

ACM Template

Zeng Xiaocan

September 16, 2019

Contents

1	String	3
1.1	STL	3
1.2	Max/Min-Expression	3
1.3	KMP	4
1.4	EXKMP	4
1.5	Hash	6
1.6	Trie	6
1.7	AC-Automaton	7
1.8	Manacher	8
1.9	Palindromic-Tree	8
1.10	Suffix-Array	10
1.10.1	Usage	14
1.11	Suffix-Automaton	14
1.11.1	Usage	16
1.11.2	Memo	17
2	ProblemSet	18
2.1	Trie	18
2.1.1	区间异或最大值	18
2.1.2	路径异或最大值	20
2.1.3	子树异或最大值	22
2.1.4	编辑距离	24
2.1.5	trie 树上 dp	26
2.2	Pam	27
2.2.1	双向插入	27
2.2.2	next 和 fail 统计贡献	29
2.3	Sa	31
2.3.1	可重第 k 小子串	31
2.3.2	单调栈 + 边界	33
2.3.3	单调栈	35
2.4	Sam	37
2.4.1	出现 k 次子串	37
2.4.2	不同子串个数	39
2.4.3	长度大于等于 m 不同子串个数	41
2.4.4	字典序第 k 小子串	42
2.4.5	循环字典序第 k 小	46

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 getExt(char *s,int n,char *t,int m){
    int a=0;
    getNex(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]=1;
        }
    }
}

```

```

    }
}
}

```

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]=1;
    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  $S[1..i]$ ,  $S[2..i] \dots$ 
    //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 {aabba,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,  $p \rightarrow cl \rightarrow new$ 
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 $\sum \max(0, len[i] - \max(len[fa[i]], m-1))$ 。

每添加一个字符, 所增加的不同子串为 $len[lst] - len[fa[lst]]$

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

dfs 也可以改用拓扑排序, 从后往前递推。

3 不同子串长度之和

即不同路径的长度之和, $ans[u]$ 表示 u 为起点的路径长度和, $ans[u] = \sum(ans[v] + dp[v])$, 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 $dp[i]$ 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 $endpos$ 的大小, 因此求出 $endpos$ 大小然后枚举所有状态即可。

从 S 开始的反向 fa 连接可以看成是一个 parent 树, 由 $endpos$ 的性质, $|endpos(u)| = \sum |endpos(v)| + 1/0$, 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 cl)。

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

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 $pd[u]$ 表示节点 u 为起点的子串数 (可相同), 初始化 $pd[i] = |endpos(i)| (i > 0)$, 而 $pd[u] + = \sum pd[v]$ 。

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

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]=lenpos(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]
            }
        }
    }
}
}
}

```

2 ProblemSet

2.1 Trie

2.1.1 区间异或最大值

```

#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)~sum(p-1))~x 最大, 也就是 (sum(n)
//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;
}

```

2.1.2 路径异或最大值

```

#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;
}

```

2.1.3 子树异或最大值

```

#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;
}

```

2.1.4 编辑距离

```

#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;
}

```

2.1.5 trie 树上 dp

```

#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;
}

```

2.2 Pam

2.2.1 双向插入

```

#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;
}

```

2.2.2 next 和 fail 统计贡献

```

#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;
}

```

2.3 Sa

2.3.1 可重第 k 小子串

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;

```

```

const int N=1e5+50;
char s[N];
int k;
int sa[N],rk[N],h[N];
int t[N],t2[N],c[N];
void build(int n,int m=128){
    //后缀数组
}
//a[i] 记录第 i 个后缀目前枚举到第几个子串
int a[N];
void solve(int n){
    memset(a, 0, sizeof(a));
    //从排名第一的后缀开始
    int r=1;
    //复杂度不会超过 K
    while(k){
        a[r]++;
        //大于后缀的长度, 下一个后缀
        if(a[r]>n-sa[r]){
            r++;
            continue;
        }
        k--;
        //枚举 r 之后的所有后缀, h[i]>=a[r] 即扫过所有相同子串 (当前 a[r] 长度)
        for(int i=r+1;i<=n && h[i]>=a[r] && k;i++){
            a[i]++;
            k--;
        }
        //第 k 小子串在第 r 个后缀里, 长度为 a[r]
        for(int i=0;i<a[r];i++){
            printf("%c",s[sa[r]+i]);
        }
        printf("\n");
    }
}
int main(void){
    scanf("%s",s);
    scanf("%d",&k);
    int n=strlen(s);
    build(n);
    if(k>1ll*n*(n+1)/2){
        printf("No such line.\n");
        return 0;
    }
    solve(n);
    return 0;
}

```


2.3.2 单调栈 + 边界

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=1e5+50;
char str[N];
int s[N],n;
int sa[N],rk[N],h[N];
int t[N],t2[N],c[N];
int st[N][25];
int le[N],ri[N];
void build(int n,int m){
    //后缀数组
}
void init_rmq(){
    for(int i=0;i<=n;i++){
        st[i][0]=h[i];
    }
    for(int j=1;(1<<j)<=n;j++){
        for(int i=0;i+(1<<j)-1<=n;i++){
            st[i][j]=min(st[i][j-1],st[i+(1<<(j-1))][j-1]);
        }
    }
}
int rmq(int l,int r){
    int k=0;
    while((1<<(k+1))<=r-l+1){
        k++;
    }
    return min(st[l][k],st[r-(1<<k)+1][k]);
}
int lcp(int l,int r){
    // printf("rk %d %d\n",l,r);
    if(l==r){
        return n-sa[l];
    }
    if(l>r){
        swap(l,r);
    }
    return rmq(l+1,r);
}
vector<pair<int,int> > ans;
void solve(){
    stack<int> sta;
    while(!sta.empty()){
        sta.pop();
    }
    for(int i=1;i<=n;i++){
        while(!sta.empty() && h[i]<=h[sta.top()]){
            sta.pop();
        }
    }
}

```

```

    }
    if(!sta.empty()){
        le[i]=sta.top()+1;
    }else{
        le[i]=1;
    }
    sta.push(i);
}
while(!sta.empty()){
    sta.pop();
}
for(int i=n;i>=1;i--){
    while(!sta.empty() && h[i]<=h[sta.top()]){
        sta.pop();
    }
    if(!sta.empty()){
        ri[i]=sta.top()-1;
    }else{
        ri[i]=n;
    }
    sta.push(i);
}
//枚举后缀长度
int L,R;
for(int len=1;len<n;len++){
    if(lcp(rk[0],rk[n-len])==len){
        //即  $h[rk[n-len]+1] \dots h[rk[0]]$  的最小值为  $len$ 
        R=ri[rk[n-len]+1];
        if(h[rk[n-len]]<len){
            //必须有效 (按  $h$  分组后) 的后缀才能以最小值延伸, 比如  $len$  为 3, 但是  $h[rk[n-len]] < 3$ 
            L=rk[n-len];
        }else{
            L=le[rk[n-len]];
        }
        ans.push_back({len,R-L+1});
    }
}
//母串单独考虑
ans.push_back({n,1});
int siz=ans.size();
printf("%d\n",siz);
for(int i=0;i<siz;i++){
    printf("%d %d\n",ans[i].first,ans[i].second);
}
}
int main(){
    freopen("in.txt","r",stdin);
    scanf("%s",str);
    n=strlen(str);
    for(int i=0;i<n;i++){

```

```

        s[i]=str[i]-'A'+1;
    }
    build(n,256);
    debug();
    init_rmqrq();
    solve();
    return 0;
}

```

2.3.3 单调栈

```

#include <cstdio>
#include <algorithm>
#include <cstring>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=3e5+50;
char a[N],b[N],s[N];
int sa[N],rk[N],h[N];
int t[N],t2[N],c[N];
int al,bl,n,k;
void build(int n,int m){
    //后缀数组
}
//答案就是对任意两个不同后缀 a[i...] 和 b[j...] 的  $sum(lcp(ai,bj)-k+1)$ 
//两个单调栈，一个维护 h[i]，一个维护贡献之和
ll he[N],ct[N];
ll solve(){
    //考虑用单调栈优化到  $O(n)$ ，即对于每一个后缀求与前面后缀的 lcp 之和，不重不漏
    ll ans=0;
    //当前后缀与前面每个后缀的 lcp 之和
    //由性质可知，当前后缀和前面某一个后缀的 lcp 应该是之间的 h[i] 最小值
    //因此可以将递减的 h[i] 合并为最小的那个 h[min]*cnt
    ll sum=0;
    int tp=0;
    for(int i=2;i<=n;i++){
        if(h[i]<k){
            tp=0;
            sum=0;
            continue;
        }
        ll cnt=0;
        //维护单调栈，由于 lcp 只跟区间 h 最小值有关，将所有栈顶大于当前 h[i] 的都合并
        while(tp && he[tp]>h[i]){
            //减去无效栈顶的贡献 (h[i]-k+1)
            sum-=(he[tp]-k+1)*ct[tp];
            //暂时累计 cnt，存储到新的栈顶
            cnt+=ct[tp];
            //栈顶出栈
            tp--;
        }
    }
}

```

```

    }
    //入栈, 保持单调性
    he[++tp]=h[i];
    if(sa[i-1]<a1){
        //有效贡献的串, 个数加 1
        cnt++;
    }
    ct[tp]=cnt;
    //累加栈顶贡献
    sum+=(he[tp]-k+1)*ct[tp];
    if(sa[i]>a1){
        //将当前累加的贡献加到答案中, 即 b 串后缀与前面所有 a 串后缀的 lcp 之和
        ans+=sum;
    }
}
tp=sum=0;
for(int i=2;i<=n;i++){
    if(h[i]<k){
        tp=0;
        sum=0;
        continue;
    }
    ll cnt=0;
    while(tp && he[tp]>h[i]){
        sum-=(he[tp]-k+1)*ct[tp];
        cnt+=ct[tp];
        tp--;
    }
    if(sa[i-1]>a1){
        he[++tp]=h[i];
        ct[tp]=cnt+1;
        sum+=(he[tp]-k+1)*ct[tp];
    }else{
        he[++tp]=h[i];
        ct[tp]=cnt;
        sum+=(he[tp]-k+1)*ct[tp];
    }
    //累加 b 串后缀与前面所有 a 串后缀的 lcp 之和
    if(sa[i]<a1){
        ans+=sum;
    }
}
return ans;
}
int main(){
    // freopen("in.txt","r",stdin);
    while(~scanf("%d",&k) && k){
        scanf("%s",a);
        scanf("%s",b);
        al=strlen(a);

```

```

    bl=strlen(b);
    for(int i=0;i<al;i++){
        s[i]=a[i];
    }
    s[al]='~';
    for(int i=0;i<bl;i++){
        s[al+1+i]=b[i];
    }
    n=al+bl+1;
    s[n]='\0';
    build(n,300);
    ll ans=solve();
    printf("%lld\n",ans);
}
return 0;
}

```

2.4 Sam

2.4.1 出现 k 次子串

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=2e6+50;
struct SAM{
    struct state{
        int len,fa;
        //状态对应 endpos 大小, 即子串出现次数
        int siz;
        int next[26];
    }st[N*2];
    //后缀自动机
    void topo(int len){
        //按 len 从小到大排序 O(n)
        for(int i=0;i<=len;i++){
            ws[i]=0;
        }
        for(int i=1;i<cnt;i++){
            ws[st[i].len]++;
        }
        for(int i=1;i<=len;i++){
            ws[i]+=ws[i-1];
        }
        for(int i=cnt-1;i>=1;i--){
            tp[ws[st[i].len]--]=i;
        }
        //从叶子节点递推到 S, 累加 siz, 得到 endpos 的大小
        for(int i=cnt-1;i>0;i--){
            printf("%d add %d\n",st[tp[i]].fa,tp[i]);
            st[st[tp[i]].fa].siz+=st[tp[i]].siz;
        }
    }
}

```

```

    }
    for(int i=0;i<cnt;i++){
        printf("%d %d %d\n",i,tp[i],st[i].siz);
    }
}
ll solve(int k){
    ll ans=0;
    for(int i=1;i<cnt;i++){
        //siz 表示状态的 endpos 大小, 也就是子串集合出现的次数
        if(st[i].siz==k){
            //st[i].len-st[st[i].fa].len 表示该状态对应的子串数
            ans+=st[i].len-st[st[i].fa].len;
        }
    }
    return ans;
}
}ac;
char s[N];
int T,k;
int main(void){
    freopen("in.txt","r",stdin);
    scanf("%d",&T);
    while(T--){
        scanf("%d",&k);
        scanf("%s",s);
        int n=strlen(s);
        ac.init();
        for(int i=0;i<n;i++){
            ac.add(s[i]);
        }
        ac.topo(n);
        ll ans=ac.solve(k);
        printf("%lld\n",ans);
    }
    return 0;
}

```

2.4.2 不同子串个数

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=2e5+50;
struct SAM{
    //后缀自动机
    //dp[u] 表示以 u 为起点的路径总数
    ll dp[N*2];
    void dfs(int u){
        dp[u]=u==0?0:1ll;
        for(int i=0;i<26;i++){

```

```

        int v=next[u][i];
        if(v){
            if(!dp[v]){
                dfs(v);
            }
            dp[u]+=dp[v];
        }
    }
}
ll solve(){
    dfs(0);
    return dp[0];
}
}ac;
int n;
char s[N];
int main(){
    // freopen("in.txt","r",stdin);
    scanf("%d",&n);
    scanf("%s",s);
    ac.init();
    for(int i=0;i<n;i++){
        ac.add(s[i]);
    }
    ll ans=ac.solve();
    printf("%lld\n",ans);
    return 0;
}

```

2.4.3 长度大于等于 m 不同子串个数

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int N=2e6+50;
struct SAM{
    struct state{
        int len,fa,next[26];
    }st[N*2];
    int cnt,lst;
    void init(){
        st[0]={0,-1};
        memset(st[0].next,0,sizeof(st[0].next));
        cnt++;
        lst=0;
    }
    void add(int c){
        c-='a';
        int cur=cnt++;
        int p=lst;

```

```

    st[cur].len=st[p].len+1;
    while(p!=-1 && !st[p].next[c]){
        st[p].next[c]=cur;
        p=st[p].fa;
    }
    if(p==0){
        st[cur].fa=0;
    }else{
        int q=st[p].next[c];
        if(st[q].len==st[p].len+1){
            st[cur].fa=q;
        }else{
            int cl=cnt++;
            st[cl]={st[p].len+1,st[q].fa};
            memcpy(st[cl].next,st[q].next,sizeof(st[c].next));
            while(p!=-1 && st[p].next[c]==q){
                st[p].next[c]=cl;
                p=st[p].fa;
            }
            st[q].fa=st[cur].fa=cl;
        }
    }
    lst=cur;
}
ll solve(int m){
    ll ans=0;
    for(int i=1;i<cnt;i++){
        ans+=(max(0,st[i].len-max(st[st[i].fa].len,m-1)));
    }
    return ans;
}
}ac;
int n,m;
char s[N];
int main(){
    scanf("%d%d",&n,&m);
    scanf("%s",s);
    ac.init();
    for(int i=0;i<n;i++){
        ac.add(s[i]);
    }
    ll ans=ac.solve(m);
    printf("%lld\n",ans);
    return 0;
}

```

2.4.4 字典序第 k 小子串

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;

```



```

typedef long long ll;
const int N=2e6+50;
struct SAM{
    int next[N*2][26];
    int fa[N*2],len[N*2],num[N*2],cnt,lst;
    int newnode(int l,int s){
        memset(next[cnt],0,sizeof(next[cnt]));
        len[cnt]=l;
        num[cnt]=s;
        return cnt++;
    }
    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);
        while(p!=-1 && !next[p][c]){
            next[p][c]=cur;
            p=fa[p];
        }
        if(p==-1){
            fa[cur]=0;
        }else{
            int q=next[p][c];
            if(len[q]==len[p]+1){
                fa[cur]=q;
            }else{
                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){
                    next[p][c]=cl;
                    p=fa[p];
                }
                fa[q]=fa[cur]=cl;
            }
        }
        lst=cur;
    }
    ll dp[N*2],pd[N*2];
    int w[N],tp[N];
    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;
}
void dfs(int u){
    dp[u]=u==0?0:111;
    pd[u]=u==0?0:111*num[u];
    for(int i=0;i<26;i++){
        int v=next[u][i];
        if(v){
            if(!dp[v]){
                dfs(v);
            }
            dp[u]+=dp[v];
            pd[u]+=pd[v];
        }
    }
}
//在以 u 节点开始的路径中查找第 k 小
void solve1(int u,int k){
    if(k<=0){
        return;
    }
    for(int i=0;i<26;i++){
        int v=next[u][i];
        if(v){
            if(dp[v]>=k){
                printf("%c",i+'a');
                solve1(v,k-1);
                break;
            }else{
                k-=dp[v];
            }
        }
    }
}
void solve2(int u,int k){
    if(k<=num[u]){

```

```

        return;
    }
    for(int i=0;i<26;i++){
        int v=next[u][i];
        if(v){
            if(pd[v]>=k-num[u]){
                printf("%c",i+'a');
                solve2(v,k-num[u]);
                break;
            }else{
                k-=pd[v];
            }
        }
    }
}

void debug(){
    for(int i=0;i<cnt;i++){
        printf("%d %d %lld %lld\n",i,num[i],dp[i],pd[i]);
        for(int j=0;j<26;j++){
            if(next[i][j]){
                printf("%c %d\n",'a'+j,next[i][j]);
            }
        }
    }
    for(int i=1;i<=dp[0];i++){
        printf("%d: ",i);
        solve1(0,i);
        printf("\n");
    }
    for(int i=1;i<=pd[0]-num[0];i++){
        printf("%d: ",i);
        solve2(0,i);
        printf("\n");
    }
}

}ac;
int q;
ll k;
char s[N];
int main(){
    // freopen("in.txt","r",stdin);
    scanf("%s",s);
    int n=strlen(s);
    ac.init();
    for(int i=0;i<n;i++){
        ac.add(s[i]);
    }
    ac.topo(n);
    ac.go();
    ac.dfs(0);
}

```

```

scanf("%d%lld",&q,&k);
if(q){
    //相同子串算多个
    if(k>ac.pd[0]){
        printf("-1\n");
        return 0;
    }
    ac.solve2(0,k);
    printf("\n");
}else{
    //相同子串算一个
    if(k>ac.dp[0]){
        printf("-1\n");
        return 0;
    }
    ac.solve1(0,k);
    printf("\n");
}
return 0;
}

```

2.4.5 循环字典序第 k 小

```

#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
const int N=6e5+05;
struct SAM{
    map<long long,int> next[N*2];
    //后缀自动机
    void solve(int n){
        //贪心找最小的转移边
        int p=0;
        for (int i=0;i<n;i++) {
            auto t=next[p].begin();
            p=t->second;
            printf("%d ",t->first);
        }
        printf("\n");
    }
}ac;
int n;
long long a[N/2];
int main(){
    ac.init();
    scanf("%d",&n);
    for(int i=1;i<=n;i++){
        scanf("%lld",&a[i]);
    }
    for(int i=1;i<=2*n;i++){
        ac.add(a[(i-1)%n+1]);
    }
}

```

```
    }  
    ac.solve(n);  
    return 0;  
}
```