

后缀平衡树

算法简介&算法实现

前置芝士：平衡树 这里用 $Treap$

$Treap = BST + Heap$

$Heap$ 的结构是一定的 BST 按照同一种规则建的树的中序遍历也是一定的。

val 遵循 BST rnd 遵循 $Heap$ 所以只要确定根节点 $Treap$ 的结构就是确定的，根据 rnd 取最小作为根节点，这样左右不管怎么分所有点关键值都大于这个值，再把所有 val 小于根节点的点选到左侧，其余点选到右侧，再找到这些点 rnd 最小的值作为根节点的左右儿子，这样找下去这棵树的结构唯一确定。

当权值 val 不可控时，若关键值 rnd 为随机数，则这棵树的期望深度为 $\log_{\{n\}}$ 一颗平衡树中某一个点及其子树组成的树仍是平衡树。

好 复习完毕 开始后缀平衡树~

后缀平衡树可以维护一个字符串的所有后缀，仿照平衡树，后缀平衡树对一个字符串的所有后缀进行排序。

支持动态插入或删除一个后缀（其实是在字符串前插入或删除一个字符，因为在后面的话不同后缀在末尾加同一个字符之后排序会改变）

于是我们开始魔改平衡树

我们把一个节点的编号设为后缀开始的位置，比如结点 s_1 代表从 s_1 开始的后缀 val 的问题我们可以先用一个比较函数 cmp 代替（俗称耍赖）。

```
inline void zig(int &p,long long l,long long r) { //顺时针
    int q=trp[p].lson;
    trp[p].lson=trp[q].rson;
    trp[q].rson=p;
    pushup(p);
    pushup(q);
    get_val(q,l,r);
    p=q;
}
inline void zag(int &p,long long l,long long r) { //逆时针
    int q=trp[p].rson;
    trp[p].rson=trp[q].lson;
    trp[q].lson=p;
    pushup(p);
    pushup(q);
    get_val(q,l,r);
    p=q;
}

inline void ins(int &now,int pos,long long l,long long r) {
    if(!now) {
```

```
    trp[pos].lson=trp[pos].rson=0;
    trp[pos].val=l+r>>1;
    trp[pos].key=rand();
    trp[pos].size=1;
    trp[pos].cnt=1;
    now=pos;
    return;
}
int tmp=comp(now,pos);
if(tmp>0) {
    ins(trp[now].lson,pos,l,trp[now].val-1);
    pushup(now);
    if(trp[trp[now].lson].key<trp[now].key) zig(now,l,r);
} else if(tmp<0) {
    ins(trp[now].rson,pos,trp[now].val+1,r);
    pushup(now);
    if(trp[trp[now].rson].key<trp[now].key) zag(now,l,r);
} else {
    trp[now].cnt++;
    pushup(now);
}
}
```

那么第二个问题来了，这个坑得填上 `cmp` 函数到底应该怎么写？注意到我们对于两个后缀，除去第一个字母的两个新后缀是比较过大小的（先假定是这样类似于归纳法？），我们先比较两个首字符的大小，如果分出胜负，后面的自然不用比了，如果两个字符一样，那么直接比较后面的新后缀就好了，这样我们就可以比较出大小了。至于用什么作为比较的依据，我们采用类似于线段树的做法，传两个参数 `l` 和 `r`，点的权值就是 $(l+r)/2$ ，左儿子就是 `l` 和 $(l+r)/2-1$ ，右儿子就是 $(l+r)/2+1$ 和 `r`，每次旋转之后再重新取这个值，注意将一个子树全部重新取完的时间是 $O(\log n)$ 的，而插入之类的操作本身也是这个复杂度，所以省去常数复杂度不变。这里必要时刻为了不爆精度，最好使用 `double` 类型。

```
inline int comp(int x,int y) {
    if(s[x]>s[y]||s[x]==s[y]&&trp[x+1].val>trp[y+1].val) return 1;
    else if(s[x]==s[y]&&trp[x+1].val==trp[y+1].val) return 0;
    else return -1;
}

inline void get_val(int now,long long l,long long r) {
    trp[now].val=l+r>>1;
    if(trp[now].lson) get_val(trp[now].lson,l,trp[now].val-1);
    if(trp[now].rson) get_val(trp[now].rson,trp[now].val+1,r);
}
```

至于删除操作，我们有可能把一个子树的根节点给删掉，这时我们可以借用 `FHQ Treap` 的合并做法，树高期望为 $O(\log n)$ 不变，所以之后重构就可以了。

```
inline void pushup(int pos) {
    int lson=trp[pos].lson,rson=trp[pos].rson;
    trp[pos].size=trp[lson].size+trp[rson].size+trp[pos].cnt;
}
```

```

int merge(int x,int y){
    if(!x||!y) return x+y;
    if(trp[x].key<trp[y].key){
        trp[x].rson=merge(trp[x].rson,y);
        pushup(x);
        return x;
    }
    else{
        trp[y].lson=merge(x,trp[y].lson);
        pushup(y);
        return y;
    }
}
inline void del(int &now,int pos,long long l,long long r){
    if(!now) return;
    int tmp = comp(now,pos);
    if(!tmp){
        if(trp[now].cnt>1) trp[now].cnt--;
        else{
            now=merge(trp[now].lson,trp[now].rson);
            if(now) get_val(now,l,r);
        }
        return;
    }
    else if(tmp>0) del(trp[now].lson,pos,l,trp[now].val-1);
    else del(trp[now].rson,pos,trp[now].val+1,r);
    pushup(now);
}

```

至此后缀平衡树的插入操作可以实现。

后缀平衡树其实是可以实现和后缀数组有关的东西，但是可能是我人傻常数大，写的比后缀数组要慢亿点点。比如求 $sa, rk, height$ 这三个数组， sa 表示排名为 i 的后缀起点， rk 表示后缀七点为 i 的排名， $height$ 表示排名为 $i-1$ 和排名为 i 的后缀的 LCP 长度， dfs 一下解决前两个数组。第三个数组因为本身就是可以通过 sa 和 rk 求出来的。所以就搞定啦~

```

int cnt,sa[N],rk[N],height[N];
inline void dfs(int now){
    if(!now) return;
    dfs(trp[now].lson);
    sa[++cnt]=now;
    rk[now]=cnt;
    dfs(trp[now].rson);
}
inline void get_height() {
    int k=0;
    for (int i=1; i<=len; ++i) {
        if (rk[i]==1) continue;
        if (k) --k;
        int j=sa[rk[i]-1];
        while (j+k<=n && i+k<=n && s[i+k]==s[j+k]) ++k;
    }
}

```

```
height[rk[i]]=k;  
}  
}
```

后缀平衡树单次插入需要 $O(\log n)$ 的时间，有 n 个后缀，所以时间复杂度是 $O(n \log n)$ 。空间复杂度因为结点是 n 个，故为 $O(n)$ 。

相对于后缀数组有额外的添加字符的操作，但是代码长时间慢。

相对于后缀自动机有额外的删除字符的功能。后缀自动机需要考虑字符集大小，后缀平衡树不需要。

代码练习

From: <https://wiki.cvbbacm.com/> - CVBB ACM Team

Permanent link: https://wiki.cvbbacm.com/doku.php?id=2020-2021:teams:legal_string:%E7%8E%8B%E6%99%BA%E5%BD%AA:%E5%90%8E%E7%BC%80%E5%B9%B3%E8%A1%A1%E6%A0%91&rev=1626342039

Last update: 2021/07/15 17:40