

FWT快速沃尔什变换

算法思想

或卷积

大概长这个样子 $C_k = \sum_{i+j=k} A_i \times B_j$

满足交换律、结合律 $(A+B)|C=A|C+B|C$ 均为显然

几个重要的结论：

$$FWT(A+B) = FWT(A) + FWT(B)$$

$FWT(A) = (FWT(A_0), FWT(A_0) + FWT(A_1))$ A_0 表示最高位为 0 的部分，也就是前 2^{n-1} 项； A_1 表示最高位为 1 的部分，也就是后 2^{n-1} 项。

对于 or 卷积来说 $FWT(A)[i] = \sum_{j|i} A[j]$

此时用数学归纳法有：

$$FWT(A|B)$$

$$= FWT((A|B)_0, (A|B)_1)$$

$$= FWT(A_0|B_0, A_0|B_1 + A_1|B_0 + A_1|B_1)$$

$$= (FWT(A_0|B_0), FWT(A_0|B_0 + A_0|B_1 + A_1|B_0 + A_1|B_1))$$

$$= (FWT(A_0) \times FWT(B_0), FWT(A_0) \times FWT(B_0) + FWT(A_0) \times FWT(B_1) + FWT(A_1) \times FWT(B_0) + FWT(A_1) \times FWT(B_1))$$

$$= (FWT(A_0) \times FWT(B_0), (FWT(A_0) + FWT(A_1)) \times (FWT(B_0) + FWT(B_1)))$$

$$= (FWT(A_0, FWT(A_0 + A_1))) \times (FWT(B_0, FWT(B_0 + B_1)))$$

$$= FWT(A) \times FWT(B)$$

得证

所以类似于 FFT 也有一个叫做 IFWT 的东西。

$$IFWT(A) = (IFWT(A_0), IFWT(A_1) - IFWT(A_0))$$

和卷积

和或卷积类似

结论：

$$FWT(A) = (FWT(A_0) + A_1, FWT(A_1))$$

$$FWT(A+B) = FWT(A) + FWT(B)$$

同样的数学归纳法可以证明和卷积成立

$$IFWT(A) = (IFWT(A_0) - IFWT(A_1), IFWT(A_1))$$

异或卷积

结论：

$$FWT(A) = (FWT(A_0) + FWT(A_1), FWT(A_0) - FWT(A_1))$$

$$FWT(A+B) = FWT(A) + FWT(B)$$

$$IFWT(A) = (\frac{IFWT(A_0) - IFWT(A_1)}{2}, \frac{IFWT(A_0) + IFWT(A_1)}{2})$$

算法实现

```
#include<bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef long long ll;
const int MAXN=1500000;

int MOD=998244353;
int inv2=(MOD+1)>>1,N;
ll a1[MAXN],b1[MAXN],a2[MAXN],b2[MAXN],a3[MAXN],b3[MAXN];

void or_FWT(ll *P,int opt) {
    for(int i=2; i<=N; i<<=1)
        for(int p=i>>1,j=0; j<N; j+=i)
            for(int k=j; k<j+p; ++k)
                P[k+p]+=P[k]*opt,P[k+p]=(P[k+p]+MOD)%MOD;
}

void and_FWT(ll *P,int opt) {
    for(int i=2; i<=N; i<<=1)
        for(int p=i>>1,j=0; j<N; j+=i)
            for(int k=j; k<j+p; ++k)
                P[k]+=P[k+p]*opt,P[k]=(P[k]+MOD)%MOD;
}

void xor_FWT(ll *P,int opt) {//如果不是在模意义下的话，把逆元变成直接除二就好了。
    for(int i=2; i<=N; i<<=1)
        for(int p=i>>1,j=0; j<N; j+=i)
            for(int k=j; k<j+p; ++k) {
                ll x=P[k],y=P[k+p];
```

```
        P[k]=(x+y)%MOD;
        P[k+p]=(x-y+MOD)%MOD;
if(opt==-1)P[k]=1ll*P[k]*inv2%MOD,P[k+p]=1ll*P[k+p]*inv2%MOD;
        }
}

int main() {
    scanf("%d",&N);
    N=1<<N;
    for(int i=0;i<N;i++) {
        scanf("%lld",&a1[i]);
        a2[i]=a3[i]=a1[i];
    }
    for(int i=0;i<N;i++) {
        scanf("%lld",&b1[i]);
        b2[i]=b3[i]=b1[i];
    }
    or_FWT(a1,1);or_FWT(b1,1);
    for(int i=0;i<N;i++) a1[i]=a1[i]*b1[i]%MOD;
    or_FWT(a1,-1);
    and_FWT(a2,1);and_FWT(b2,1);
    for(int i=0;i<N;i++) a2[i]=a2[i]*b2[i]%MOD;
    and_FWT(a2,-1);
    xor_FWT(a3,1);xor_FWT(b3,1);
    for(int i=0;i<N;i++) a3[i]=a3[i]*b3[i]%MOD;
    xor_FWT(a3,-1);
    for(int i=0;i<N;i++) {
        printf("%lld ",a1[i]);
    }
    putchar(10);
    for(int i=0;i<N;i++) {
        printf("%lld ",a2[i]);
    }
    putchar(10);
    for(int i=0;i<N;i++) {
        printf("%lld ",a3[i]);
    }
    putchar(10);
    return 0;
}
```

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:fwf&rev=1626836655

Last update: 2021/07/21 11:04