

# ACM Template

Zeng Xiaocan

September 15, 2019

# Contents

<b>1</b>	<b>String</b>	<b>3</b>
1.1	STL . . . . .	3
1.2	Max/Min-Expression . . . . .	3
1.3	KMP . . . . .	4
1.4	EXKMP . . . . .	4
1.5	Hash . . . . .	5
1.6	Trie . . . . .	6
1.7	AC-Automaton . . . . .	6
1.8	Manacher . . . . .	7
1.9	Palindromic-Tree . . . . .	8
1.10	Suffix-Array . . . . .	10
	1.10.1 Usage . . . . .	14
1.11	Suffix-Automaton . . . . .	14
	1.11.1 Usage . . . . .	15
	1.11.2 Memo . . . . .	16
1.12	ProblemSet . . . . .	17

# 1 String

## 1.1 STL

```
reverse(s.begin(), s.end());
transform(s.begin(), s.end(), s.begin(), ::toupper); (::tolower)
//字符串和数字互转
int a;
stringstream(s) » a;
char s[100];
sprintf(s,"%d",a);
string(v.begin(),v.end());
//返回 pos 开始的长度为 len 的字符串
substr(pos,len);
//在 pos 位置插入字符串 s
insert(int pos,string s)
//从索引 pos 开始往后删 num 个，num 为空表示全删除
erase(pos,num);
//删除迭代器 it 指向的字符，返回删除后迭代器的位置
erase(it);
//删除迭代器 [first, last) 之间的所有字符，返回删除后迭代器的位置
erase(first,last);
//从 pos 开始查找字符 c/字符串 s 在当前字符串的位置
int find(c/s,pos);
```

## 1.2 Max/Min-Expression

```
//求循环字符串 s 的最小/最大表示
//i,j: 当前比较两个字符串的起始位置
//k: 这两个字符串已比较的长度
int getMin(char s[]){
    int n=strlen(s);
    int i=0,j=1,k=0;
    while(i<n && j<n && k<n){
        int t=s[(i+k)%n]-s[(j+k)%n];
        if(!t){
            k++;
        }else{
            if(t>0){
                //如果是求最大表示则为 j+=k+1
                i+=k+1;
            }else{
                j+=k+1;
            }
            if(i==j){
                j++;
            }
            k=0;
        }
    }
    return min(i,j);
}
```

### 1.3 KMP

*//nex[i]* : 表示前 *i* 个字符的最长相同前后缀长度

```
void getNext(char s[],int n){
    int i=0,j=-1;
    nex[0]=-1;
    while(i<n){
        if(j== -1 || s[i]==s[j]){
            nex[++i]=++j;
        }else{
            j=nex[j];
        }
    }
}
```

*//前 i 个字符的最小循环节长度: i-nex[i], 个数: i/(i-nex[i])*

```
int kmp(char s[],int n,char p[],int m){
    int i=0,j=0;
    // int cnt=0;
    getNext(p,m);
    while(i<n && j<m){
        if(j== -1 || s[i]==p[j]){
            i++;
            j++;
        }else{
            j=nex[j];
        }
        if(j==m){
            //匹配位置
            return i-j+1;
            //匹配个数
            //cnt++;
            //不可重叠
            //j=0;
            //可重叠
            //j=nex[j];
        }
    }
    //return cnt;
}
```

### 1.4 EXKMP

*//nex[i]* 表示 *t* 串中以 *i* 开始的后缀与 *t* 串的最长公共前缀

*//ext[i]* 表示 *s* 串中以 *i* 开始的后缀与 *t* 串的最长公共前缀

```
void getNext(char *t,int len){
    int a=0;
    while(a<len-1 && t[a]==t[a+1]){
        a++;
    }
    nex[1]=a;
    int po=1;
    for(int i=2;i<len;i++){
        int p=po+nex[po]-1;
```

```

    int l=nex[i-po];

    if(l>=p-i+1){
        int j=max(0,p-i+1);
        while(i+j<len && t[i+j]==t[j]){
            j++;
        }
        nex[i]=j;
        po=i;
    }else{
        nex[i]=1;
    }
}
}

void getNext(char *s,int n,char *t,int m){
    int a=0;
    getNext(t,m);
    int mlen=min(n,m);
    //计算 ext[0]
    while(a<mlen && s[a]==t[a]){
        a++;
    }
    ext[0]=a;
    //po 表示当前最右的 i+ext[i]-1 所对应的 i
    int po=0;
    for(int i=1;i<n;i++){
        //p 表示最右的 i+ext[i]-1
        int p=po+ext[po]-1;
        //此时前面已匹配的 s[po..p]==t[0..p-po], 即 s[i..p]==t[i-po..p-po]
        //所以 l 就是表示 t[i-po...m-1] 和 t[0..m-1] 的 lcp
        //也就是 s[i..p] 和 t[0..m-1] 的 ** 部分 **lcp
        //得看 l 和 p-i+1(ext[i] 可能的最大值) 哪个大
        int l=nex[i-po];
        if(l>=p-i+1){
            //l 大, 那么从 p-i+1(目前可以保证的 ext[i] 的值) 继续暴力往下匹配
            int j=max(0,p-i+1);
            while(i+j<n && j<m && s[i+j]==t[j]){
                j++;
            }
            ext[i]=j;
            po=i;
        }else{
            //p-i+1 大, 那么 ext[i] 就只能是 l 了
            ext[i]=l;
        }
    }
}
}

```

## 1.5 Hash

//单哈希很容易卡；取模很慢

```
ull seeds[]={27,146527,19260817,91815541};
```

```

ull mods[]={1000000009,998244353,4294967291ull,21237044013013795711};
struct Hash{
    ull seed,mod;
    ull bas[N];
    ull sum[N];
    void init(int sidx,int midx,int len,char *s){
        seed=seeds[sidx];
        mod=mods[midx];
        bas[0]=1;
        for(int i=1;i<=len;i++){
            bas[i]=bas[i-1]*seed%mod;
        }
        for(int i=1;i<=len;i++){
            sum[i]=(sum[i-1]*seed%mod+s[i])%mod;
        }
    }
    ull getHash(int l,int r){
        return (sum[r]-sum[l-1]*bas[r-l+1]%mod+mod)%mod;
    }
}hs;

```

## 1.6 Trie

//val[u] 表示 u 节点处保存的单词数

```

struct Trie{
    int cnt,tr[N][26],val[N];
    void insert(char *s){
        int len=strlen(s);
        int now=0;
        for(int i=0;i<len;i++){
            int id=s[i]-'a';
            if(!tr[now][id]){
                tr[now][id]=++cnt;
            }
            now=tr[now][id];
        }
        val[now]++;
    }
}T;

```

## 1.7 AC-Automaton

//fail[x] 指向以 x 为结尾的后缀在 \*\* 其他模式串中 \*\* 所能匹配的最长前缀  
 //当 tr[now][i] 失配时, 就可以跳转到以已匹配的这部分后缀作为前缀的其他模式串。

```

struct ACM{
    int tr[N][26],val[N],fail[N],cnt;
    void insert(char *s){
        int len=strlen(s);
        int now=0;
        for(int i=0;i<len;i++){
            int id=s[i]-'a';
            if(!tr[now][id]){

```

```

        tr[now][id]=++cnt;
    }
    now=tr[now][id];
}
val[now]++;
}
//比 Trie 树多了构建 fail 指针
void build(){
    queue<int> q;
    //初始化第一层
    for(int i=0;i<26;i++){
        if(tr[0][i]){
            fail[tr[0][i]]=0;
            q.push(tr[0][i]);
        }
    }
    while(!q.empty()){
        int u=q.front();
        q.pop();
        for(int i=0;i<26;i++){
            if(tr[u][i]){
                fail[tr[u][i]]=tr[fail[u]][i];
                q.push(tr[u][i]);
            }else{
                tr[u][i]=tr[fail[u]][i];
            }
        }
    }
}
//查询所有模式串出现的总次数
int query(char *s){
    int len=strlen(s);
    int ans=0;
    int now=0;
    for(int i=0;i<len;i++){
        int id=s[i]-'a';
        now=tr[now][id];
        //打标记暴力跳 fail, 避免重复计数
        for(int t=now;t && val[t]!=-1; t=fail[t]){
            ans+=val[t];
            val[t]=-1;
        }
    }
    return ans;
}
}ac;
```

## 1.8 Manacher

*//ma[]*: 新字符串 (*ma, mp* 都注意要开两倍空间!)  
*//mp[i]*: 表示以 *i* 为中心的回文子串的半径 (包括特殊字符)  
*//mx*: 能延伸到最右端的位置

```

//id: 能延伸到最右端的回文串中心位置
void manacher(char s[],int len){
    //构造新字符串，两个字符之间插入一个其他字符，第 0 个字符忽略（即加入另一种字符）
    int l=0;
    ma[l++]='$';
    ma[l++]='#';
    for(int i=0;i<len;i++){
        ma[l++]=s[i];
        ma[l++]='#';
    }
    ma[l]='\0';
    int mx=0,id=0;
    for(int i=1;i<l;i++){
        //若 mx>i: mp[2*id-i] 表示 i 关于 id 的对称点的最长回文半径
        //不能超出 mx, 所以和 mx-i 取 min
        //若 mx<i: mp[i]=1
        mp[i]=mx>i?min(mp[2*id-i],mx-i):1;
        //往两边更新
        while(ma[i+mp[i]]==ma[i-mp[i]]){
            mp[i]++;
        }
        //更新全局 mx 和 id
        if(i+mp[i]>mx){
            mx=i+mp[i];
            id=i;
        }
    }
}

```

## 1.9 Palindromic-Tree

```

struct PT{
    //回文树中每个节点表示一个回文串，所以有偶数长度的树和奇数长度的树两棵
    //next 指针 next[u][i] 表示 u 节点左右添加字符 i 之后得到的回文串节点
    int next[N][26];
    //fail 指针 失配后跳转到最长后缀回文串对应的节点
    int fail[N];
    //节点对应回文串在原串中出现次数，需先调用 count 函数
    int cnt[N];
    //num[i] 表示 ** 以节点 i 所表示的回文串右端点结尾 ** 的回文串个数（包括自身）
    //即 fail 指针的深度
    int num[N];
    //节点对应回文串的长度
    int len[N];
    //存放添加的字符
    int S[N];
    //上一个字符所在节点
    int last;
    //节点对应的最新字符位置，反向映射 last(可以改成 vector<int>[])
    int id[N];
    //字符数，不等于节点数
    int n;
}

```



```

//回文树总结点数，包括奇偶两个空节点，节点编号为 0 到 p-1
//不同回文子串个数 p-2 回文子串个数 \sum num[i]
int p;
//创建长度为 l 的新节点
int newnode(int l){
    for(int i=0;i<26;i++){
        next[p][i]=0;
    }
    cnt[p]=0;
    num[p]=0;
    len[p]=1;
    return p++;
}
//初始化
void init(){
    p=0;
    //奇偶空节点，先偶再奇
    newnode(0);
    newnode(-1);
    last=0;
    n=0;
    S[n]=-1;
    //偶根 fail 指向奇根
    fail[0]=1;
}
//找到新插入字符 c 的回文匹配位置
int getFail(int x){
    //在节点 x 对应串的后面加上一个字符，就判断 x 前面字符是否相同
    //若相同直接构成新的回文串，不同就跳到 fail，即最长回文后缀
    //S[n-len[x]-1] 就是新加的字符 (S[n]) 关于 x 串的对称字符
    while(S[n-len[x]-1]!=S[n]){
        x=fail[x];
    }
    return x;
}
//插入字符 c
void add(int c){
    c-='a';
    S[++n]=c;
    //找到当前回文串匹配位置，也就是当前回文串节点的父节点
    int cur=getFail(last);
    if(!next[cur][c]){
        //出现了一个新的本质不同的回文串
        int now=newnode(len[cur]+2);
        //类似于 AC 自动机，往上跳直到找到满足条件的串节点
        //getFail 其实就是不断比较当前加入的字符和 x 节点对称的那个字符
        fail[now]=next[getFail(fail[cur])][c];
        //fail 指针深度加 1
        num[now]=num[fail[now]]+1;
        //这句要放最后，前面的指针关系处理好再连上子节点
        next[cur][c]=now;
    }
}

```

```

        //最新回文串节点
        last=next[cur][c];
        cnt[last]++;
        id[last]=n;
    }
    //统计每个节点回文串出现次数
    void count(){
        //从子节点逆推
        for(int i=p-1;i>=0;i--){
            //i 节点出现, 说明其最长回文后缀 fail[i] 也出现
            cnt[fail[i]]+=cnt[i];
        }
    }
}ac;

```

## 1.10 Suffix-Array

```

// "banana" 后缀为 [banana$ anana$ nana$ ana$ na$ a$ $]
// sa[i]: 排名第 i (从 0 开始) 小的后缀的首字符下标
// 比如 [6 5 3 1 0 4 2] ==> [$ a$ ana$ anana$ banana$ na$ nana$]
// rk[i]: 下标 i 开始的后缀 (不含 $) 的排名 (按字典序从小到大, 相当于 sa 的逆)
// [4 3 6 2 5 1]
// h[i]: 排名为 i 的后缀和排名为 i-1 的后缀的最长公共前缀
// [1(ana$-a$) 3(anana$-ana$) 0 0 2]
// 辅助数组: t[N], t2[N], c[N];
void build_sa(int n, int m){
    // n 为字符串的长度, 字符集的值 0~m-1
    // 相当于在后面加一个 $
    // 有时候是数字数组而不是字符数组, 最好加上 s[n]=0
    n++;
    int *x=t, *y=t2;
    // 基数排序
    for(int i=0;i<m;i++){
        c[i]=0;
    }
    for(int i=0;i<n;i++){
        c[x[i]=s[i]]++;
    }
    for(int i=1;i<m;i++){
        c[i]+=c[i-1];
    }
    // 或者 ~i 表示 i!=-1
    for(int i=n-1;i>=0;i--){
        sa[--c[x[i]]]=i;
    }
    for(int k=1;k<=n;k<=<1){
        int p=0;
        for(int i=n-k;i<n;i++){
            y[p++]=i;
        }
        for(int i=0;i<n;i++){
            if(sa[i]>=k){

```

```

        y[p++] = sa[i] - k;
    }
}
//类似上面, 只是把 i 换成 y[i]
for(int i=0; i<m; i++){
    c[i] = 0;
}
for(int i=0; i<n; i++){
    c[x[y[i]]]++;
}
for(int i=1; i<m; i++){
    c[i] += c[i-1];
}
for(int i=n-1; i>=0; i--){
    sa[--c[x[y[i]]]] = y[i];
}
swap(x, y);
p = 1;
x[sa[0]] = 0;
for(int i=1; i<n; i++){
    x[sa[i]] = y[sa[i-1]] == y[sa[i]] && y[sa[i-1]+k] == y[sa[i]+k] ? p-1 : p++;
}
if (p >= n){
    break;
}
m = p;
}
//去掉 $
n--;
for(int i = 0; i <= n; i++){
    rk[sa[i]] = i;
}
//计算 h
int k = 0;
for(int i = 0; i < n; i++){
    if(k){
        k--;
    }
    int j = sa[rk[i] - 1];
    while(s[i + k] == s[j + k]){
        k++;
    }
    h[rk[i]] = k;
}
}
void debug(){
    //sa 0~n 包括一个特殊字符 从 0 计
    for(int i=0; i<=n; i++){
        printf("%d ", sa[i]);
    }
    printf("\n");
    //rk 0~n-1 后缀 [i...n-1] 的排名 从 1 计

```

```

    for(int i=0;i<n;i++){
        printf("%d ",rk[i]);
    }
    printf("\n");
    //h 1~n 排名为 i 的后缀与排名为 i-1 的后缀的 LCP
    for(int i=1;i<=n;i++){
        printf("%d ",h[i]);
    }
    printf("\n");
}

/*
 * 使用 DC3 构建后缀数组  $O(n)$  by Kuangbin 模板
 * 所有数组要开三倍
 * wa[N*3],wb[N*3],wv[N*3],wss[N*3]
 */
#define F(x) ((x)/3+((x)%3==1?0:tb))
#define G(x) ((x)<tb?(x)*3+1:((x)-tb)*3+2)
int c0(int *r,int a,int b){
    return r[a] == r[b] && r[a+1] == r[b+1] && r[a+2] == r[b+2];
}
int c12(int k,int *r,int a,int b){
    if(k == 2){
        return r[a] < r[b] || ( r[a] == r[b] && c12(1,r,a+1,b+1) );
    }else{
        return r[a] < r[b] || ( r[a] == r[b] && wv[a+1] < wv[b+1] );
    }
}
void sort(int *r,int *a,int *b,int n,int m){
    int i;
    for(i = 0;i < n;i++){
        wv[i] = r[a[i]];
    }
    for(i = 0;i < m;i++){
        wss[i] = 0;
    }
    for(i = 0;i < n;i++){
        wss[wv[i]]++;
    }
    for(i = 1;i < m;i++){
        wss[i] += wss[i-1];
    }
    for(i = n-1;i >= 0;i--){
        b[--wss[wv[i]]] = a[i];
    }
}
void dc3(int *r,int *sa,int n,int m){
    int i, j, *rn = r + n;
    int *san = sa + n, ta = 0, tb = (n+1)/3, tbc = 0, p;
    r[n] = r[n+1] = 0;
    for(i = 0;i < n;i++){
        if(i % 3 != 0){
            wa[tbc++] = i;

```

```

    }
}
sort(r + 2, wa, wb, tbc, m);
sort(r + 1, wb, wa, tbc, m);
sort(r, wa, wb, tbc, m);
for(p = 1, rn[F(wb[0])] = 0, i = 1; i < tbc; i++){
    rn[F(wb[i])] = c0(r, wb[i-1], wb[i]) ? p-1 : p++;
}
if(p < tbc){
    dc3(rn, san, tbc, p);
}else{
    for(i = 0; i < tbc; i++){
        san[rn[i]] = i;
    }
}
for(i = 0; i < tbc; i++){
    if(san[i] < tb){
        wb[ta++] = san[i] * 3;
    }
}
if(n % 3 == 1){
    wb[ta++] = n - 1;
}
sort(r, wb, wa, ta, m);
for(i = 0; i < tbc; i++){
    wv[wb[i] = G(san[i])] = i;
}
for(i = 0, j = 0, p = 0; i < ta && j < tbc; p++){
    sa[p] = c12(wb[j] % 3, r, wa[i], wb[j]) ? wa[i++] : wb[j++];
}
for(; i < ta; p++){
    sa[p] = wa[i++];
}
for(; j < tbc; p++){
    sa[p] = wb[j++];
}
}
//str 和 sa 也要三倍
void da(int str[], int n, int m){
    for(int i = n; i < n*3; i++){
        str[i] = 0;
    }
    dc3(str, sa, n+1, m);
    int i, j, k = 0;
    for(int i = 0; i <= n; i++){
        rk[sa[i]] = i;
    }
    //计算 h
    for(int i = 0; i < n; i++){
        if(k){
            k--;
        }
    }
}

```

```

    int j = sa[rk[i] - 1];
    while(a[i + k] == a[j + k]){
        k++;
    }
    h[rk[i]] = k;
}
}

```

### 1.10.1 Usage

0 循环字符串字典序第  $k$  小

将原串拼接在最后，再加一个大于字符集最大值的字符，计算  $sa$ ， $sa$  本身就是对后缀进行排序，按顺序枚举  $k$  个有效 ( $sa[i]$  在  $0-n$ ) 的后缀即可。

## 1.11 Suffix-Automaton

//空间足够的情况下开大点

```

struct SAM{
    //转移边
    //可以改成 map<int,int> next[N], 可以快速找最小/最大转移字符
    int next[N*2][26];
    //link 边
    int fa[N*2];
    //状态内最长后缀长度
    int len[N*2];
    //状态对应 endpos 大小，即子串出现次数
    int num[N*2];
    //总节点数
    int cnt;
    //上一个节点
    int lst;
    int newnode(int l,int s){
        for(int i=0;i<26;i++){
            next[cnt][i]=0;
        }
        len[cnt]=l;
        num[cnt]=s;
        return cnt++;
    }
    //初始化
    void init(){
        cnt=0;
        lst=newnode(0,0);
        fa[lst]=-1;
    }
    void add(int c){
        c-='a';
        int p=lst;
        int cur=newnode(len[p]+1,1);
        //假设当前 sam 为 "aabb", 起点 S 为空串, 节点 5 是 {b}, 节点 4 是 {aabb,abb,bb}
        //定义 suffix-path 为当前字符串的所有后缀的状态, 即 S[1..i], S[2..i]...
    }
}

```

```

//此时的 s-p 就是 S-5-4, (b 这个后缀因为 endpos 大于其他, 所以在节点 5)
//每插入一个字符, s-p 的遍历是从后往前, 根据 fa 边
//插入的字符是 a, 而 s-p 上 5 和 4 节点都没有 a, 因此将节点 5 和 4 fa 节点 6
//节点 6 此时为 {aabbba,abba,bba,ba}
//当路径上的节点没有 a
while(p!=-1 && !next[p][c]){
    next[p][c]=cur;
    p=fa[p];
}
if(p==-1){
    //对应上面整个路径都没有 a 的情况
    fa[cur]=0;
}else{
    //路径上找到一个有 a, 往前肯定都有 a
    int q=next[p][c];
    if(len[q]==len[p]+1){
        //这里节点 S(p) 为空串, 而节点 1(q) 为 {a}, 因此将新节点 6 fa 节点 1
        fa[cur]=q;
    }else{
        //st[q].len>st[p].len+1
        //假设当前 sam 为 "aab", 起点 S 为空串, 节点 4 是 {aab,ab,b}
        //此时的 s-p 就是 S-3, 要插入的字符是 b, 路径上 S 节点有 b, 指向节点 3
        //而 st[3].len>st[S].len+1, 因此需要将节点 3 拆分
        //把从节点 S+b 得到的后缀 {b} 分给新的节点 5
        //将 q 拆成两个节点, p->cl->new
        int cl=newnode(len[p]+1,0);
        fa[cl]=fa[q];
        memcpy(next[cl],next[q],sizeof(next[cl]));
        while(p!=-1 && next[p][c]==q){
            //之前路径上所有 p 走向 q 的, 现在全部走向 q 拆出的新节点
            next[p][c]=cl;
            p=fa[p];
        }
        //q 和新节点都 fa 向拆出节点
        fa[q]=fa[cur]=cl;
    }
}
//更新最后一个节点
lst=cur;
}
}ac;

```

### 1.11.1 Usage

0 判断模式串是否是原串的子串

从起点 S 按模式串的每个字符进行转移, 无法转移则不是。

1 字符串最小循环移位

对字符串 s+s 建立 sam, 从起点贪心向最小的字符转移。

2 不同子串个数

-(1)-所有的状态节点就保存了所有不同子串, 枚举每个状态, 计算  $\sum(len[i] - len[fa[i]])$  即可。

推广到长度大于等于  $m$  的不同子串个数, 答案即  $\sum \max(0, \text{len}[i] - \max(\text{len}[\text{fa}[i]], m-1))$ 。  
每添加一个字符, 所增加的不同子串为  $\text{len}[\text{lst}] - \text{len}[\text{fa}[\text{lst}]]$

-(2)-建立 sam 后直接从根节点 (0)dfs 搜索,  $\text{dp}[u]$  表示  $u$  为起点的路径数,  $\text{dp}[u] + = \sum \text{dp}[v]$ , 注意计算过的  $\text{dp}[v]$  不要重复计算, 最后答案是  $\text{dp}[0]-1$ (或初始化  $\text{dp}[i]$  为 1,  $\text{dp}[0]$  为 0)。

dfs 也可以改用拓扑排序, 从后往前递推。

3 不同字串长度之和

即不同路径的长度之和,  $\text{ans}[u]$  表示  $u$  为起点的路径长度和,  $\text{ans}[u] = \sum (\text{ans}[v] + \text{dp}[v])$ , 即  $(u,v)$  这条边对每条路径都有一个长度字符的贡献。

4 字典序第  $k$  小子串 (相同子串算 1 个)

从根节点 (0) 往下走, 根据求出的  $\text{dp}[i]$  和  $k$  大小比较, 判断走哪一条边, 并输出该字符 ( $k$  也要减 1), 递归继续判断。

5 出现次数  $k$  次的不同子串个数。

子串出现的次数即  $\text{endpos}$  的大小, 因此求出  $\text{endpos}$  大小然后枚举所有状态即可。

从  $S$  开始的反向  $\text{fa}$  连接可以看成是一个 parent 树, 由  $\text{endpos}$  的性质,  $|\text{endpos}(u)| = \sum |\text{endpos}(v)| + 1/0$ , 是否需要加上 1 取决于该节点对应的 substrings 是否包含原串的某个前缀 (即非分解出来的状态节点  $\text{cl}$ )。

拓扑 (桶?) 排序后从后往前推, 累加  $|\text{endpos}|$ , 节点 0 代表空串,  $|\text{endpos}| = 0$ 。

6 字典序第  $k$  小子串 (相同子串算多个)

结合上述第 4 和第 5, 定义  $\text{pd}[u]$  表示节点  $u$  为起点的子串数 (可相同), 初始化  $\text{pd}[i] = |\text{endpos}(i)|(i > 0)$ , 而  $\text{pd}[u] + = \sum \text{pd}[v]$ 。

求解的时候, 找到满足的字符 ( $\text{pd}[v] \geq k$ ), 直接跳过相同的前缀个数 ( $k - \text{num}[u]$ ), 递归边界同样是判断 ( $k \leq \text{num}[u]$ )。

### 1.11.2 Memo

```
//1
//s+=s build...
void solve(int n){
    int p=0;
    for (int i=0;i<n;i++) {
        auto t=next[p].begin();
        p=t->second;
        printf("%c",t->first+'a');
    }
    printf("\n");
}

//2 3
//dfs(0) dp[0] ans[0]...
void dfs(int u){
    dp[u]=u==0?0:111;
    for(int i=0;i<26;i++){
        int v=next[u][i];
        if(v){
            if(!dp[v]){
                dfs(v);
            }
            dp[u]+=dp[v];
            ans[u]+=ans[v]+dp[v];
        }
    }
}
```



```

}
//5
//topo(len(str)) go() num[i]=endpos(i)
void topo(int l){
    for(int i=0;i<=l;i++){
        w[i]=0;
    }
    for(int i=1;i<cnt;i++){
        w[len[i]]++;
    }
    for(int i=2;i<=l;i++){
        w[i]+=w[i-1];
    }
    for(int i=cnt-1;i>=1;i--){
        tp[w[len[i]]--]=i;
    }
}
void go(){
    for(int i=cnt-1;i>=1;i--){
        num[fa[tp[i]]]+=num[tp[i]];
    }
    //S 状态是空串
    num[0]=0;
}
//4 6
//get dp[] pd[] solve(0,k) ...
void solve1(int u,int k){
    if(k<=0){ //k<=num[u]
        return;
    }
    for(int i=0;i<26;i++){
        int v=next[u][i];
        if(v){
            if(dp[v]>=k){ //pd[v]>=k
                printf("%c",i+'a');
                solve1(v,k-1); //solve2(v,k-num[u])
                break;
            }else{
                k-=dp[v]; //k-=pd[v]
            }
        }
    }
}
}
}

```

## 1.12 ProblemSet

### 1.12.1 Trie

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
const int N=3e5+50;
int n,q,a[N];
char s[2];

```

```

int l,r,x;
//在序列后添加一个数 询问  $[l,r]$  中某一个  $p$  使得  $(sum(n) \sim sum(p-1)) \sim x$  最大, 也就是  $(sum(n) \sim sum(p-1)) \sim x$  最大
//转化为求区间里与  $x$  异或最大的那个值 类似于线段树求全局 主席树求区间 这里 trie 树求全局
//为了方便求前缀和, 设第一个数  $a[0]$  为 0 而且为了方便建可持久化树 (第一个根  $rt[0]$  是个空树)
int p[N];
int rt[N];
struct Trie{
    int cnt,tr[N*30][2],val[N*30];
    void init(){
        cnt=0;
        memset(tr,0,sizeof(tr));
        memset(val,0,sizeof(val));
    }
    int insert(int pre,int x){
        int rt=++cnt;
        int now=rt;
        for(int i=31;i>=0;i--){
            int id=(x>>i)&1;
            if(!tr[now][id]){
                tr[now][id]=++cnt;
                tr[now][id^1]=tr[pre][id^1];
                val[tr[now][id]]=val[tr[pre][id]];
            }
            pre=tr[pre][id];
            now=tr[now][id];
            val[now]++;
        }
        return rt;
    }
    int query(int l,int r,int x){
        int ans=0;
        for(int i=31;i>=0;i--){
            int id=(x>>i)&1;
            if(val[tr[r][id^1]]-val[tr[l][id^1]]){
                ans=ans*2+1;
                l=tr[l][id^1];
                r=tr[r][id^1];
            }else{
                ans=ans*2;
                l=tr[l][id];
                r=tr[r][id];
            }
        }
        return ans;
    }
}T;
int main(void){
    freopen("in.txt","r",stdin);
    scanf("%d%d",&n,&q);
    T.init();
    rt[1]=T.insert(0,0);
    n++;
}

```

```

    for(int i=2;i<=n;i++){
        scanf("%d",&a[i]);
        p[i]=p[i-1]^a[i];
        rt[i]=T.insert(rt[i-1],p[i]);
    }
    while(q--){
        scanf("%s",s);
        if(s[0]=='A'){
            n++;
            scanf("%d",&a[n]);
            p[n]=p[n-1]^a[n];
            rt[n]=T.insert(rt[n-1],p[n]);
        }else if(s[0]=='Q'){
            scanf("%d%d%d",&l,&r,&x);
            printf("%d\n",T.query(rt[l-1],rt[r],p[n]^x));
        }
    }
    return 0;
}

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
const int N=1e5+50;
vector<int> g[N];
int a[N];
int n,m,u,v,x;
int rt[N];
struct Trie{
    int cnt,tr[N*50][2],val[N*50];
    int dep[N],fa[N][20];
    void init(){
        cnt=0;
        memset(tr,0,sizeof(tr));
        memset(val,0,sizeof(val));
        memset(dep,0,sizeof(dep));
        memset(fa,0,sizeof(fa));
    }
    int ins(int pre,int x){
        int rt=++cnt;
        int now=rt;
        for(int i=16;i>=0;i--){
            int id=(x>>i)&1;
            if(!tr[now][id]){
                tr[now][id]=++cnt;
                tr[now][id^1]=tr[pre][id^1];
                val[tr[now][id]]=val[tr[pre][id]];
            }
            pre=tr[pre][id];
            now=tr[now][id];
            val[now]++;
        }
        return rt;
    }
};

```

```

void dfs(int u){
    for(int i=1;(1<<i)<=dep[u];i++){
        fa[u][i]=fa[fa[u][i-1]][i-1];
    }
    rt[u]=ins(rt[fa[u][0]],a[u]);
    int siz=g[u].size();
    for(int i=0;i<siz;i++){
        int v=g[u][i];
        if(v==fa[u][0]){
            continue;
        }
        fa[v][0]=u;
        dep[v]=dep[u]+1;
        dfs(v);
    }
}

int lca(int x,int y){
    if(dep[x]<dep[y]){
        swap(x,y);
    }
    //深度大的 x 先跳
    int t=dep[x]-dep[y];
    for(int i=0;(1<<i)<=t;i++){
        if(t &(1<<i)){
            x=fa[x][i];
        }
    }
    if(x==y){
        return x;
    }
    //同深度，一起跳
    for(int i=16;i>=0;i--){
        if(fa[x][i]!=fa[y][i]){
            x=fa[x][i];
            y=fa[y][i];
        }
    }
    //fa[x][i]==fa[y][i];
    return fa[x][0];
}

int solve(int u,int v,int x){
    //lca 单独考虑，因为下面从根到 u 到 v 的路径再减去两倍 lca(必须减去两倍)
    int lc=lca(u,v);
    int ans=a[lc]^x;
    int t=0;
    u=rt[u];
    v=rt[v];
    lc=rt[lc];
    //每一位考虑异或最大
    for(int i=16;i>=0;i--){
        int id=(x>>i)&1;
        //普通可持久化 Trie 只要考虑 val[tr[r][id~1]]-val[tr[l][id~1]] 是否大于 0
    }
}

```

```

        //这里就要考虑 u 到 v 路径上的 val 值是否大于 0 (注意负数)
        if(val[tr[u][id^1]]+val[tr[v][id^1]]-2*val[tr[lc][id^1]]>0){
            t+=(1<<i);
            id^=1;
        }
        u=tr[u][id];
        v=tr[v][id];
        lc=tr[lc][id];
    }
    //printf("t %d\n",t);
    return max(ans,t);
}
}T;
int main(void){
    // freopen("in.txt","r",stdin);
    while(~scanf("%d%d",&n,&m)){
        for(int i=1;i<=n;i++){
            g[i].clear();
            scanf("%d",&a[i]);
        }
        memset(rt,0,sizeof(rt));
        for(int i=0;i<n-1;i++){
            scanf("%d%d",&u,&v);
            g[u].push_back(v);
            g[v].push_back(u);
        }
        T.init();
        T.dfs(1);
        //printf("%d %d\n",T.lca(1,2),T.lca(2,3));
        //printf("%d %d %d\n",T.dep[1],T.dep[2],T.dep[3]);
        for(int i=0;i<m;i++){
            scanf("%d%d%d",&u,&v,&x);
            int ans=T.solve(u,v,x);
            printf("%d\n",ans);
        }
    }
    return 0;
}

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
const int N=1e5+50;
int n,q,a[N],f,u,x;
vector<int> g[N];
int cnt,tr[N*40][2],val[N*40];
int rt[N];
int insert(int pre,int x){
    int rt=++cnt;
    int now=rt;
    for(int i=31;i>=0;i--){
        int id=(x>>i)&1;
        if(!tr[now][id]){
            tr[now][id]=++cnt;

```

```

        tr[now][id^1]=tr[pre][id^1];
        val[tr[now][id]]=val[tr[pre][id]];
    }
    pre=tr[pre][id];
    now=tr[now][id];
    val[now]++;
}
return rt;
}
int query(int l,int r,int x){
    int ans=0;
    for(int i=31;i>=0;i--){
        int id=(x>>i)&1;
        if(val[tr[r][id^1]]-val[tr[l][id^1]]>0){
            l=tr[l][id^1];
            r=tr[r][id^1];
            ans=ans*2+1;
        }else{
            l=tr[l][id];
            r=tr[r][id];
            ans=ans*2;
        }
    }
    return ans;
}
int idx,in[N],ot[N],mp[N];
void dfs(int u,int f){
    in[u]=++idx;
    mp[idx]=u;
    int siz=g[u].size();
    for(int i=0;i<siz;i++){
        int v=g[u][i];
        if(v==f){
            continue;
        }
        dfs(v,u);
    }
    ot[u]=idx;
}
void init(){
    cnt=0;
    memset(tr,0,sizeof(tr));
    memset(val,0,sizeof(val));
    memset(rt,0,sizeof(rt));
    idx=0;
    memset(in,0,sizeof(in));
    memset(ot,0,sizeof(ot));
}
int main(void){
    // freopen("in.txt","r",stdin);
    while(~scanf("%d%d",&n,&q)){
        init();

```

```

    for(int i=1;i<=n;i++){
        g[i].clear();
        scanf("%d",&a[i]);
    }
    for(int i=2;i<=n;i++){
        scanf("%d",&f);
        g[f].push_back(i);
        g[i].push_back(f);
    }
    dfs(1,0);
    for(int i=1;i<=n;i++){
        rt[i]=insert(rt[i-1],a[mp[i]]);
    }
    while(q--){
        scanf("%d%d",&u,&x);
        int ans=query(rt[in[u]-1],rt[ot[u]],x);
        printf("%d\n",ans);
    }
}
return 0;
}

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
const int N=2e5+50;
int ans,len;
bool yes,vis[N];
char s[40];
//编辑距离三种操作
//delete 索引 +1 节点不变    (del s[idx+1])
//add     索引不变 节点 nex    (add in s[idx] idx->idx+1)
//replace 索引 +1 节点 nex
struct Trie{
    int cnt,tr[N][26],val[N];
    void init(){
        cnt=0;
        memset(tr,0,sizeof(tr));
        memset(val,0,sizeof(val));
    }
    void insert(char *s){
        int len=strlen(s);
        int now=0;
        for(int i=0;i<len;i++){
            int id=s[i]-'a';
            if(!tr[now][id]){
                tr[now][id]=++cnt;
            }
            now=tr[now][id];
        }
        val[now]=1;
    }
    int query(){
        len=strlen(s+1);

```

```

    ans=0;
    yes=false;
    memset(vis,false,sizeof(vis));
    dfs(0,0,0);
    if(yes){
        return -1;
    }else{
        return ans;
    }
}
//trie 树根节点是 0, 所以考虑将字符串从 1 计数
//字符串下标, trie 数节点, 是否修改 (编辑距离为 1)
void dfs(int idx,int u,int f){
    if(idx==len){
        if(val[u]){
            if(f){
                if(!vis[u]){
                    ans++;
                    vis[u]=true;
                }
            }else{
                yes=true;
            }
            return;
        }
    }
    if(!f){
        //delete 删除 s[idx+1]
        dfs(idx+1,u,1);
        for(int i=0;i<26;i++){
            if(tr[u][i]){
                //add 在 idx 前添加 'a'+i
                dfs(idx,tr[u][i],1);
                if(i!=s[idx+1]-'a'){
                    //replace 将 s[idx+1] 换成 'a'+i
                    dfs(idx+1,tr[u][i],1);
                }
            }
        }
    }
    //无操作
    int id=s[idx+1]-'a';
    if(tr[u][id]){
        dfs(idx+1,tr[u][id],f);
    }
}
}T;
int n,m;
int main(void){
    //freopen("in.txt","r",stdin);
    scanf("%d%d",&n,&m);
    T.init();

```



```

    for(int i=0;i<n;i++){
        scanf("%s",s);
        T.insert(s);
    }
    for(int i=0;i<m;i++){
        scanf("%s",s+1);
        printf("%d\n",T.query());
    }
    return 0;
}

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=3e5+50;
const ll mod=20071027;
char s[N];
int n;
int tr[N*2][26],cnt,val[N*2];
ll dp[N*2];
char w[105];
void init(){
    memset(tr,0,sizeof(tr));
    cnt=0;
    memset(val,0,sizeof(val));
    memset(dp,0,sizeof(dp));
}
void insert(char *s){
    int len=strlen(s);
    int now=0;
    for(int i=0;i<len;i++){
        int id=s[i]-'a';
        if(!tr[now][id]){
            tr[now][id]=++cnt;
        }
        now=tr[now][id];
    }
    val[now]++;
}
void query(char *s,int len,int x){
    int now=0;
    //因为包含一个已确定字符 s[0], 所以是 <=len
    for(int i=0;i<=len;i++){
        int id=s[i]-'a';
        if(!tr[now][id]){
            break;
        }else if(val[tr[now][id]]){
            dp[x]=(dp[x]+dp[x+i+1])%mod;
        }
        now=tr[now][id];
    }
}
int main(void){

```

```

// freopen("in.txt", "r", stdin);
int cas=1;
while(~scanf("%s",s)){
    init();
    scanf("%d",&n);
    int len=strlen(s);
    for(int i=0;i<n;i++){
        scanf("%s",w);
        insert(w);
    }
    //dp[i] 表示 s[i...len-1] 这个串由单词表示的方案数
    //dp[i]+=dp[j] s[i...j-1] 是单词
    dp[len]=1;
    for(int i=len-1;i>=0;i--){
        //所以这里要查询以 s[i] 开头, 长度为 min(len-i,100) 的单词数, 累加其方案数
        query(s+i,min(100,len-i+1),i);
    }
    printf("Case %d: %lld\n",cas++,(dp[0]%mod+mod)%mod);
}
return 0;
}

```

### 1.12.2 Pam

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=2e5+50;
struct PT{
    int next[N][26],fail[N];
    int cnt[N],num[N],len[N];
    int S[N*2],last[2],L,R,id[N],n,p;
    ll ans;
    int newnode(int l){
        for(int i=0;i<26;i++){
            next[p][i]=0;
        }
        cnt[p]=0;
        num[p]=0;
        len[p]=1;
        return p++;
    }
    void init(int allLen){
        ans=0;
        p=0;
        newnode(0);
        newnode(-1);
        fail[0]=1;
        //两个 last 分别维护前端和后端插入
        last[0]=last[1]=0;
        //普通的后端插入是 n 从 0 开始, 然后 S[++n]
        //这里分为前后端插入, 将 S 扩大两倍, 后端插入的放在 S[allLen...], 前端插入的放在

```

```

    //因为添加的时候是 S[++R] 和 S[--L], 所以 L 初值为 allLen, R 初值为 allLen-1
    L=allLen;
    R=allLen-1;
    memset(S,-1,sizeof(S));
}
int getFail(int x,int d){
    if(d){
        //后端添加
        while(S[R-len[x]-1]!=S[R]){
            x=fail[x];
        }
    }else{
        //前端添加
        while(S[L+len[x]+1]!=S[L]){
            x=fail[x];
        }
    }
    return x;
}
void add(int c,int d){
    c-='a';
    if(d){
        S[++R]=c;
    }else{
        S[--L]=c;
    }
    int cur=getFail(last[d],d);
    if(!next[cur][c]){
        int now=newnode(len[cur]+2);
        fail[now]=next[getFail(fail[cur],d)][c];
        num[now]=num[fail[now]]+1;
        next[cur][c]=now;
    }
    last[d]=next[cur][c];
    cnt[last[d]]++;
    //添加字符之后当前整个串为回文, 修改另一个 last
    if(len[last[d]]==R-L+1){
        last[d^1]=last[d];
    }
    ans+=1ll*num[last[d]];
}
void count(){
    for(int i=p-1;i>=0;i--){
        cnt[fail[i]]+=cnt[i];
    }
}
}ac;
int n,op;
char s[3];
int main(){
    // freopen("in.txt","r",stdin);
    while(~scanf("%d",&n)){

```

```

    ac.init(n);
    for(int i=0;i<n;i++){
        scanf("%d",&op);
        if(op==1){
            scanf("%s",s);
            ac.add(s[0],0);
        }else if(op==2){
            scanf("%s",s);
            ac.add(s[0],1);
        }else if(op==3){
            //不同回文子串个数
            printf("%d\n",ac.p-2);
        }else{
            //回文子串个数
            printf("%lld\n",ac.ans);
        }
    }
}
return 0;
}

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=1e5+50;
int vis[N],ndp[N],fdp[N];
struct PT{
    int next[N][26],fail[N],cnt[N],num[N],len[N];
    int S[N],last,id[N],n,p;
    int newnode(int l){
        for(int i=0;i<26;i++){
            next[p][i]=0;
        }
        cnt[p]=num[p]=0;
        len[p]=1;
        return p++;
    }
    void init(){
        p=0;
        newnode(0);
        newnode(-1);
        last=0;
        n=0;
        S[n]=-1;
        fail[0]=1;
    }
    int getFail(int x){
        while(S[n-len[x]-1]!=S[n]){
            x=fail[x];
        }
        return x;
    }
    void add(int c){

```

```

    c-='a';
    S[++n]=c;
    int cur=getFail(last);
    if(!next[cur][c]){
        int now=newnode(len[cur]+2);
        fail[now]=next[getFail(fail[cur])][c];
        num[now]=num[fail[now]]+1;
        next[cur][c]=now;
    }
    last=next[cur][c];
    cnt[last]++;
    id[last]=n;
}
void count(){
    for(int i=p-1;i>=0;i--){
        cnt[fail[i]]+=cnt[i];
    }
}
int dfs(int u){
    ndp[u]=1;
    fdp[u]=0;
    //计算向上跳的 fail 指针次数, vis 保证不重复 (比如 bb 跳的 fail 指针, bbbb 不能再
    for(int t=u;!vis[t] && t>1;t=fail[t]){
        vis[t]=u;
        fdp[u]++;
    }
    for(int i=0;i<26;i++){
        if(next[u][i]){
            ndp[u]+=dfs(next[u][i]);
        }
    }
    //清空标记
    for(int t=u;vis[t]==u && t>1;t=fail[t]){
        vis[t]=0;
    }
    return ndp[u];
}
11 solve(){
    //从两个根 dfs
    dfs(0);
    dfs(1);
    ll ans=0;
    for(int i=2;i<p;i++){
        //除去根, 每个节点的贡献 (作为另一个回文子串的子串) 为
        //比如对于样例 abba, 回文节点 bb 的 next 指针指向 abba, fail 指针指向 b
        //因此 ndp 和 fdp 都为 2, 贡献为 2*2-1=3
        //即 (b,bb) (b,abba) (bb,bb) (bb,abba), 减 1 就是要减掉本身
        ans+=1ll*ndp[i]*fdp[i]-1;
    }
    return ans;
};
}ac;

```

```
int T;
char s[N];
int main(void){
    // freopen("in.txt", "r", stdin);
    scanf("%d",&T);
    for(int cas=1;cas<=T;cas++){
        scanf("%s",s);
        ac.init();
        int len=strlen(s);
        for(int i=0;i<len;i++){
            ac.add(s[i]);
        }
        ac.count();
        memset(vis,0,sizeof(vis));
        printf("Case #d: %lld\n",cas,ac.solve());
    }
    return 0;
}
```