第12卷 第6期　　电 子 科 学 学 刊　　Vol. 12. No. 6
1990 年11月　　JOURNAL OF ELECTRONICS　　Nov., 1990

长度为p^m的离散哈脱莱变换分离基算法*

茅一民
（东南大学，南京）

摘要　Soo-Chang Pei, Ja-Ling Wu (1986)和茅一民(1987)提出了长度为 2^m 的分离基 2/4 哈脱莱变换算法．本文将分离基算法推广到长度为 p^m 的哈脱莱变换，并证明基 p^2 算法实乘次数比基 p 算法少，而基 p/p^2 算法实乘次数比前两者都少．作为例子，给出了长度为 $N=3^m$ 的基 3/9 哈脱莱变换快速算法和流图．

关键词　正交变换；离散哈脱莱变换；分离基算法

一、引　　言

当 $N=p^m$，p 为小素数时，从 Cooley-Tukey 映射方法[1]可以得到基 r($r=p$ 或 $r=p^k$，k 为小于m的正整数)的快速算法．例如长度为 $N=2^m$ 时，有基 2、基 4、基 8 等哈脱莱变换快速算法．

1986 年以后提出了长度为 $N=2^m$ 的分离基离散哈脱莱变换(简称 DHT)算法[2,3]，这种算法不能直接从 Cooley-Tukey 映射获得．长度为 $N=2^m$ 的时间抽取(DIT) DHT 算法中，若将输入数据的偶序部分 $x(2n)$ 用基 2 分解，而奇序部分用基 4 分解就得到分离基 2/4 算法，它比基 2、基 4 算法优越，实乘次数少．

本文证明，对于长度为 $N=p^m$，$p>2$ 的情况也同样存在着分离基 p/p^2 的快速哈脱莱变换算法(FHT)． 它仍然比基 p 和基 p^2 算法有效．并给出 $p=3$ 时的基 3/9 算法和流图．这种算法同样适合于 $N=p^m$ 点 DFT．

二、$N=p^m$ 点分离基离散哈脱莱变换算法

令输入序列 $x(n)$ 的长度为 $N=p^m, p>2$．其 DHT 定义为

$$H(k)=\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\operatorname{cas}\frac{2\pi nk}{N},\ k=0,1,\cdots(N-1) \tag{1}$$

* 1989 年 1 月 4 日收到，1990 年 7 月 23 日修改定稿．

式中
$$\operatorname{cas}\frac{2\pi nk}{N}=\cos\frac{2\pi nk}{N}+\sin\frac{2\pi nk}{N}$$

首先，由基 p DIT 算法得

$$H(k)=\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn)\operatorname{cas}\frac{2\pi pnk}{N}+\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+1)\operatorname{cas}\frac{2\pi(pn+1)k}{N}+\cdots+\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+p-1)\operatorname{cas}\frac{2\pi(pn+p-1)k}{N},\ k=0,1,\cdots,((N/p)-1)\tag{2}$$

若将(2)式中除 $x(pn)$ 项外的所有输入序列再进行基 p 分解，即得分离基 p/p^2 算法：

$$H(k)=\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn)\operatorname{cas}\frac{2\pi pnk}{N}+\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}\left\{\sum_{l'=1}^{p-1}\sum_{l=0}^{p-1}x[p(pn+l)+l']\operatorname{cas}\frac{2\pi[p(pn+l)+l']k}{N}\right\}\tag{3}$$

由(3)式可知，分离基 p/p^2 算法将一个 $N=p^m$ 点 DHT 分解为一个 N/p 点基 p DHT 和 $p(p-1)$ 个 N/p^2 点基 p^2 DHT。下节将证明这种算法比基 p、基 p^2 优越。

三、算法复杂性

本节要证明在相同 N 下，基 p^2 算法比基 p 算法优越，而基 p/p^2 算法则比前两者都优越。

1. $N=p^m$ 点基 p DIT 算法

$$\begin{aligned}H(k)&=\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn)\operatorname{cas}\frac{2\pi nk}{N/p}+\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+1)\operatorname{cas}\frac{2\pi(pn+1)k}{N}+\cdots\\&\quad+\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+p-1)\operatorname{cas}\frac{2\pi(pn+p-1)k}{N}\\&=\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn)\operatorname{cas}\frac{2\pi nk}{N/p}+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+1)\operatorname{cas}\frac{2\pi nk}{N/p}\right.\\&\quad\left.+\sin\frac{2\pi k}{N}\sum_{k=0}^{(N/p)-1}x(pn+1)\operatorname{cas}\left(-\frac{2\pi nR}{N/p}\right)\right]+\cdots\\&\quad+\left[\cos\frac{2\pi(p-1)k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+p-1)\operatorname{cas}\frac{2\pi nk}{N/p}\right.\\&\quad\left.+\sin\frac{2\pi(p-1)k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p)-1}x(pn+p-1)\operatorname{cas}\left(-\frac{2\pi nk}{N/p}\right)\right]\\&=A_0(k)+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}A_1(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}A_1\left(\frac{N}{p}-k\right)\right]+\cdots\end{aligned}$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi(p-1)k}{N}A_{p-1}(k)\right.$$

$$\left.+\sin\frac{2\pi(p-1)k}{N}A_{p-1}\left(\frac{N}{p}-k\right)\right] \tag{4}$$

由(4)式可知,该算法的输入级为 p 个长度是 $N/p=p^{m-1}$ 的 DHT,$A_j(k)[j=0,1,\cdots,(p-1)]$. 输出级为 $N/p=p^{m-1}$ 个长度是 p 的 DHT. 中间还需乘以正、余弦因子共 $2\cdot p^m$ 个,其中有平凡数 $(p^{m-1}+p-1)$ 个. 因此,基 p 算法的总实乘数为

$$M_p(m)=p\cdot M_p(m-1)+p^{m-1}M_p(1)+2[p^{m-1}(p-1)-p+1] \tag{5}$$

起始条件为

$$M_p(0)=0;\ M_p(1)=N_p;\ M_p(2)=2[pN_p+(p-1)^2] \tag{6}$$

由(5)、(6)式可求差分方程(5)式的解为

$$M_p(m)=d_1mp^m+d_2p^m+d_3 \tag{7}$$

代入起始条件得

$$d_2+d_3=0;\ d_1p+d_2p+d_3=N_p;\ 2d_1p^2+d_2p^2+d_3=2[pN_p+(p-1)^2]$$

解之得

$$d_1=\frac{N_p+2(p-1)}{p};\ d_2=-2;\ d_3=2$$

故基 p 算法的总实乘数为

$$M_p(m)=\frac{N_p+2(p-1)}{p}mp^m-2p^m+2 \tag{8}$$

2. $N=(p^2)^m$ 点基 p^2 算法

$$H(k)=\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/p^2}+\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n+1)\mathrm{cas}\frac{2\pi(p^2n+1)k}{N}+\cdots$$

$$+\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n+p-1)\mathrm{cas}\frac{2\pi(p^2n+p-1)k}{N}$$

$$=\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/p^2}+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n+1)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/p^2}\right.$$

$$\left.+\sin\frac{2\pi k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n+1)\mathrm{cas}\left(-\frac{2\pi nk}{N/p^2}\right)\right]+\cdots$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi(p^2-1)k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n+p^2-1)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/p^2}\right.$$

$$\left.+\sin\frac{2\pi(p^2-1)k}{N}\sum_{n=0}^{(N/p^2)-1}x(p^2n+p^2-1)\mathrm{cas}\left(-\frac{2\pi nk}{N/p^2}\right)\right]$$

$$=B_0(k)+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}B_1(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}B_1\left(\frac{N}{p^2}-k\right)\right]+\cdots$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi(p^2-1)k}{N}B_{(p^2-1)}(k)+\sin\frac{2\pi(p^2-1)k}{N}B_{(p^2-1)}\left(\frac{N}{p^2}-k\right)\right] \tag{9}$$

所以基 p^2 算法的输入级为 p^2 个长度是 $N/p^2=(p^2)^{m-1}$ 的 DHT，输出级为 $N/p^2=(p^2)^{m-1}$ 个长度是 p^2 的 DHT，外加 $2N=2(p^2)^m$ 个正、余弦因子乘法，其中平凡数为 $(p^2)^{m-1}+p^2-1$ 个．故基 p^2 算法的总实乘数为

$$M_{p^2}(m)=p^2M_{p^2}(m-1)+(p^2)^{m-1}M_{p^2}(1)+2[(p^2)^{m-1}(p^2-1)-p^2+1] \tag{10}$$

起始条件为

$$M_{p^2}(0)=0;\ M_{p^2}(1)=N_{p^2};\ M_{p^2}(2)=2[p^2(N_{p^2}+(p^2-1)^2] \tag{11}$$

式中 N_{p^2} 是基 p^2 蝶形的实乘数，它比长度为 p^2 的基 p 算法乘法次数少 r 次，即

$$N_{p^2}=M_p(2)-r=2pN_p+2(p-1)^2-r \tag{12}$$

同理可得差分方程(10)式的解为

$$M_{p^2}(m)=d_1'm(p^2)^m+d_2'(p^2)^m+d_3'=\frac{N_{p^2}+2(p^2-1)}{p^2}m(p^2)^m-2(p^2)^m+2 \tag{13}$$

在 $N=p^{2m}$ 情况下，我们可以比较基 p 和基 p^2 算法的总实乘次数．由(8)式得

$$M_p(2m)=2\frac{[N_p+2(p-1)]}{p}mp^{2m}-2p^{2m}+2 \tag{14}$$

因此，仅需比较第一项：

$$\delta=\frac{N_{p^2}+2(p^2-1)}{p^2}\Big/\frac{2[N_p+2(p-1)]}{p}=1-\frac{r}{p[N_p+2(p-1)]} \tag{15}$$

显然，只要 $r>0$，就有

$$M_{p^2}(m)<M_p(2m) \tag{16}$$

3. $N=p^m$ 点基 p/p^2 算法

由(3)式可知基 p/p^2 算法将一个 $N=p^m$ 点 DHT 分为一个 p^{m-1} 点 DHT 和 $p(p-1)$ 个 N/p^2 点 DHT，外加 $(N/p^2)[N_{p^2}-N_p+2p(p-1)]-2p(p-1)$ 个非平凡数乘法．故基 p/p^2 算法的实乘数为

$$\begin{aligned}M_{p/p^2}(m)=&M_{p/p^2}(m-1)+p(p-1)M_{p/p^2}(m-2)+\frac{N}{p^2}[N_{p^2}-N_p\\&+2p(p-1)]-2p(p-1)\end{aligned} \tag{17}$$

(17)式为二阶差分方程，其特征根为 $p,(1-p)$，所以(17)式的完全解为

$$\left.\begin{aligned}&M_{p/p^2}(m)=d_1''mp^m+d_2''p^m+d_3''(1-p)^m+d_4''\\&d_1''=\frac{2p(p-1)+N_{p^2}-N_p}{p(2p-1)};\ d_2''=-\frac{2p(3p-2)-2pN_p+N_{p^2}}{(2p-1)^2}\\&d_3''=-\frac{2p(p-2)+2pN_p+2-N_{p^2}}{(2p-1)^2};\ d_4''=2\end{aligned}\right\} \tag{18}$$

令 $N=p^{2m}$，我们可以由(14)和(18)式比较基 p^2 和基 p/p^2 算法的总实乘次数：

$$M_{p/p^2}(2m)=d_1''2mp^{2m}+d_2''p^{2m}+d_3''(1-p)^{2m}+d_4''$$

$$M_{p^2}(m)=d_1'mp^{2m}+d_2'p^{2m}+d_3'$$

当 m 较大时，仅需比较第一项：

$$\frac{2d_1''}{d_1'}=\frac{2[2p(p-1)+N_{p^2}-N_p]}{p(2p-1)}\Big/\frac{N_{p^2}+2(p^2-1)}{p^2}$$
$$=\frac{8p^3+p^2(4N_p-12)+2p(2-N_p-r)}{8p^3+4p^2(N_p-3)+2p(2-N_p-r)+r} \quad (19)$$

当 $r>0$ 时，$M_{p/p^2}(2m)<M_{p^2}(m)$。即基 p/p^2 算法优于基 p^2 算法。因此，当 $N=p^{2m}$，m 较大，$r>0$ 时，存在如下关系：

$$M_{p/p^2}(2m)<M_{p^2}(m)<M_p(2m) \quad (20)$$

四、$N=3^m$ 分离基 3/9 DHT 算法

作为例子，令 $p=3$。DIT 基 3 DHT 为

$$H(k)=\sum_{n=0}^{(N/3)-1}x(3n)\text{cas}\frac{2\pi nk}{N/3}+\sum_{k=0}^{(N/3)-1}x(3n+1)\text{cas}\frac{2\pi(3n+1)k}{N}$$
$$+\sum_{n=0}^{(N/3)-1}x(3n+2)\text{cas}\frac{2\pi(3n+2)k}{N} \quad (21)$$

故分离基 3/9 算法为

$$H(k)=\sum_{n=0}^{(N/3)-1}x(3n)\text{cas}\frac{2\pi nk}{N/3}+\sum_{n=0}^{N/9)-1}x(9n+1)\text{cas}\frac{2\pi(9n+1)k}{N}$$
$$+\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+4)\text{cas}\frac{2\pi(9n+4)k}{N}+\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+7)\text{cas}\frac{2\pi(9n+7)k}{N}$$
$$+\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+2)\text{cas}\frac{2\pi(9n+2)k}{N}+\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+5)\text{cas}\frac{2\pi(9n+5)k}{N}$$
$$+\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+8)\text{cas}\frac{2\pi(9n+8)k}{N}$$

经化简后得

$$H(k)=A(k)+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}B(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}B\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$
$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 8\cdot G(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 8\cdot G\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$
$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 2\cdot C(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 2\cdot C\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$
$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 7\cdot F(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 7\cdot F\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$
$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 4\cdot D(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 4\cdot D\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 5\cdot E(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 5\cdot E\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$=A(k)+BG^{+}+CF^{+}+DE^{+} \tag{22}$$

式中，

$$A(k)=\sum_{n=0}^{(N/3)-1}x(3n)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/3},\qquad B(k)=\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+1)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/9}$$

$$C(k)=\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+2)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/9},\quad D(k)=\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+4)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/9}$$

$$E(k)=\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+5)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/9},\quad F(k)=\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+7)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/9}$$

$$G(k)=\sum_{n=0}^{(N/9)-1}x(9n+8)\mathrm{cas}\frac{2\pi nk}{N/9}$$

$$BG^{+}=\left[\cos\frac{2nk}{N}B(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}B\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 8\cdot G(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 8\cdot G\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$CF^{+}=\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 2\cdot C(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 2\cdot C\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 7\cdot F(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 7\cdot F\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$DE^{+}=\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 4\cdot D(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 4\cdot D\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$+\left[\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 5\cdot E(k)+\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 5\cdot E\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$BG^{-}=\left[\sin\frac{2\pi k}{N}B(k)-\cos\frac{2\pi k}{N}B\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$-\left[\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 8\cdot G(k)-\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 8\cdot G\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$CF^{-}=\left[\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 2\cdot C(k)-\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 2\cdot C\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$-\left[\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 7\cdot F(k)-\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 7\cdot F\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$DE^{-}=\left[\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 4\cdot D(k)-\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 4\cdot D\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

$$-\left[\sin\frac{2\pi k}{N}\cdot 5\cdot E(k)-\cos\frac{2\pi k}{N}\cdot 5\cdot E\left(\frac{N}{9}-k\right)\right]$$

即分离基 3/9 算法将 3^m 点 DHT 分解为一个 $N/3$ 点基 3 DHT 和 6 个 $N/9$ 点基 9 DHT。由(22)式可得分离基 3/9 蝶形运算如下：

$$H(k)=A(k)+BG^{+}+CF^{+}+DE^{+}$$

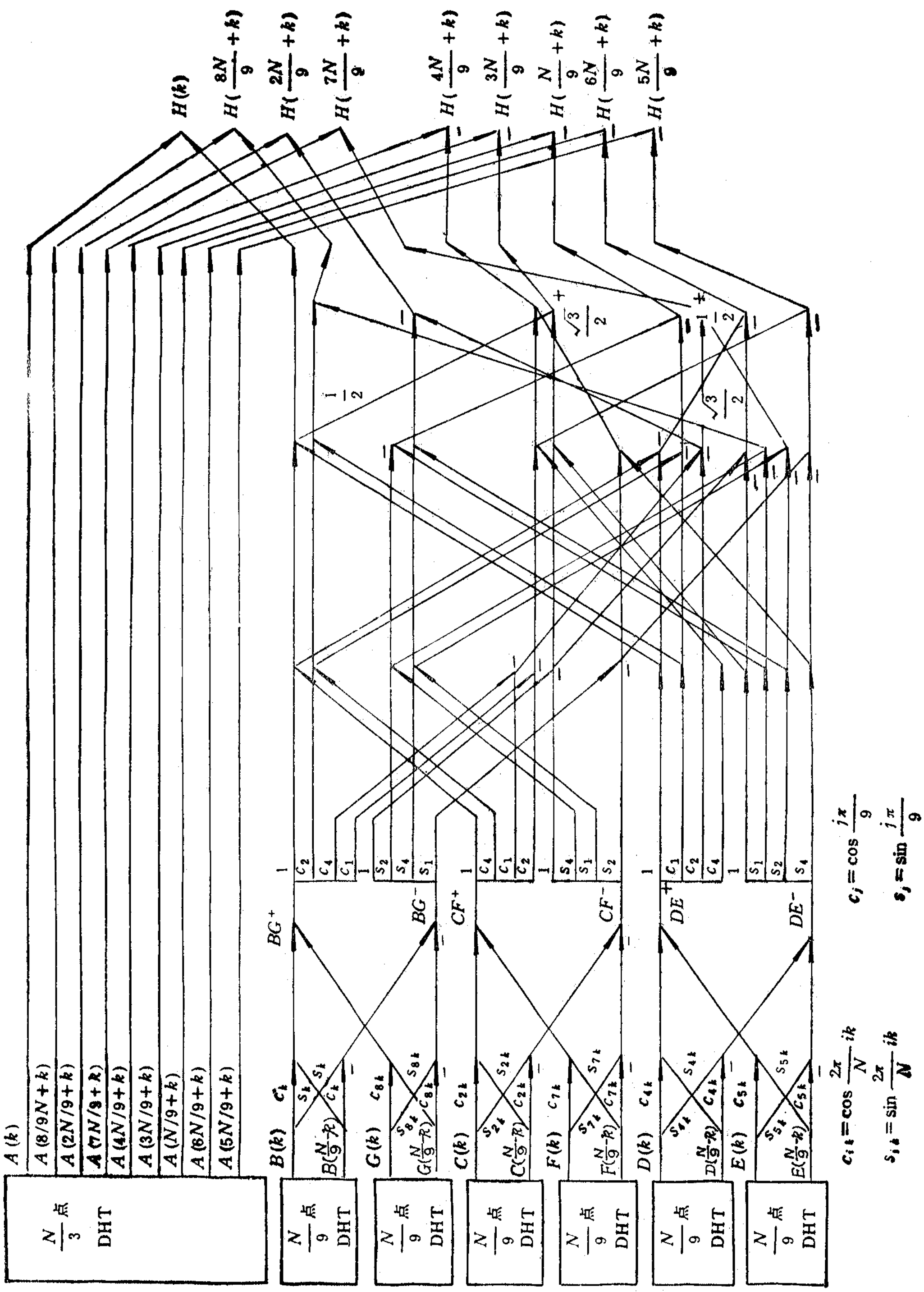

图 1 分离基 3/9 DHT 蝶形算法流图

$$H\left(\frac{N}{9}+k\right)=A\left(\frac{N}{9}+k\right)+\left[\cos\frac{2\pi}{9}\cdot BG^{+}+\cos\frac{4\pi}{9}\cdot CF^{+}-\cos\frac{\pi}{9}\cdot DE^{+}\right]$$

$$-\left[\sin\frac{2\pi}{9}BG^{-}+\sin\frac{4\pi}{9}\cdot CF^{-}+\sin\frac{\pi}{9}DE^{-}\right]$$

$$H\left(\frac{2N}{9}+k\right)=A\left(\frac{2N}{9}+k\right)+\left[\cos\frac{4\pi}{9}\cdot BG^{+}-\cos\frac{\pi}{9}\cdot CF^{+}-\cos\frac{2\pi}{9}\cdot DE^{+}\right]$$

$$-\left[\sin\frac{4\pi}{9}\cdot BG^{-}+\sin\frac{\pi}{9}\cdot CF^{-}+\sin\frac{2\pi}{9}\cdot DE^{-}\right]$$

$$H\left(\frac{3N}{9}+k\right)=A\left(\frac{3N}{9}+k\right)-\frac{1}{2}\left(BG^{+}+CF^{+}+DE^{+}\right]$$

$$-\frac{\sqrt{3}}{2}\left(BG^{-}-CF^{-}+DE^{-}\right)$$

$$H\left(\frac{4N}{9}+k\right)=A\left(\frac{4N}{9}+k\right)-\left[\cos\frac{\pi}{9}\cdot BG^{+}-\cos\frac{2\pi}{9}\cdot CF^{+}+\cos\frac{4\pi}{9}\cdot DE^{+}\right]$$

$$-\left[\sin\frac{\pi}{9}\cdot BG^{-}-\sin\frac{2\pi}{9}\cdot CF^{-}+\sin\frac{4\pi}{9}\cdot DE^{-}\right]$$

$$H\left(\frac{5N}{9}+k\right)=A\left(\frac{5N}{9}+k\right)-\left[\cos\frac{\pi}{9}BG^{+}-\cos\frac{2\pi}{9}CF^{+}+\cos\frac{4\pi}{9}DE^{+}\right]$$

$$+\left[\sin\frac{\pi}{9}BG^{-}-\sin\frac{2\pi}{9}CF^{-}-\sin\frac{4\pi}{9}DE^{-}\right]$$

$$H\left(\frac{6N}{9}+k\right)=A\left(\frac{6N}{9}+k\right)-\frac{1}{2}[BG^{+}+CF^{+}-DE^{+}]$$

$$+\frac{\sqrt{3}}{2}[BG^{-}-CF^{-}-DE^{-}]$$

$$H\left(\frac{7N}{9}+k\right)=A\left(\frac{7N}{9}+k\right)+\left[\cos\frac{4\pi}{9}BG^{+}-\cos\frac{\pi}{9}CF^{+}-\cos\frac{2\pi}{9}DE^{+}\right]$$

$$+\left[\sin\frac{4\pi}{9}BG^{-}+\sin\frac{\pi}{9}CF^{-}-\sin\frac{2\pi}{9}DE^{-}\right]$$

$$H\left(\frac{8N}{9}+k\right)=A\left(\frac{8N}{9}+k\right)+\left[\cos\frac{2\pi}{9}BG^{+}+\cos\frac{4\pi}{9}CF^{+}+\cos\frac{\pi}{9}DE^{+}\right]$$

$$+\left[\sin\frac{2\pi}{9}BG^{-}+\sin\frac{4\pi}{9}CF^{-}-\sin\frac{\pi}{9}DE^{-}\right]$$

该算法蝶形流图如图 1 所示。

五、结　　论

本文指出现有分离基 2/4 算法可以推广到 $N=p^m$，p 为大于 2 的小素数情况，并证明了该法实乘次数小于基 p 和基 p^2 算法。给出了分离基 p/p^2 DHT 算法。以分离基 3/9 DHT 为例给出了算法和蝶形流图。

参 考 文 献

[1] J. W. Cooley, J. W. Tukey, *Math. Comput.*, 19(1964)4, 297—301.
[2] Soo-Chang Pei, Ja-Ling Wu, *Electron. Lett.*, 22(1986)1, 26—27.
[3] 茅一民,数据采集与处理,1987 年,第 3 期,第 7—13 页.

SPLIT RADIX AIGORITHMS FOR LENGTH p^m DHT's

Mao Yimin

(Southeast University, Nanjing)

Abstract The split radix approach is generalized to length p^m Discrete Hartly Transform (DHT) It is shown that the radix p/p^2 algorithm is superior to the radix p^2 and radix p algorithms in number of real multiplications. As an example, a radix 3/9 algorithm is developed for length-3^m DHT, and the signal flowgraph is given.

Key words Orthogonal transform; Discrete Hartley transform; Split radix algorithm