

用微处理机实现IIR数字滤波

冯 炜

(自动化系)

引 言

数字滤波可以由专用的硬件来实现^[1],也可以用在一个在计算机上执行的程序来实现^[2],硬件的方法可以得到高速的实时滤波特性,但灵活性差,价格高。微处理器的处理速度和滤波器的实时性要求存在着很大的矛盾,然而作为非实时的或者实时性要求不高的数据处理、教学、低频信号处理等方面的应用,采用在微处理机上执行的程序来实现数字滤波将使费用大大降低,同时有利于提高可靠性和灵活性。本文叙述如何使用分布计算^[3]和查表^[4]相结合的方法,用微处理机实现IIR数字滤波。

一、分布计算与查表法

一个递归的IIR数字滤波器可用下面的表达式来表示:

$$Y_m = \sum_{n=0}^{N-1} A_n X_{m-n} + \sum_{n=1}^M B_n Y_{m-n} \quad (1)$$

其中 X_m 为采样输入量,用正的 K 位二进制小数表示。系数 A_n, B_n 是带符号的二进制数。

表达式(1)中的 X_{m-n} 和 Y_{m-n} 可写成如下形式:

$$X_{m-n} = \sum_{j=1}^K x_{m-n,j} 2^{-j}$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$Y_{m-n} = \sum_{j=1}^K y_{m-n,j} 2^{-j}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, M$$

将上面二式代入(1)式得

$$Y_m = \sum_{j=1}^K \left(\sum_{n=0}^{N-1} A_n x_{m-n,j} + \sum_{n=1}^M B_n y_{m-n,j} \right) 2^{-j}$$

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

$$C_{m,j} = \sum_{n=0}^{N-1} A_n x_{m-n,j} + \sum_{n=1}^M B_n y_{m-n,j}$$

$C_{m,j}$ 称为 Y_m 的第 j 个求和系数。 2^{N+M} 个元素所组成的查找表 $C(p)$ 用下面的方法来形成,

$$C(P) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n p_n + \sum_{n=1}^M B_n p_{n+(N-1)}$$

$$P = 0, 1, 2, 3, \dots, (2^{N+M} - 1)$$

$$p_0, p_1, p_2, \dots, p_{N+M-1} \text{ 用“0”或“1”表示} \quad (3)$$

P 为查找表 $C(P)$ 中 2^{N+M} 个元素的排列序号, $p_0 \sim p_{N+M-1}$ 是 P 的二进制表示。如果 K 个指针 $p_{m,j} (j=1, 2, 3, \dots, K)$, 可用下面的方式来建立,

$$P_{m,j} = \sum_{n=0}^{N-1} x_{m-n,j} 2^n + \sum_{n=1}^M y_{m-n,j} 2^{n+N-1} \quad (4)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, K$$

根据系数 $A_0 \sim A_{N-1}$ 和 $B_1 \sim B_M$ 及 P 值算出查找表的各元素值, 事先按规定存放在存储器中, 从而形成一张查找表 $C(P)$ 。在滤波计算中, 知道了指针 $P_{m,j}$ 就可很方便地找到 $C_{m,j}$ 。

把在微处理机内部RAM中建立的所有指针左移一位, 把所有指针中的 $y_{m-1,j}$ 用最新得到的 Y_m 中的相应量代入, 以新的采样输入量 X_{m+1} 代替所有指针中的 $x_{m,j}$, 就可得到新的指针 $P_{m+1,j}$ 。只要按照(3)(4)两式来形成查找表和表指针, 则(2)式就可用来计算 Y_m 的值。

图1是用这种方法在微处理机上实现IIR数字滤波器的流程图。

实现IIR数字滤波器的另一个方法是把IIR数字滤波器的一般表达式(1)分成二部分, 形成二张查找表, 其表长度分别为 2^N 和 2^M 个元素。

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

$$Y_{m-n} = \sum_{j=1}^K y_{m-n,j} 2^{-1} \quad n = 1, 2, 3, \dots, M$$

代入(1)式得:

$$Y_m = \sum_{j=1}^K C_{m,j,x} + C_{m,j,y} 2^{-1}$$

$$= \sum_{i=1}^K C_{m,i} 2^{-i} \quad (5)$$

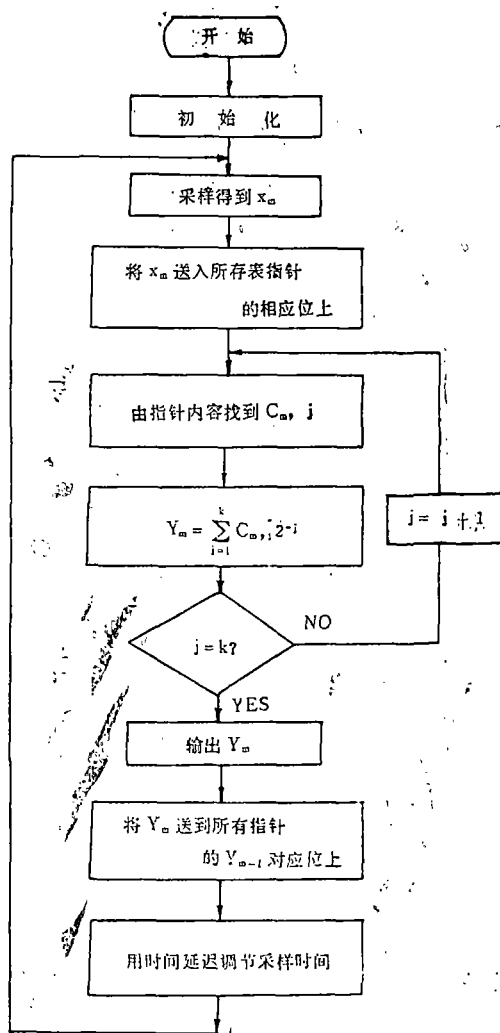


图1 微处理机 IIR 数字滤波器程序流程图

这里的 $C_{m,j} = C_{m,z,x} + C_{m,j,y_0}$

用上面同样的方法对表达式中含有 X_{n-n} 和 Y_{m-n} 的二个部分分别建立查找表和表指针, 利用(5)式求得滤波后的值 Y_m 。

如果滤波器为高阶型, 则可采用系数分段的方法, 把含有 X_{n-n} 的项分割成 $Q+1$ 段, 含有 Y_{m-n} 的项分割成 $I+1$ 段, 建立段查找表同时也要分别建立相应数目的段查找表指针。为了使一个含有 $N+M$ 项的 IIR 数字滤波器在微处理机上实现, 需要 $(Q+1)K + (I+1)K$ 个存储单元来存放 $2K$ 个段查找表指针, $(Q2^D + 2^{(N-QD)})$ 和 $(I2^D + 2^{(M-ID)})$ 个存储单元来存放 $(Q+I+2)$ 段查找表, 这里 D 为存储单元的二进制长度。滤波处理时, 分别找到段的求和系数, 然后把它们分别加起来求得 $C_{m,j,x}$ 和 $C_{m,j,y}$, 最后算出总的求和系数 $C_{m,j}$, 然后利用(5)式求得 Y_m 。

$$C_{m,j,x} = C_{m,j,x,0} + C_{m,j,x,1} + C_{m,j,x,2} + \cdots + C_{m,j,x,Q}$$

$$C_{m,j,y} = C_{m,j,y,0} + C_{m,j,y,1} + C_{m,j,y,2} + \cdots + C_{m,j,y,I}$$

这里 $C_{m,j,x,0}, C_{m,j,x,1}, C_{m,j,x,2}, \cdots, C_{m,j,x,Q}, C_{m,j,y,0}, C_{m,j,y,1}, C_{m,j,y,2}, \cdots, C_{m,j,y,I}$ 分别为各段的求和系数。

二、实验室结果

我们用一阶差分近似的方法设计了一个截止频率为2HZ, 采样频率为20HZ的二阶低通数字滤波器, 其表达式为,

$$Y_m = 0.2189754Y_{m-2} + 0.6325273Y_{m-1} + 0.0684480X_m$$

此表达式表示的IIR数字滤波器分别用上面讲的两种方法, 用M6800汇编语言编写程序, 在M6800单板微型计算机上执行, 得到的结果表示于图2。

图中纵轴表示在不同频率输入下幅度的衰减量, 以分贝数表示。横轴表示输入的频率, 以归一化频率表示。输入信号经8位A/D转换器转换成数字量, 然后采入计算机。其中由 $\times \times \times$ 表示的曲线代表用一张独立的查找表所进行的实验数据, $\cdots$ 表示的曲线代表对滤波器表达式中含有 Y_{m-n} 的项和 X_{m-n} 的项分别用二张查找表进行实验的结果, 它们都采用分布计算法。由图中的曲线可知, 曲线的形状基本一致。我们在实验室中只用了八位模数转换输入,

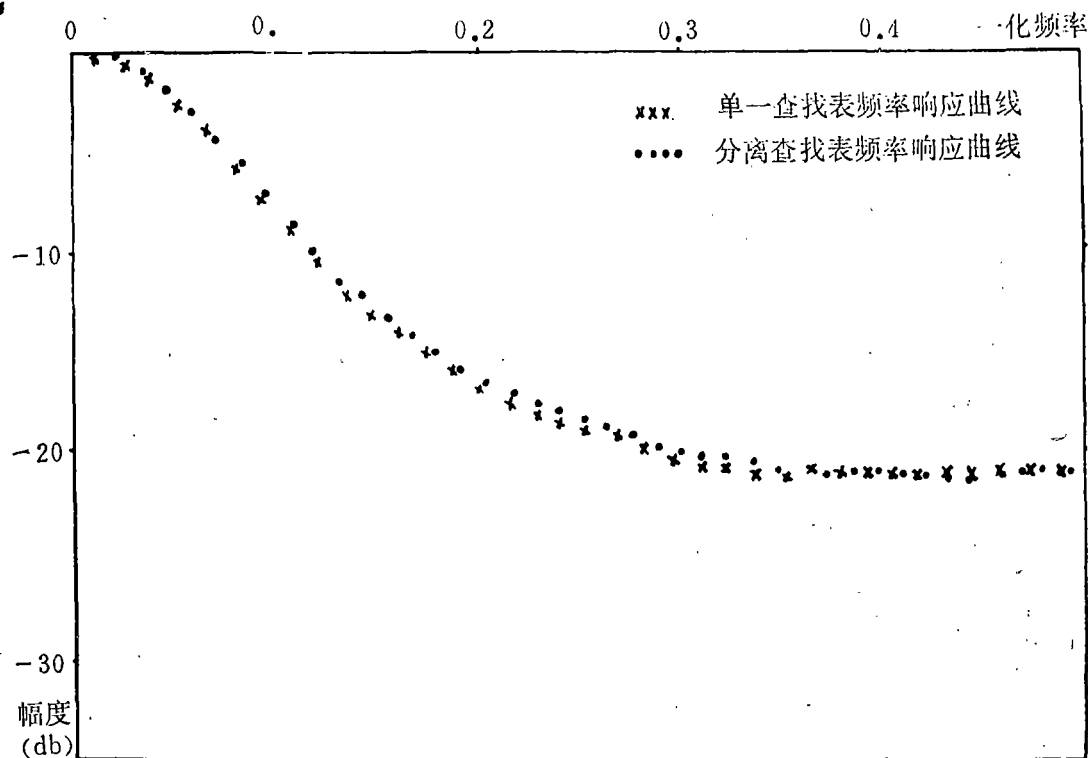


图2 二阶IIR低通数字滤波器频率响应

在运算处理时也只采用了单精度计算,由于字长和舍入误差的影响,因此使滤波输出的精度,受到一定的影响,在截止频率以上的输入信号的衰减量还不够大。为了提高输出精度和加大对截止频率以上的输入信号的衰减量,可以采用10位或12位字长的高分辨率A/D转换器件进行模数转换,在数据处理时采用双精度技术,同时采用高阶型IIR数字滤波器,以提高数字滤波器的输出精度和提高对截止频率以上的信号的抑制能力。

三、讨 论

本文介绍了用软件的方法在微型计算机上实现 IIR 数字滤波,为了解决微处理机处理速度低和数字滤波器实时性要求高之间的矛盾,作者采用分布计算和查表相结合的办法,使原来在数字滤波时要不断地做乘法再相加改为查表相加的办法,使处理所需的时间大为缩短,提高了采样速度。当滤波器的项数大于8时,其采样速度是采用传统乘法处理的三倍,当项数继续增加时,其采样速度的增加更为显著。如果采用现代快速的微处理机来处理,则它的采样速度可以达到音频范围。这样就可应用于实时性要求不高的数据处理和教学、低频信号处理等方面。

这种采样速度对于速度要求不高的工业控制中已能满足。在以计算机为主要技术手段的工业控制中,用软件的方法实现数字滤波器,可以在同一台工业控制计算机中实现而不必增加新的外加硬件,它灵活性好,可靠性高,当然要增加一些计算机的存贮单元。目前,微处理机运算速度低是微处理机实现数字滤波所碰到的主要困难之一,它使微处理机在实际的应用中受到一定的限制。因此,增加一些存贮器以换取较高的采样速度是合算的,而且随着电子工业的发展,半导体存贮器的价格正在进一步下降,随着时间的推移,这种数字滤波器将会逐步推广。

参 考 文 献

- [1] PELED, A., and LIU, B., "A new hardware realization of digital filter." *ibid.*, 1974, ASS p-22
- [2] TAN, B. S., and HAWKINS, G. J., "Speed optimised microprocessor implementation of a digital filter." *IEEEPROC.*, VOL. 128, Pt. E, No.3, MAY 1981 PP. 85~93
- [3] BURRUS, C. S., "Digital filter structures described by qistributed arithmetic." *ibid.*, 1977, CAS-24, pp.674~680
- [4] LITTLE, W. D., "A fast algorithm for digital filters" *IEEE Trans.*, 1974, C-23, pp. 455~469

85033

A MICROCOMPUTER REALIZATION of IIR DIGITAL FILTER «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Distributed arithmetic, Lookup table, Summed coefficient, coefficient partitioning, First difference method, Cutoff frequency sampling rate. This paper describes how the IIR digital filters are implemented by use of distributed arithmetic combined with preformed lookup table.

Author: Feng Wei

85031

COMPUTER APPLICATION in THERMAL PROCESS ESTIMATION «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Computerized estimation of thermal process, Thermal characteristic value of canned food, Sterilizing value, Thermal schedule.

A computer program has been developed for evaluation of thermal process of canned food. A group of temperature equations and the integration formula of lethality were used for the development. Since temperature equations contain two experimental parameters, j and f values, which are widely used by food producers for description of thermal process, the program is the most reliable and simple to use, and suitable to both convection and conduction in heating food. It can be used to resolve two kinds of problems of thermal process estimation, that is, determination of sterilizing value of a given thermal process and determination of a proper processing schedule, heating time and retort temperature to produce a desired sterilizing value for canned food with either simple heating curve or broken heating curve having no more than one break point.

Author: Huang Funan

85034

A RESEARCH on the MECHANISM for CLOSING the BOX of the SUCCESSIVE-TURN TYPE, FILLING and SEALING MACHINE «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Continuously revolving-type, Pick-up, filling and sealing machine, Folding the tongue, Inserting the tongue, Closing boxes.

A theoretical analysis and research, of the mechanism for closing boxes, based on the development of the pick-up and continuously revolving-type filling and sealing machine is presented. In the paper this formulae for calculating the main parameters as well as graphs and examples for design have been unfolded.

Author: Fang Ganiaing

85032

AN ANALYSIS of the PSEUDO RANDOM SEQUENCE for M-SEQUENCES SYSTEM IDENTIFICATION and CORRELATION MEASURING INSTRUMENT «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Pseudo Random sequence, System Identification, correlation measuring instrument.

This paper is to introduce the application of micro-computer Tp-801 in the dynamic characteristic analysis of a system. That is, to produce a pseudo random sequence for M-sequence and to identify the system using the statistic correlative method, then the pulse response function of system can be obtained. Finally a transfer function of system is available through data processing. In comparison with theoretical analysis, it is relatively low in cost, with better accuracy and higher speed, also easier data handling

Author: Cheng Bingqian

85031

电子计算机在热过程计算中的应用《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 计算机热过程计算, 罐头食品的传热特性, 杀菌值, 杀菌工艺条件

摘要 本文为罐头食品热过程计算发展了一个计算机程序。这个计算机程序使用了一组温度方程和致死率积分公式。由于所使用的温度方程含有两个在罐头工业中最广泛使用的实验参数: j 和 f 值, 因此程序使用简便, 可靠, 而且适用于对流加热和传导加热食品。该程序可用于解决简单型加热食品和一个转折点的转折型加热食品的两类热过程计算问题。

作者: 黄福南

85033

用微处理机实现 IIR 数字滤波《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 分布计算, 查找表, 求和系数, 系数分段, 一阶差分法, 截止频率, 采样速度

摘要 本文叙述如何在微处理机上用分布计算和查表相结合的方法实现数字滤波。

作者: 冯 炜

85032

M序列伪随机信号系统辨识及相关仪的研究《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 伪随机序列, 系统辨识, 相关测量仪

摘要 本文介绍采用TP801来实现: 产生M序列伪随机信号的方法和用统计相关法对系统进行辨识。从而获得对象的脉冲响应函数, 经数据处理求得对象的传递函数。实验结果表明, 它与理论分析相比, 具有投资少、有一定的精度、测试速度快、数据处理方便等优点。

作者: 盛炳乾

85034

连续回转型开盒充填机封盒机构的研究《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 连续回转型, 折舌, 插舌, 封盒, 拾放式开盒充填机

摘要 本文在拾放式连续回转型开盒充填机研制的基础上, 对所设计的封盒机构——折舌和插舌机构进行了理论分析和研究, 提出了主要参数的计算公式, 并附有线图和设计计算实例。

作者: 方干江