     }
65 }

```

二次剩余-膜意义下开方

```

1  #include <vector>
2  namespace SqrtMod {
3      long long mod, i2;
4      struct Complex {

```

```

5     long long a, b;
6     Complex(long long _a, long long _b) : a(_a), b(_b) {}
7     Complex operator*(const Complex& other) {
8         return Complex((a*other.a + i2*b%mod*other.b%mod)%mod,
9             ↪ (a*other.b + b*other.a)%mod);
10    }
11    Complex operator%(long long _mod) {
12        return *this;
13    }
14};
15
16// long long的快速幂和Complex的放一起了
17template<typename T>
18void qpow(T a, long long b, long long mod, T& ans) {
19    while (b) {
20        if (b & 1) ans = ans * a % mod;
21        a = a * a % mod;
22        b >>= 1;
23    }
24}
25
26/*
27 * 膜意义下的开方（二次剩余）：找到  $x$  使得  $x^2 \equiv a \pmod{p}$ 
28 * 复杂度:  $O(\log p)$ 
29 * 限制:
30 *   -  $a < 2^{31}$ 
31 *   -  $p < 2^{31}$ 
32 *   -  $p$  是素数
33 * 返回:  $p$ 范围内的所有满足条件的 $x$ 
34 */
35std::vector<int> sqrt_mod(int a, int p) {
36    if(a<=1 || p == 2) return {a};
37    // 判断a是否是二次剩余
38    long long remind = 1;
39    if(qpow((long long)a, (p-1)/2, p, remind); remind != 1) {
40        return {-1};
41    }
42
43    long long b, d; // d = b*b-a 是二次非剩余
44    while(true) {
45        b = rand() % p;
46        d = (b*b - a) % p;
47        if(d < 0) d += p;
48        remind = 1;
49        qpow(d, (p-1)/2, p, remind);
50        if(remind != 1) break;
51    }
52}

```

```

50     }
51     mod = p;
52     i2 = d;
53
54     // 计算  $(a+i)^{(p+1)/2}$ 
55     Complex data_(b, 1);
56     Complex power(1, 0);
57     qpow(data_, (p+1)/2, p, power);
58
59     int ans = power.a % p;
60     return (ans > p-ans ? std::vector<int>{p-ans, ans} :
        ↪ std::vector<int>{ans, p-ans});
61 }
62 }
63

```

Nim积

```

1  #include <cstring>
2  namespace NimProd {
3      using ull = unsigned long long;
4      ull cache[257][257];
5      /*
6       * 计算nim积
7       * 限制:
8       *     -  $x, y$  在 unsigned long long 范围内
9       * 复杂度:  $O(\log^2(\max(x, y)))$ 
10     */
11     ull solve(ull x, ull y, int p = 32) {
12         if (x <= 1 || y <= 1) return x * y;
13         if (p < 8 && cache[x][y]) return cache[x][y]; // 小缓存优化
14
15         ull a = x >> p;
16         ull b = ((1ull << p) - 1) & x;
17         ull c = y >> p;
18         ull d = ((1ull << p) - 1) & y;
19
20         ull bd = solve(b, d, p >> 1);
21         ull ac = solve(solve(a, c, p >> 1), 1ull << p >> 1, p >> 1);
22
23         ull ans = ((solve(a ^ b, c ^ d, p >> 1) ^ bd) << p) ^ ac ^ bd;
24         if (p < 8) cache[x][y] = cache[y][x] = ans;
25         return ans;
26     }
27     void init() {

```

```
28         memset(cache, 0, sizeof(cache));
29         for(int i = 0; i < 256; i++) {
30             for(int j = 0; j < 256; j++) {
31                 solve(i, j);
32             }
33         }
34     }
35 }
36
```


树

树的直径

```
1  #include <vector>
2  #include <tuple>
3  namespace TreeDiameter {
4      /*
5       * 无向正权树的最大直径，限制：
6       * 1. 直径需要<= LONG_LONG_MAX
7       * 2. 单颗树，而非森林
8       */
9      using namespace std;
10     using Graph = vector<vector<pair<int, long long>>>; // 起点对应的
        ↳ 边(终点 & 权值)
11
12     /*
13     * Input: 树，起始点
14     * Output: 离起始点最大的距离，对应的点
15     * 复杂度: O(边数)
16     */
17     pair<long long, int> dfs(const vector<vector<pair<int, long long>>>
        ↳ &g, int cur, int par = -1) {
18         pair<long long, int> ret(0, cur);
19         for (auto e : g[cur]) {
20             if (e.first == par) continue;
21             auto cost = dfs(g, e.first, cur);
22             cost.first += e.second;
23             ret = max(ret, cost);
24         }
25         return ret;
26     }
27     /*
28     * Input: 树
29     * Output: 直径起点，直径终点，直径长度
30     */
31     tuple<int, int, long long> tree_diameter(const
        ↳ vector<vector<pair<int, long long>>> &g) {
32         auto u = dfs(g, 0, -1).second;
33         long long dist;
34         int v;
35         tie(dist, v) = dfs(g, u, -1);
36         return make_tuple(u, v, dist);
37     }
38 }
```

```

39  /*
40  * 会搜索出一条从 $cur$ 到 $goal$ 的路径，结果会放在 $path$ 里面
41  * Input: 树
42  * Output: 路径
43  * 复杂度:  $O(\text{边数})$ 
44  */
45  void path_restoration(const vector<vector<pair<int, long long>>> &g,
46  ↪ vector<int> &path, int cur, int par, int &goal) {
47      path.push_back(cur);
48      if (cur == goal) {
49          goal = -1;
50          return;
51      }
52      for (auto e : g[cur]) {
53          int nxt = e.first;
54          if (nxt == par) continue;
55          path_restoration(g, path, nxt, cur, goal);
56          if (goal == -1) return;
57      }
58
59      if (goal == -1) {
60          return;
61      }
62      path.pop_back();
63  }
64  }
65

```

最近公共祖先

```

1  #include <vector>
2
3  namespace LCA {
4  #define V vector
5      /*
6      * 最近公共祖先，限制：
7      * 1.  $root$ 必须为0 / 1
8      * 2. 总复杂度  $O(q \cdot \log(n) + n \cdot \log(n))$  //  $q$ 次查询，一共 $n$ 个节点，建树过
9      ↪ 程  $n \cdot \log(n)$ ，每次查询  $\log(n)$ 
10     */
11     using namespace std;
12     class Tree {
13     private:
14         int n_;

```

```

14     int root_;
15     int lg;
16     V<int> depth;
17     V<V<int>> father;
18     V<V<int>> son;
19     /*
20     * 从跟节点dfs, 来构建depth数组
21     * 复杂度: O(n)
22     */
23     void dfs(int now, int pre = -1, int dep = 1) {
24         depth[now] = dep;
25         father[0][now] = pre;
26         for(auto s : son[now]) {
27             if(s==pre) continue;
28             dfs(s, now, dep+1);
29         }
30     }
31     /*
32     * 构建祖先关系, 倍增构建
33     * 复杂度: O(n*log(n))
34     */
35     void build_father() {
36         for(int i = 1; i < lg; i++) {
37             for(int j = root_; j < n_ + (root_==1); j++) {
38                 father[i][j] = (father[i-1][j] == -1) ? -1 :
39                     ↪ father[i-1][father[i-1][j]];
40             }
41         }
42     public:
43         Tree(int root, int n) {
44             root_ = root;
45             n_ = n;
46             lg = 1;
47             while((1<<lg) < n) lg++;
48             depth.resize(n+(root==1));
49             father = V<V<int>>(lg, V<int>(n+(root==1), -1));
50             son = V<V<int>>(n+(root==1), V<int>(0));
51         }
52     /*
53     * 增加一个父子关系, now的父亲是pre
54     * 复杂度: O(1)
55     */
56     void add(int pre, int now) {
57         son[pre].push_back(now);
58     }

```

```

59         son[now].push_back(pre);
60     }
61
62     /*
63     * 完整建树，需要在add完所有父子关系才可以调用
64     * 复杂度:  $O(n \log(n))$ 
65     */
66     void build() {
67         this->dfs(root_);
68         this->build_father();
69     }
70
71     /*
72     * 查询u和v的最近公共祖先
73     * 复杂度:  $O(\log(n))$ 
74     */
75     int query_lca(int u, int v) {
76         if(depth[u] > depth[v]) {
77             swap(u, v);
78         }
79         int depth_diff = depth[v] - depth[u];
80         for(int i = 0; i < lg; i++) {
81             if(depth_diff & (1<<i)) {
82                 v = father[i][v];
83             }
84         }
85         if(u == v) {
86             return u;
87         }
88         for(int i = lg - 1; i >= 0; i--) {
89             if(father[i][u] != father[i][v]) {
90                 u = father[i][u];
91                 v = father[i][v];
92             }
93         }
94         return father[0][u];
95     }
96 };
97 }

```

树同构

```

1  #include <vector>
2  #include <map>
3  #include <algorithm>

```

```

4  namespace TreeIsomorphism {
5      /*
6       * 判断有根树是否同构，限制：
7       * 1. root只能为0或者1
8       * 2. 复杂度  $O(n \cdot \log(n))$ 
9       */
10     using namespace std;
11     class Tree {
12     private:
13         int n_, root_;
14         vector<vector<int>> son;
15         map<vector<int>, int> mp;
16         vector<int> t;
17         /*
18          * 建树过程
19          * 每次会从root开始遍历，记录每个子节点的编号，并从map中判断是否已
20          *   ↳ 经存在同构结构
21          * 为了保证同构，所以需要有一个sort来保证子节点编号不影响结果
22          */
23     void dfs(int root, int pre) {
24         vector<int> v(1, 0);
25         for(auto i : son[root]) {
26             if(i==pre) continue;
27             dfs(i, root);
28             v.push_back(t[i]);
29         }
30         sort(v.begin(), v.end());
31         if(mp.find(v) == mp.end()) {
32             mp[v] = mp.size();
33         }
34         t[root] = mp[v];
35     }
36     public:
37     Tree(int n, int root) {
38         n_ = n;
39         root_ = root;
40         t = vector<int>(n+(root==1), 0);
41         son.resize(n+(root==1));
42     }
43
44     /*
45     * 添加边
46     * 这里只要是无向边就行了，不需要保证u是v的父亲
47     */
48     void add_edge(int u, int v) {

```

```

49         son[u].push_back(v);
50         son[v].push_back(u);
51     }
52
53     /*
54     * 构建树
55     * 这里会计算出每个节点的结构，并给一个编号，保证编号相同的节点对应
56     *   ↳ 的子树是同构的
57     */
58     void build() {
59         dfs(root_, -1);
60     }
61
62     /*
63     * 返回有多少个不同构的子树
64     */
65     int get_size() {
66         return mp.size();
67     }
68
69     /*
70     * 返回每个子树的编号
71     * Input: 每个节点的编号
72     * Output: 每个子树的结构编号
73     * 仅保证相同结构的子树返回的编号一致，不保证节点更多的子树编号更大
74     */
75     int get_mask(int i) {
76         return t[i];
77     }
78 };

```

图论

单源最短路

```
1  #include <vector>
2  #include <set>
3  #include <algorithm>
4  namespace ShortestPath {
5      /*
6       * 单源最短路
7       * 限制:
8       *     - 复杂度  $O(N+M)$ 
9       *     - 无负权
10      *     - 最长路径不超过  $1e18$ 
11      *     - 有向图 / 无向图都可以
12      */
13      class Graph {
14      private:
15          int N, M; // n point, m edge
16          bool start_from_one; // 点从0开始
17          std::vector<std::vector<std::pair<long long, int>>>> sons; //
18          ↪ first = value, second = to
19          std::vector<long long> distance; // 记录每个点的最近距离
20          std::set<std::pair<long long, int>> q; // 一个临时的queue
21          std::vector<int> per; // 记录从s开始到当前位置的最短路径中, 当前节
22          ↪ 点的前一个节点是什么
23
24      public:
25          Graph(int n, int m, bool start_from_one = false) : N(n), M(m),
26          ↪ start_from_one(start_from_one) {
27              sons = std::vector<std::vector<std::pair<long long,
28              ↪ int>>>>(N+start_from_one);
29          }
30
31          void add_edge(int s, int t, long long v) {
32              sons[s].push_back({v, t});
33          }
34
35          /*
36          * 单源最短路, 复杂度  $O(N+M)$ 
37          * 会从s开始建图, 构建每个从s可达的点的距离 & 路径
38          */
39          void build(int s) {
40              per = std::vector<int>(N+start_from_one, -1);
```

```

37         distance = std::vector<long long>(N+start_from_one, (long
↪ long) 1e18);
38         q.clear();
39
40         distance[s] = 0;
41         q.insert({0, s});
42         while(!q.empty()) {
43             auto [v, p] = *q.begin();
44             q.erase(q.begin());
45             if(distance[p] < v) continue;
46
47             for(auto [v2, p2] : sons[p]) {
48                 if(distance[p2] > distance[p] + v2) {
49                     q.erase({distance[p2], p2});
50                     per[p2] = p;
51                     distance[p2] = distance[p] + v2;
52                     q.insert({distance[p2], p2});
53                 }
54             }
55         }
56     }
57
58     /*
59     * build完成后才可以调用，并且二者s需要相同，纯找路径
60     * 复杂度O(path_length)
61     */
62     std::pair<long long, std::vector<int>>> shortest_path(int s, int
↪ t) {
63         std::pair<long long, std::vector<int>>> ret;
64         ret.first = distance[t];
65         if(ret.first == 1e18) return ret; // 不存在最短路
66         ret.second.push_back(t);
67         while(ret.second[ret.second.size()-1] != s) {
68
69             ↪ ret.second.push_back(per[ret.second[ret.second.size()-1]]);
69         }
70         std::reverse(ret.second.begin(), ret.second.end());
71         return ret;
72     }
73 };
74 }

```

有向图-强连通分量

```

1  #include <cassert>

```



```

2  #include <vector>
3  namespace SCC {
4      class Graph{
5      private:
6          int N;
7          bool start_from_one;
8          std::vector<std::vector<int>> g; // 有向图
9          std::vector<std::vector<int>> g2; // 反向图
10         std::vector<int> s; // 第一次dfs的时候记录dfs序，然后反向dfs
11         std::vector<bool> vis;
12
13     void dfs(int u) {
14         vis[u] = true;
15         for(auto v : g[u]) {
16             if(!vis[v]) dfs(v);
17         }
18         s.push_back(u);
19     }
20     void dfs2(int a, int c) {
21         vis[a] = true;
22         sccs[c].push_back(a);
23         for(auto v : g2[a]) {
24             if(!vis[v]) dfs2(v, c);
25         }
26     }
27 public:
28     std::vector<std::vector<int>> sccs; // 保存了有哪些强连通分量，每
    ↪ 一个list是一个强连通分量
29
30     Graph(int n, int start_from_one = false) : N(n),
    ↪ start_from_one(start_from_one) {
31         g.resize(n+start_from_one);
32         g2.resize(n+start_from_one);
33         vis = std::vector<bool>(n+start_from_one, false);
34         s = std::vector<int>(0);
35         sccs = std::vector<std::vector<int>>(0);
36     }
37     void add_edge(int s, int t) {
38         g[s].push_back(t);
39         g2[t].push_back(s);
40     }
41     void build() {
42         for(int i = start_from_one; i<N+start_from_one; i++) {
43             if(!vis[i]) dfs(i);
44         }
45         vis = std::vector<bool>(N+start_from_one, false);

```

```

46         for(int i = s.size()-1; i >= 0; i--) {
47             if(!vis[s[i]]) {
48                 sccs.push_back(std::vector<int>());
49                 dfs2(s[i], sccs.size()-1);
50             }
51         }
52     }
53 };
54 }

```