

# IIR 滤波器并行实现结构研究

尚 勇,刘卫东,吴顺君

(西安电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室,西安 710071)

摘 要: 基于多项式信号的并行表达,得到了一种 IIR 滤波器并行结构.通过对该并行结构的分析,得到了一种高效的 IIR 滤波器脉动阵实现结构.这种结构具有阵列规模小,处理速度快的优点.

关键词: IIR 滤波器;并行;脉动阵结构

中图分类号: TN713+.7 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2000) 03-0046-03

## Research on Parallel Implementation of IIR Filter

SHANG Yong, LIU Wei-dong, WU Shun-jun

(Key Lab. for Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A kind of parallel structure of the IIR filter is obtained by decomposing the polynomial signal. Through the analyzing of this parallel structure, a high efficient systolic structure of the IIR filter is presented. This structure has the advantage of small array size and high processing rate.

Key words: IIR filter; parallel; systolic structure

### 1 引言

IIR 滤波作为信号处理领域中最基本的一种处理方法被广泛地应用于雷达、通信、语音处理等许多研究领域. IIR 滤波器传输函数的极点可位于单位圆的任何地方,因此可用较低的阶数获得高的选择性,所用的存储单元少,经济且高效.而对于 FIR 滤波器,传输函数的极点固定在原点,所以只能用较高的阶数才能达到高的选择性.因此在对滤波器选择性要求较高而对相位要求不敏感的场所如语音信号处理等领域,选择 IIR 滤波器可以充分发挥其经济、高效的特点.

并行技术是提高信号处理速度的一个主要办法.通过并行处理,可以大大提高信号处理的速度.

本文以下部分首先提出一种 IIR 滤波器的并行结构,继而将这种结构用于脉动阵设计,得到一种高效 IIR 滤波器脉动阵实现结构.这种结构兼有脉动与并行结构的特点.

### 2 IIR 滤波器并行结构

对于一个 ARMA 模型,它相当于一个既有零点又有极点的 IIR 滤波器<sup>[1]</sup>,其输入输出关系式如下:

$$Y(z) = \frac{B(z)}{A(z)} X(z) \quad (1)$$

即

$$Y(z) A(z) = B(z) X(z) = C(z) \quad (2)$$

其中  $C(z)$  为引入的一个中间变量.此时有<sup>[2,3,5]</sup>:

$$C_i(z^L) z^{-i} = \sum_{m=0}^{L-1} A_m(z^L) z^{-m} \sum_{l=0}^{L-1} Y_l(z^L) z^{-l} \quad (3)$$

及

$$C_i(z^L) z^{-i} = \sum_{m=0}^{L-1} B_m(z^L) z^{-m} \sum_{l=0}^{L-1} X_l(z^L) z^{-l} \quad (4)$$

从上两式出发,以两输入两输出 ( $L=2$ ) 情况为例,给出 IIR 滤波器并行结构.

$$C_0(z) + z^{-1} C_1(z) = (B_0(z) + z^{-1} B_1(z)) (X_0(z) + z^{-1} X_1(z)) \quad (5)$$

此时有:

$$C_0(z) = B_0(z) X_0(z) + z^{-2} B_1(z) X_1(z) \quad (6)$$

$$C_1(z) = B_0(z) X_1(z) + z^{-2} B_1(z) X_0(z) \quad (7)$$

同理可得:

$$C_0(z) = A_0(z) Y_0(z) + z^{-2} A_1(z) Y_1(z) \quad (8)$$

$$C_1(z) = A_0(z) Y_1(z) + A_1(z) Y_0(z) \quad (9)$$

由上面式(5)~(9)可以得到一种 IIR 滤波器并行结构.

设 IIR 滤波器的系数矢量  $a$  和  $b$  的长度分别为  $N+1$  和  $M$ ,其中  $a = [a_0 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{N-1}]$ ;  $b = [b_0 \ b_1 \ \dots \ b_{M-1}]$ ,则图中  $a_0 = [a_0 \ a_2 \ \dots \ a_{N-2}]$ ,  $a_1 = [a_1 \ a_3 \ \dots \ a_{N-1}]$  ( $N$  为偶数)  $a_0 = [a_0 \ a_2 \ \dots \ a_{N-1}]$ ,  $a_1 = [a_1 \ a_3 \ \dots \ a_{N-2}]$  ( $N$  为奇数)  $b_0 = [b_0 \ b_2 \ \dots \ b_{M-2}]$ ,  $b_1 = [b_1 \ b_3 \ \dots \ b_{M-1}]$  ( $M$  为偶数)  $b_0 = [b_0 \ b_2 \ \dots \ b_{M-1}]$ ,  $b_1 = [b_1 \ b_3 \ \dots \ b_{M-2}]$  ( $M$  为奇数)

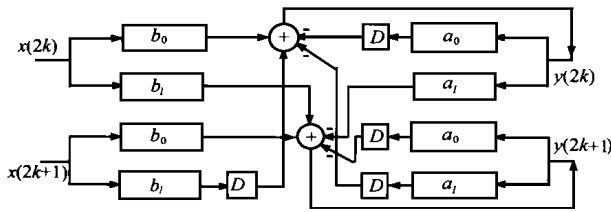


图 1 IIR 滤波器并行结构

$a$  中的 1 是为了保证式 (1) 分母不为零而引入的, 此时  $a_0$  和  $a_1$  的定义与  $b_0$  和  $b_1$  的定义稍有不同.  $D$  为单位延时单元, 其中与  $a_0$  连接的两个  $D$  正是由于  $a_0$  与  $b_0$  定义中各系数分别在  $a$  和  $b$  中位置不同而引起的.  $x(2k)$  为输入序列的偶数序列,  $x(2k+1)$  为输入序列的奇数序列. 输出同理.

### 3 IIR 滤波器并行脉动结构研究

脉动阵的主要特点是: 模块化; 规则化; 局部连接; 高度流水; 高同步化. 在文献 [4] 中, 给出了 AR 滤波器以及 MA 滤波器的脉动实现结构. 将这两种结构结合就可得到一种 IIR 滤波器的脉动实现结构.

结合前面多项式分解的分析, 以文献 [4] 中的结构和图 1 为基础提出一种脉动结构如下图:

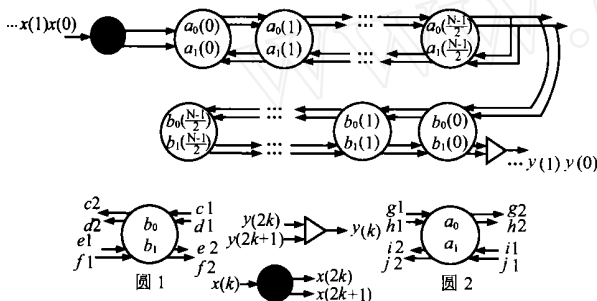


图 2 IIR 滤波的并行脉动阵结构

下面给出图 2 中各处理单元的功能定义. 表 1 列出了空心圆 1 单元和空心圆 2 单元的功能:

表 1 空心圆单元功能定义

空心圆 1 单元功能	空心圆 2 单元功能
$c2 = c1;$	$i2 = i1;$
$d2 = d1;$	$j2 = j1;$
$d11(k) = d1(k-1);$	$i11(k) = i1(k-1);$
$e2 = c1 \times b_0 + d11 \times b_1 + e1;$	$j11(k) = j1(k-1);$
$f2 = c1 \times b_1 + d1 \times b_0 + f1;$	$g2 = -i11 \times a_0 - j11 \times a_1 + g1;$
	$h2 = -i1 \times a_1 - j11 \times a_0 + h1;$

由图 2 及表 1 可见, 空心圆 1 和空心圆 2 处理单元主要用于实现乘和累加运算. 是完成 IIR 滤波的主要处理单元. 最右边的空心圆 1 的  $e2$  和  $f2$  分别对应图 1 中的输出  $y(2k)$  和  $y(2k+1)$ . 由于  $e2, f2, g2, h2$  中两个乘法运算可以同时进行, 所以它与文献 [4] 结构中处理单元相比仅多花费了一次加法运算的时间. 实心圆单元功能和三角单元功能的定义均已标在图中.

图 2 定义的脉动阵兼具脉动结构和并行结构的特点, 故其与一般的 IIR 滤波脉动结构相比, 具有处理单元个数少, 系统功耗低, 处理速度快等优点.

### 4 计算机模拟及结论

下面的计算机仿真实验证明了上面给出的结构的有效性. 实验条件如下:

滤波器输入信号为一个被高频噪声污染的语音信号. 该语音信号的采样率为 8kHz. 为了滤除噪声信号, 我们用本文提出的并行结构的 IIR 滤波器进行滤波.

IIR 滤波器系数为:

$$a = [1.0000, -0.2101, 0.7942, -0.0998, 0.1185, -0.0067, 0.0018],$$

$$b = [0.0250, 0.1498, 0.3745, 0.4993, 0.3745, 0.1498, 0.0250].$$

此时:

$$a_0 = [-0.2101, -0.0998, -0.0067], \quad a_1 = [0.7942, 0.1185, 0.0018];$$

$$b_0 = [0.0250, 0.3745, 0.3745, 0.0250], \quad b_1 = [0.1498, 0.4993, 0.1498].$$

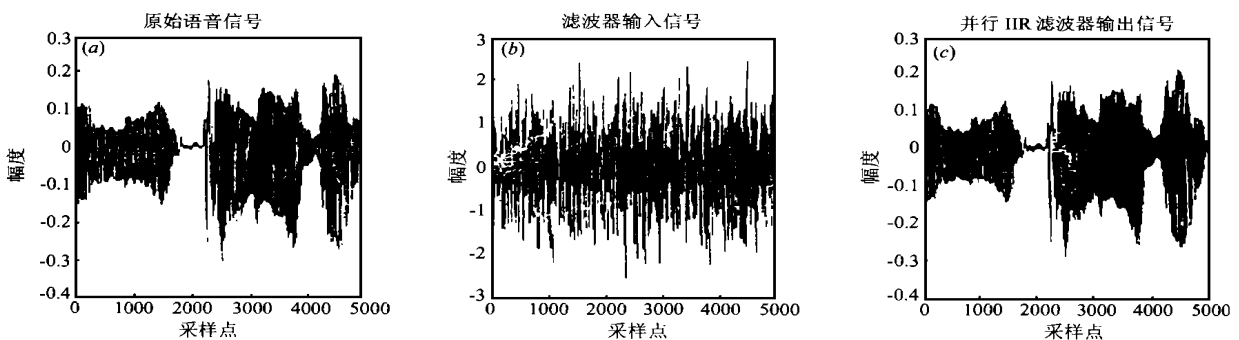


图 3 仿真实验中各时域信号波形

图 3 (a)、(b)、(c) 分别对应原始语音信号, 滤波器输入信号, 并行 IIR 滤波器输出信号. 由图可见, 该滤波器完成了滤除噪声的功能, 实现了预期的滤波功能.

本文通过把 IIR 滤波器多项式分解并行结构与 IIR 脉动阵结构的设计相结合, 得到一种新的 IIR 滤波器并行脉动阵结构. 计算机仿真实验证明了本文提出的结构的正确性.

## 参考文献

- [ 1 ] 吴顺君. 近代谱估计方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994
- [ 2 ] Shang Yong, Wu Shunjun. Design of parallel adaptive FIR filters. IEEE APCCAS '98, Chiangmai, Thailand. 1998: 81 ~ 84
- [ 3 ] D. A. Parker, K. K. Parhi. Low-area/power parallel FIR digital filter implementations. Journal of VLSI Signal Processing, 1997, 17(1): 75 ~ 92
- [ 4 ] 贡三元. VLSI 阵列处理. 南京: 东南大学出版社, 1992
- [ 5 ] 尚勇, 吴顺君. 一种新的 FIR 滤波器脉动实现结构. 电子学报已录用, 待发表.



尚 勇 1970 年出生, 1997 年在西安电子科技大学获得硕士学位, 现为该校博士研究生. 目前主要研究方向为并行信号处理、阵列信号处理.



刘卫东 1968 年出生, 现为西安电子科技大学博士研究生, 研究方向及兴趣为统计信号处理、雷达信号处理.



吴顺君 1942 年出生, 教授, 博士生导师, 中国电子学会会士, 西安电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室主任. 长期从事信号和信息处理方面的教学和科研工作.

www.cnki.net