

提高微处理器 FIR 数字滤波器 采样速度的方法

冯 炜

(无锡轻工业学院)

摘 要

本文叙述用分布计算与查表相结合的方法,提高微处理器 FIR 数字滤波器的采样速度。文中提出了高阶型和对称型 FIR 数字滤波器的系数分段法和对称系数分离技术,用以降低对存贮器容量的要求。

一个 N 项非递归的 FIR 数字滤波器可以写成如下的一般形式:

$$Y_m = \sum_{n=0}^{N-1} A_n X_{m-n}, \quad (1)$$

X_{m-n} , Y_m 分别是数字滤波器的输入和输出信号的数字值; A_n 为滤波器的权系数。采用分布计算和查表相结合的方法可以得到较快的采样速度^[1,2]。 X_{m-n} 是 K 位二进制表示的正小数,

$$X_{m-n} = \sum_{j=1}^K x_{m-n,j} 2^{-j}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (2)$$

将 (2) 式代入 (1) 式得

$$Y_m = \sum_{j=1}^K C_{m,j} 2^{-j}, \quad (3)$$

$C_{m,j}$ 为 Y_m 的第 j 个求和系数,定义为

$$C_{m,j} = \sum_{n=0}^{N-1} A_n x_{m-n,j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, K.$$

利用 (3) 式可求得滤波后的值 Y_m , 但必须事先形成 2^N 个字节的查找表 $C(P)$, 建立 K 个指针和提供 K 位字长的即时输入信号。

一、系数分段

当滤波器的项数 N 增加时,存放查找表所需的存贮器的字节数将按指数增加。一个高阶的 FIR 数字滤波器所需的 2^N 个存贮单元,可以通过系数分段的方法减少。

在高阶的情况下,一个 N 项的 FIR 数字滤波器可分割成 $Q + 1$ 段,表达式 (1) 改写成

$$Y_m = \sum_{n=0}^{D-1} A_n X_{m-n} + \sum_{n=D}^{2D-1} A_n X_{m-n} + \sum_{n=2D}^{3D-1} A_n X_{m-n} + \dots \\ + \sum_{n=(Q-1)D}^{QD-1} A_n X_{m-n} + \sum_{n=QD}^{N-1} A_n X_{m-n}, \quad (4)$$

D 为存贮单元的二进制长度. 将 (2) 式代入 (4) 式得

$$Y_m = \sum_{j=1}^K C_{m,j,0} 2^{-j} + \sum_{j=1}^K C_{m,j,1} 2^{-j} + \sum_{j=1}^K C_{m,j,2} 2^{-j} + \dots \\ + \sum_{j=1}^K C_{m,j,Q-1} 2^{-j} + \sum_{j=1}^K C_{m,j,Q} 2^{-j} = \sum_{j=1}^K C_{m,j} 2^{-j}, \quad (5)$$

$$C_{m,j} = C_{m,j,0} + C_{m,j,1} + C_{m,j,2} + \dots + C_{m,j,Q-1} + C_{m,j,Q},$$

$$C_{m,j,0} = \sum_{n=0}^{D-1} A_n x_{m-n,j},$$

$$C_{m,j,1} = \sum_{n=D}^{2D-1} A_n x_{m-n,j},$$

⋮

$$C_{m,j,Q-1} = \sum_{n=(Q-1)D}^{QD-1} A_n x_{m-n,j},$$

$$C_{m,j,Q} = \sum_{n=QD}^{N-1} A_n x_{m-n,j}.$$

$C_{m,j,0}, C_{m,j,1}, \dots, C_{m,j,Q-1}, C_{m,j,Q}$ 是分段后的段求和系数. 一个 N 项 FIR 数字滤波器,具有 N 位二进制表示的查找表指针,同样被分割成 $Q + 1$ 段

$$P_{m,j} = P_{m,j,Q} + P_{m,j,Q-1} + \dots + P_{m,j,1} + P_{m,j,0}. \quad (6)$$

称 $P_{m,j,Q}, P_{m,j,Q-1}, \dots, P_{m,j,0}$ 为查找表的段指针. 段指针和段查找表按一定规则建立在存贮器中. 用微型计算机实现一个高阶的 N 项 FIR 数字滤波器,则要用 $2^D Q + 2^{(N-QD)}$ 个存贮单元构成的查找表和 $(Q + 1)K$ 个字节的 RAM 构成的 K 个指针.

二、对称系数分离

当滤波器的项数为偶数时,可利用滤波器系数的对称性把整个滤波器的表达式分成左右两部分,即

$$Y_m = \sum_{n=0}^{N/2-1} A_n X_{m-n} + \sum_{N/2}^{N-1} A_n X_{m-n}. \quad (7)$$

同样可把 (2) 式代入 (7) 式得

$$Y_m = \sum_{j=1}^K C_{m,j} 2^{-j}. \quad (8)$$

$$C_{m,j} = C_{m1,j} + C_{m2,j}, \quad C_{m1,j} = \sum_{n=0}^{N/2-1} A_n x_{m-n,j}, \quad C_{m2,j} = \sum_{n=N/2}^{N-1} A_n x_{m-n,j}.$$

$C_{m1,j}$ 和 $C_{m2,j}$ 分别为左右两个部分的求和系数。利用滤波器右边部分的权系数形成一张较小的查找表并建立相应的表指针。该查找表可用来查找右边部分系数所对应的求和系数,也可用来查找左边部分系数所对应的求和系数,从而得到滤波后的值 Y_m 。要注意的是在利用同一张查找表得到 $C_{m1,j}$ 时,必须把用同样方法建立的左边部分的查找表指针依次倒转。

三、结果和讨论

作者用上面讨论的几种方法,在 M6800 D2 单板微型计算机上实现了具有 8 项和 11 项的 FIR 数字滤波器,图 1、图 2 分别给出了它们的频率响应的幅度特性,并且与采用通用电子计算机模拟得到的幅度特性作了比较。

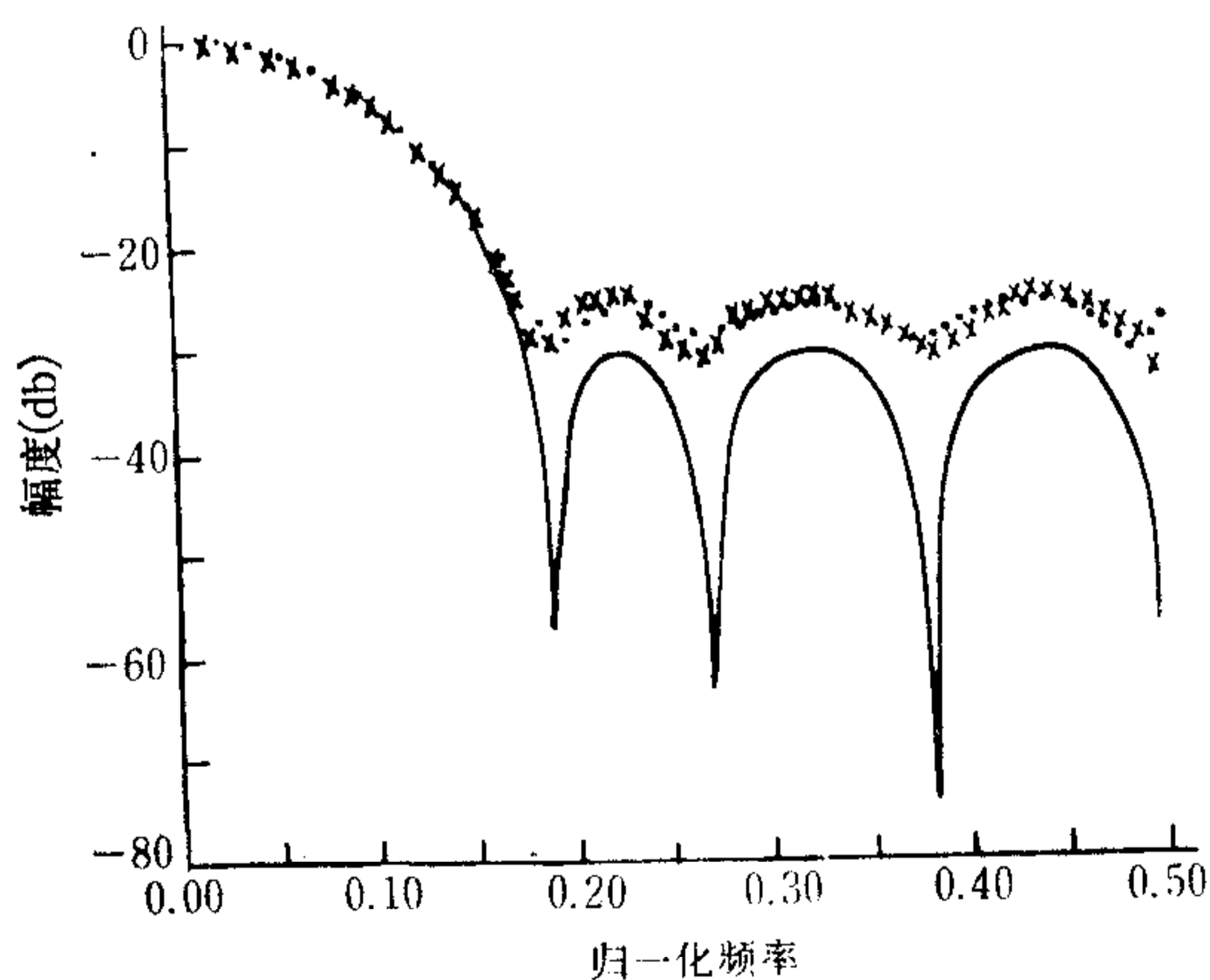


图 1 具有 8 项的 FIR 数字滤波器的频率响应幅度特性
“——”通用计算机模拟;
“.....”微型计算机分布计算法;
“××××”微型计算机对称系数分离法

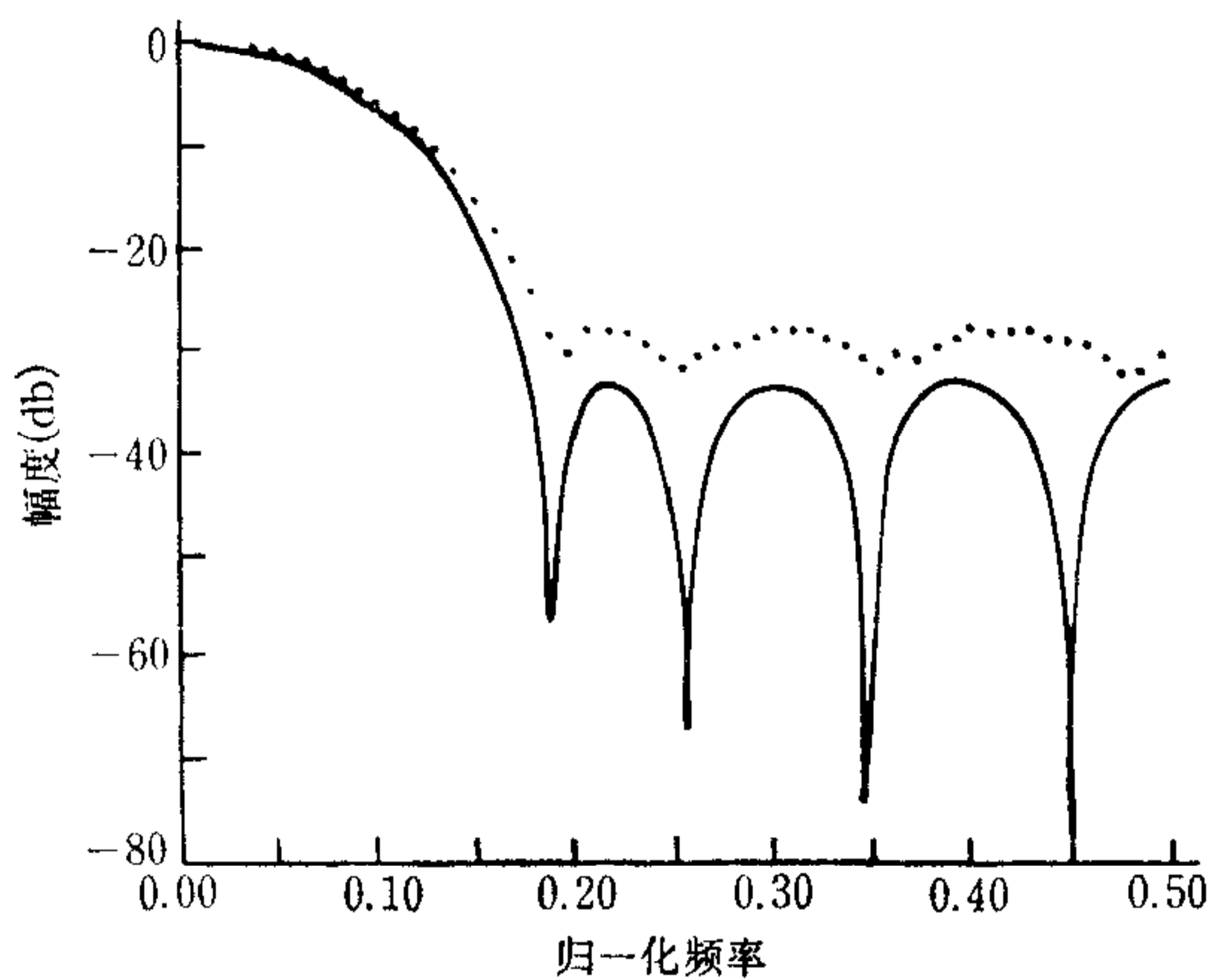


图 2 具有 11 项的 FIR 数字滤波器的频率响应幅度特性
“——”通用计算机模拟;
“.....”微型计算机系数分段法

从图中可知,用软件的方法在微型计算机上实现的 FIR 数字滤波器,其幅度特性曲线的形状和采用通用计算机进行模拟^[3],所得到的幅度特性曲线的形状相似,其通带部分基本一致,阻带衰减量小 5 分贝左右。表中给出了用不同的方法实现的不同阶的 FIR 数字滤波器的采样速度和查找表所占用的存贮器单元数。

从表 1 可以看出,用微型计算机实现 FIR 数字滤波器,如果采用分布计算法,当滤波器的项数等于或大于 8 时,其采样速度是用直接乘法运算采样速度的三倍以上,但要增加一些存贮器单元来存放查找表。当滤波器是低阶对称型时,使用对称系数分离法可以大大降低对存贮器容量的要求。一般情况下,当滤波器的项数大于 8 时,使用系数分段的办法节省查找表所占用的存贮器空间比较有效。微处理器运算速度低是微处理器实现数字滤波器所碰到的主要困难,这使微处理器数字滤波器在实际应用中受到一定的限制。因

表 1 采样速度和查找表所需的存贮单元数

滤波器 项数 N	采样速度(机器周期数)			查找表所需存贮单元数			
	直接乘法计算	分布 计算法	采 样 速度比	直 接 查表法	分 布 计算法	系 数 分段法	对称系数 分离法
8	1888	640	2.95	2048	256	256	16
16	3776	790	4.77	4096	65536	512	256
24	5664	944	6.00	6144	16777216	768	4096
32	7552	1096	6.98	8192	429462296	1024	65536

此增加一些存贮器的开销以换取较高的采样速度是合算的。如果采用快速的微处理器实现 FIR 数字滤波器,其采样速度可以达到音频范围。这种 FIR 数字滤波器完全是由计算机软件实现的,除了执行程序的微型计算机外不需附加任何硬件,程序可编,使用方便,给离散时间系统基本概念的教学带来方便。在用计算机作为主要技术手段的数据采集和工业控制系统中,这种滤波器可用同一台计算机实现,以替代传统的模拟低通滤波器。

参 考 文 献

- [1] Little, W. D., An Algorithm for High Speed Digital Filters, *IEEE Trans.*, C-23(1974), 466—469.
- [2] Burrus, C. S., Digital Filter Structures Described by Distributed Arithmetic *ibid*, CAS-24(1974), 674—680.
- [3] James H., Thomas W. Parks, and Lawrence R. Kabiner, A Computer Program for Designing Optimum FIR Linear Phase Digital Filters, *IEEE. Tran.* AU-21(1973), 506—525.

METHODS FOR IMPROVING MICROPROCESSOR FIR DIGITAL FILTER SAMPLING RATE

FENG WEI

(Wuxi Institute of Light Industry)

ABSTRACT

In this paper, the sampling rates of FIR digital filters are improved by distributed computations combined with table lookup. Coefficient Partitioning Algorithm and Symmetrical Coefficient Split Technique are suggested for saving memory cost.