

ICPC Notebook

```

template ..... 1
hash.sh ..... 1
myhash.md ..... 1
template.hpp ..... 1
data-structure
    BIT.hpp ..... 1
    UnionFind.md ..... 1
math
    BinaryGCD.hpp ..... 1
    ExtGCD.hpp ..... 1
modint
    BarrettReduction.hpp ..... 2
    combination.md ..... 2
    division.md ..... 2
    modint.hpp ..... 2
FPS
    FFT.hpp ..... 2
    FFT_fast.hpp ..... 2
graph
    bfs.md ..... 3
    dijkstra.md ..... 3
graph/tree
flow
string
    KMP.hpp ..... 3
    Manacher.md ..... 3
    RollingHash.md ..... 3
    SuffixArray.hpp ..... 3
    Zalgorithm.md ..... 3
algorithm
geometry
memo
    Primes.md ..... 4
    decimal.md ..... 4
    sort.md ..... 4

```

template

hash.sh

```

# 使い方: sh hash.sh -> コピペ -> Ctrl + D
# コメント・空白・改行を削除して md5 でハッシュする
g++ -D D -E -P -fpreprocessed - | tr -d '[:space:]' | md5sum | cut -c-6

```

myhash.md

ハッシュの生成は以下のコマンドで行う

```

g++ -D D -E -P -fpreprocessed - < {ファイル名} | tr -d '[:space:]' | md5sum
| cut -c-6

```

必ず markdown に記載されているコードのみを記述した cpp ファイルに対してハッシュを生成すること。

template.hpp

md5: 465b43

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
using ll = long long;
using VLL = vector<ll>;
using VVLL = vector<VLL>;
const ll INF = LLONG_MAX / 4;
#define rep(i, n) for(ll i = 0; i < ll(n); ++i)
#define all(a) begin(a), end(a)
bool chmin(auto& a, auto b) { return a > b ? a = b, 1 : 0; }
bool chmax(auto& a, auto b) { return a < b ? a = b, 1 : 0; }

int main() { cout << fixed << setprecision(15) << endl; }

```

data-structure

BIT.hpp

md5: 8133c8

```

struct BIT {
    vector<ll> a;
    BIT(ll n) : a(n + 1) {}
    void add(ll i, ll x) { // A[i] += x
        i++;
        while(i < sz(a)) {
            a[i] += x;
            i += i & -i;
        }
    }
    ll sum(ll r) {
        ll s = 0;
        while(r) {
            s += a[r];
            r -= r & -r;
        }
        return s;
    }
    ll sum(ll l, ll r) { // sum of A[l, r)
        return sum(r) - sum(l);
    }
};

```

UnionFind.md

// myhash: df6543

```

struct UnionFind {
    vector<int> parents; // parents[i] := 頂点iのroot
    vector<int> sizes; // sizes[i] := 頂点iが属するグループの要素数
    UnionFind(int n){
        parents = vector<int>(n);
        for(int i=0; i<n; i++) parents.at(i) = i;
        sizes = vector<int>(n, 1);
    }
    int find(int i){
        if(parents.at(i)==i) return i; // 自身のroot == iのとき自分がroot
        return (parents.at(i) = find(parents.at(i))); // 経路圧縮
    }
    void merge(int a, int b){
        a = find(a);
        b = find(b);
        if(a==b){ // 同じグループ
            sizes.at(a) += sizes.at(b);
            parents.at(b) = a;
        }
    }
    bool connected(int a, int b){
        return (find(a)==find(b));
    }
    long long size(int i){
        return (long long)sizes.at(find(i));
    }
};

```

内容	コード	計算量
宣言	UnionFind uf(N)	$O(N)$
aの根の取得	uf.find(a)	$O(\alpha(N))$
aとbを統合	uf.merge(a, b)	$O(\alpha(N))$
aとbが同じグループか判定	uf.connected(a, b)	$O(\alpha(N))$
aと同じグループの要素数	uf.size(a)	$O(\alpha(N))$

$\alpha(N)$ はアッカーマンの逆関数

math

BinaryGCD.hpp

md5: f3ab31

```

u64 ctz(u64 x) { return counttr_zero(x); }
u64 binary_gcd(u64 x, u64 y) {
    if(!x || !y) return x | y;
    u64 n = ctz(x), m = ctz(y);
    x >= n, y >= m;
    while(x != y) {
        if(x > y) x = (x - y) >> ctz(x - y);
        else y = (y - x) >> ctz(y - x);
    }
    return x << min(n, m);
}

```

ExtGCD.hpp

md5: c3fa9b

```

// returns gcd(a, b) and assign x, y to integers
// s.t. ax + by = gcd(a, b) and |x| + |y| is minimized
ll extgcd(ll a, ll b, ll& x, ll& y) {
    // assert(a >= 0 && b >= 0);
    if(!b) return x = 1, y = 0, a;
    ll d = extgcd(b, a % b, y, x);
    y -= a / b * x;
}

```

```
return d;
}
```

modint**BarrettReduction.hpp**

md5: 2ca7f3

```
// using u64 = uint64_t;
struct Barrett { // mod < 2^32
    u64 m, im;
    Barrett(u64 mod) : m(mod), im(-1ULL / m + 1) {}
    // input: a * b < 2^64, output: a * b % mod
    u64 mul(u64 a, u64 b) const {
        a *= b;
        u64 x = ((__uint128_t)a * im) >> 64;
        a -= x * m;
        if((ll)a < 0) a += m;
        return a;
    }
};
```

combination.md

// hash: 81258e

```
const long long MAX = 5e5; // 関数comの引数の最大値
const long long mod = 1e9+7; // 何で割った余りか
vector<long long> fac(MAX), finv(MAX), inv(MAX);

void COMinit(){
    fac[0] = 1; fac[1] = 1;
    finv[0] = 1; finv[1] = 1;
    inv[1] = 1;
    for(int i=2; i<MAX; i++){
        fac[i] = fac[i-1] * i % mod;
        inv[i] = mod - inv[mod%i] * (mod / i) % mod;
        finv[i] = finv[i-1] * inv[i] % mod;
    }
}

long long com(int n, int k){
    if(n<k) return 0;
    if(n<0 || k<0) return 0;
    return fac[n] * (finv[k] * finv[n-k] % mod) % mod;
}
```

内容	コード	計算量
二項係数を求める前処理	COMinit()	$O(MAX)$
二項係数 $nC_k \bmod p$ の計算	com(n, k)	$O(1)$

com(n, k)を実行する前に必ずCOMinit()を実行する（一度だけで良い）。 $1 \leq k \leq n \leq 10^7$ また、 $\bmod p$ は素数かつ $n < p$ となる必要がある。

division.md

```
long long modinv(long long a, long long m) {
    long long b = m, u = 1, v = 0;
    while (b) {
        long long t = a / b;
        a -= t * b; swap(a, b);
        u -= t * v; swap(u, v);
    }
    u %= m;
    if (u < 0) u += m;
}
```

```
return u;
}
```

内容	コード	計算量
$a^{-1} \bmod m$ を計算	modinv(a, m)	$O(\log m)$

modint.hpp

md5: 81b530

```
const ll mod = 998244353;
struct mm {
    ll x;
    mm(ll x_ = 0) : x(x_ % mod) {
        if(x < 0) x += mod;
    }
    friend mm operator+(mm a, mm b) { return a.x + b.x; }
    friend mm operator-(mm a, mm b) { return a.x - b.x; }
    friend mm operator*(mm a, mm b) { return a.x * b.x; }
    friend mm operator/(mm a, mm b) { return a * b.inv(); }
    // 4 行コピペ Alt + Shift + クリックで複数カーソル
    friend mm& operator+=(mm& a, mm b) { return a = a.x + b.x; }
    friend mm& operator-=(mm& a, mm b) { return a = a.x - b.x; }
    friend mm& operator*=(mm& a, mm b) { return a = a.x * b.x; }
    friend mm& operator/=(mm& a, mm b) { return a = a * b.inv(); }
    mm inv() const { return pow(mod - 2); }
    mm pow(ll b) const {
        mm a = *this, c = 1;
        while(b) {
            if(b & 1) c *= a;
            a *= a;
            b >>= 1;
        }
        return c;
    }
};
```

FPS**FFT.hpp**

md5: 3138c7

```
// {998244353, 3}, {1811939329, 13}, {2013265921, 31}
mm g = 3; // 原始根
void fft(vector<mm>& a) {
    ll n = sz(a), lg = __lg(n);
    assert((1 << lg) == n);
    vector<mm> b(n);
    rep(l, 1, lg + 1) {
        ll w = n >> l;
        mm s = 1, r = g.pow(mod >> l);
        for(ll u = 0; u < n / 2; u += w) {
            rep(d, 0, w) {
                mm x = a[u << 1 | d], y = a[u << 1 | w | d] * s;
                b[u | d] = x + y;
                b[n >> 1 | u | d] = x - y;
            }
            s *= r;
        }
        swap(a, b);
    }
    vector<mm> conv(vector<mm> a, vector<mm> b) {
        if(a.empty() || b.empty()) return {};
        size_t s = sz(a) + sz(b) - 1, n = bit_ceil(s);
        // if(min(sz(a), sz(b)) <= 60) 愚直に掛け算
        a.resize(n);
        b.resize(n);
        fft(a);
        fft(b);
        mm inv = mm(n).inv();
        for(ll i = 0; i < s; i++) {
            a[i] *= b[i];
            a[i] *= inv;
        }
        a.resize(s);
    }
}
```

```
rep(i, 0, n) a[i] *= b[i] * inv;
reverse(1 + all(a));
fft(a);
a.resize(s);
return a;
}
```

FFT_fast.hpp

md5: c8c567

// modint を u32 にして加減算を真面目にやると速い

```
mm g = 3; // 原始根
void fft(vector<mm>& a) {
    ll n = sz(a), lg = __lg(n);
    static auto z = [] {
        vector<mm> z(30);
        mm s = 1;
        rep(i, 2, 32) {
            z[i - 2] = s * g.pow(mod >> i);
            s *= g.inv().pow(mod >> i);
        }
        return z;
    }();
    rep(l, 0, lg) {
        ll w = 1 << (lg - l - 1);
        mm s = 1;
        rep(k, 0, 1 << l) {
            ll o = k << (lg - l);
            rep(i, o, o + w) {
                mm x = a[i], y = a[i + w] * s;
                a[i] = x + y;
                a[i + w] = x - y;
            }
            s *= z[countr_zero<uint64_t>(~k)];
        }
    }
}
```

// コピペ

```
void ifft(vector<mm>& a) {
    ll n = sz(a), lg = __lg(n);
    static auto z = [] {
        vector<mm> z(30);
        mm s = 1;
        rep(i, 2, 32) { // g を逆数に
            z[i - 2] = s * g.inv().pow(mod >> i);
            s *= g.pow(mod >> i);
        }
        return z;
    }();
    for(ll l = lg; l--;) { // 逆順に
        ll w = 1 << (lg - l - 1);
        mm s = 1;
        rep(k, 0, 1 << l) {
            ll o = k << (lg - l);
            rep(i, o, o + w) {
                mm x = a[i], y = a[i + w]; // *s を下に移動
                a[i] = x + y;
                a[i + w] = (x - y) * s;
            }
            s *= z[countr_zero<uint64_t>(~k)];
        }
    }
}
```

```
vector<mm> conv(vector<mm> a, vector<mm> b) {
    if(a.empty() || b.empty()) return {};
    size_t s = sz(a) + sz(b) - 1, n = bit_ceil(s);
    // if(min(sz(a), sz(b)) <= 60) 愚直に掛け算
    a.resize(n);
    b.resize(n);
    fft(a);
    fft(b);
    mm inv = mm(n).inv();
    for(ll i = 0; i < s; i++) {
        a[i] *= b[i];
        a[i] *= inv;
    }
    a.resize(s);
}
```

```
mm inv = mm(n).inv();
rep(i, 0, n) a[i] *= b[i] * inv;
ifft(a);
a.resize(s);
return a;
}
```

graph**bfs.md**

```
// myhash: e8220a

using ll = long long;
vector<ll> bfs(ll start, vector<vector<ll>> &g){
    int n = g.size();
    queue<ll> q;
    vector<ll> dist(n, -1);
    q.push(start); dist.at(start) = 0;
    while(!q.empty()){
        ll v = q.front(); q.pop();
        for(ll nv: g.at(v)){
            if(dist.at(nv)!=-1) continue;
            dist.at(nv) = dist.at(v) + 1;
            q.push(nv);
        }
    }
    return dist;
}
```

内容	コード	計算量
頂点数nのグラフの宣言	vector<vector<ll>> g; g.resize(n);	
頂点sからグラフgに対してbfsの実行	bfs(s, g)	$O(E + V)$
u→vの辺を追加	g[u].push_back(v)	

(ただし|E|は辺の数, |V|は頂点の数)

dijkstra.md

```
// myhash: 908dcc

using ll = long long;
using pll = pair<ll, ll>;
const ll INF = 2e18;
vector<vector<pll>> dijkstra(long long start, vector<vector<pll>> &g){
    priority_queue<pll, vector<pll>, greater<pll> pq;
    int n = g.size();
    vector<ll> dist(n, INF);
    dist[start] = 0; pq.push({0, start});
    while(!pq.empty()){
        auto [d, pos] = pq.top(); pq.pop();
        if(dist[pos] < d) continue;
        for(int i=0; i<g[pos].size(); i++){
            auto [cost, to] = g[pos][i];
            if(dist[to]>dist[pos]+cost){
                dist[to] = dist[pos] + cost;
                pq.push({dist[to], to});
            }
        }
    }
    return dist;
}
```

内容	コード	計算量
頂点数nのグラフの宣言	vector<vector<pll>> g; g.resize(n);	
頂点sからグラフgに対してダイクストラの実行	dijkstra(s, g)	$O(E \log V)$
u→v(コスト: c)の辺を追加	g[u].push_back({c, v})	

(ただし|E|は辺の数, |V|は頂点の数)

graph/tree**flow****string****KMP.hpp**

md5: 886c63

```
// kmp[i] := max{ l ≤ i | s[:l] == s[(i+1)-l:i+1] }
// abacaba -> 0010123
auto KMP(string s) {
    vector<ll> p(sz(s));
    rep(i, 1, sz(s)) {
        ll g = p[i-1];
        while(g && s[i] != s[g]) g = p[g-1];
        p[i] = g + (s[i] == s[g]);
    }
    return p;
}
```

Manacher.md

```
// myhash: b5cb94

vector<long long> manacher(const string &s){
    int i = 0, j = 0;
    vector<long long> r(s.size(), 0);
    while(i<s.size()){
        while(i-j>=0 && i+j<s.size() && s[i-j]==s[i+j]) j++;
        r[i] = j;
        int k = 1;
        while(i-k>=0 && k+r[i-k]<j) r[i+k] = r[i-k], k++;
        i += k; j -= k;
    }
    return r;
}
```

内容	コード	計算量
i文字目を中心とする最長の回文半径を記録した配列の取得	r = manacher(S)	$O(S)$

偶数長の回文を判定する場合はダミーを交互に挿入する。(例: abba → #a#b#b#a#)

RollingHash.md

// myhash: 409b35

```
struct RollingHash{
    using ll = long long;
    const ll mod = (1ll<<61)-1;
```

```
ll n, rnd;
vector<ll> hs, pw;
RollingHash(string s): n(s.size()), hs(n+1), pw(n+1, 1) {
    // rnd = rand()%mod;
    rnd = 93842743347298748;
    for(int i=0; i<n; i++){
        pw[i+1] = mul(pw[i], rnd);
        hs[i+1] = add(mul(hs[i], rnd), s[i]);
    }
}
ll add(ll a, ll b){
    return (a+b)%mod;
}
ll mul(ll a, ll b){
    auto c = (_uint128_t)a*b;
    return add(c>>61, c&mod);
}
ll get(ll l, ll r){
    return add(hs[r], mod - mul(hs[l], pw[r-l]));
}
};
```

内容	コード	計算量
宣言	RollingHash rh(s)	$O(s.size())$
[l, r)のハッシュ値の取得	rh.get(l, r)	$O(1)$

SuffixArray.hpp

md5: 1d70ce

```
// returns pair{sa, lcp}
// sa 長さ n : s[sa[0]:] < s[sa[1]:] < ... < s[sa[n-1]:]
// lcp 長さ n-1 : lcp[i] = LCP(s[sa[i]:], s[sa[i+1]:])
auto SA(string s) {
    ll n = sz(s) + 1, lim = 256;
    // assert(lim > ranges::max(s));
    vector<ll> sa(n), lcp(n), x(all(s) + 1), y(n), ws(max(n, lim)), rk(n);
    iota(all(sa), 0);
    for(ll j = 0, p = 0; p < n; j = max(1LL, j * 2), lim = p) {
        p = j;
        iota(all(y), n - j);
        rep(i, 0, n) if(sa[i] >= j) y[p++] = sa[i] - j;
        fill(all(ws), 0);
        rep(i, 0, n) ws[x[i]]++;
        rep(i, 1, lim) ws[i] += ws[i - 1];
        for(ll i = n; i--;) sa[--ws[x[y[i]]]] = y[i];
        swap(x, y);
        p = 1;
        x[sa[0]] = 0;
        rep(i, 1, n) {
            ll a = sa[i - 1], b = sa[i];
            x[b] = (y[a] == y[b] && y[a + j] == y[b + j]) ? p - 1 : p++;
        }
    }
    rep(i, 1, n) rk[sa[i]] = i;
    for(ll i = 0, k = 0; i < n - 1; lcp[rk[i++]] = k) {
        if(k) k--;
        while(s[i + k] == s[sa[rk[i] - 1] + k]) k++;
    }
    sa.erase(begin(sa));
    lcp.erase(begin(lcp));
    return pair{sa, lcp};
}
```

Zalgorithm.md

// myhash: 76ff99

```

vector<long long> z_algorithm(const string &s){
    vector<long long> z(s.size(), 0);
    z[0] = s.size();
    int i = 1, j = 0;
    while(i<s.size()){
        while(i+j<s.size() && s[j]==s[i+j]) j++;
        z[i] = j;
        if(j==0){ i++; continue; }
        int k = 1;
        while(i+k<s.size() && k+z[k]<j) z[i+k] = z[k], k++;
        i += k; j -= k;
    }
    return z;
}

```

内容	コード	計算量
$z[i]=「S」$ と「Sの <i>i</i> 文字目以降」の最長共通接頭辞の長さを計算	$z = z_algorithm(S)$	$O(S)$

algorithm**geometry****memo****Primes.md****素数の個数**

n	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
$\pi(n)$	25	168	1229	9592	78498	664579	5.76e+6	5.08e+7	4.55e+8

高度合成数

$\leq n$	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9
x	840	7560	83160	720720	8648640	73513440	735134400
$d^0(x)$	32	64	128	240	448	768	1344
$\leq n$	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{15}	10^{16}
$d^0(x)$	2304	4032	6720	10752	17280	26880	41472
							64512
							103680

素数階乗

n	2	3	5	7	11	13	17	19	23	29
$n\#$	2	6	30	210	2310	30030	510510	9.70e+6	2.23e+8	6.47e+9

階乗

4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!
24	120	720	5040	40320	362880	3.63e+6	3.99e+7	4.79e+8	6.23e+9

decimal.md**小数点以下の表示する桁数について**

```
cout << fixed << setprecision(15) << endl;
```

sort.md**2次元配列の*i*番目の要素でのソート**

```
vector<vector<int>> two_dim_array;
sort(two_dim_array.begin(), two_dim_array.end(), [](auto x, auto y)
{return x[i]<y[i];});
```