

文章编号:1674-2869(2008)03-0097-04

基于线阵 CCD 的 IIR 算法设计与实现

赵振华,梁凯

(武汉工程大学电气信息学院,湖北 武汉 430074)

摘要:以线阵 CCD 图像传感器 TCD1209D 在纺织卷印自动纠偏中对线信号的采样为例,在分析对比基础上归纳出 IIR 数字滤波器特点:用较低的阶数获得很高的频率选择性、占用存储单元少经济性好、滤波效率高、在相同门级规模和相同时钟频率下可以提供更好的带外衰减特性。针对 TCD1209D 输出信号所受干扰,提出了应用巴特沃兹滤波器的方案,对滤波器的系数和阶数进行了计算。针对 IIR 滤波器的相移特性,采用了正向滤波、反向滤波、最后加权平均的算法,实现了零相位数字滤波。给出了由 DSP 集成电路 TMS320F2407 实现的方案和部分参考程序。

关键词:图像传感器;滤波器;TMS320F2407

中图分类号:PT 319 **文献标识码:**A

0 引言

在纸张印刷和纺织印染行业,常用到卷印方式。由于机械运转不稳和印制材料张力变化不均的原因,卷印过程会出现“跑偏”现象,必须进行纠偏控制。纠偏控制主要通过对纸张、布匹等原材料的边或线信号进行精确定位来实现,本课题对卷印过程线信号的采样通过 TCD1209D 图像传感器实现。

图像传感器可以提高人眼的视觉范围,使人们看见肉眼无法看到的微观世界和宏观世界,已在工业、农业、国防等领域得到广泛应用^[1]。由于图像传感器的测量速度快,输出数据量大,并且容易受干扰,这就需要一种有效的滤波算法,使系统能在较短的时间内滤掉干扰信号,为后续的数据处理做好准备,满足高速系统的运行要求^[2]。

常用的数字滤波器有 FIR 和 IIR 两大类型,其中, FIR Filter 为有限长单位脉冲响应滤波器,其传递函数为

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)z^{-n} \quad (1)$$

式(1)中, $h(n)$ 是一个有限长序列^[3]。

IIR Filter 为无限长单位脉冲响应滤波器,其传递函数为

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^N a_i z^{-i}}{1 - \sum_{i=0}^N b_i z^{-i}} \quad (2)$$

与 FIR 相比, IIR 具有很多优点:可以用较低

的阶数获得很高的频率选择性;占用存储单元少经济性好;滤波效率高;在相同门级规模和相同时钟频率下可以提供更好的带外衰减特性等^[3]。本课题设计了一个 IIR 数字滤波器,用于实现对线阵 CCD-TCD1209D 输出信号的滤波。

线阵 CCD 可以将入射到 CCD 光敏面上的按空间位置分布的光强信息,转换为按时间顺序串行输出的视频信号,所以线阵 CCD 可以用来精确检测物体的边缘或线信号,以实现物体的精确定位。

TCD1209D 为典型的二相单沟道型线阵 CCD 传感器,该器件是一种高灵敏度、低暗电流、2048 像元的二相线性 CCD,工作电压为 12 V,它只有一个转移栅和一个模拟移位寄存器,目的是为了降低器件的像敏单元不均匀度和扩大动态范围。该器件的光敏阵列由 2075 个光电二极管组成,其中 27 个光电二极管被遮蔽,中间的 2048 个光电二极管为有效的光敏单元^[4]。

图 1 为 TCD1209D 对卷印过程线信号进行采样后的输出结果,该结果是通过模数转换器将 TCD1209D 输出信号进行采样,然后将采样的离散信号用图形表示得到的。其中线信号为中间的尖峰脉冲,这样线信号在空间上的定位变成了图(1)中脉冲信号在时间上的定位。

由图 1 可知,中间的尖峰脉冲的相对位置为需要的有效信号,但是由于噪声太大,使得系统对信号的处理很复杂,严重时系统会把噪声信号视为有效信号。为了滤除噪声,必须增加低通滤波器。

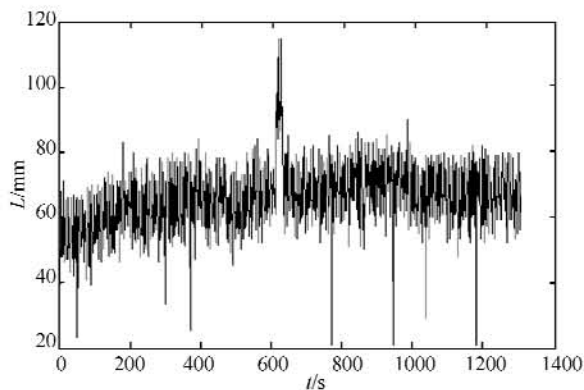


图1 TCD1209D采样的原始数据

Fig. 1 Original sampling data of TCD1209D

1 IIR 算法设计

1.1 滤波器类型的确定

IIR 数字滤波器有四种设计方法:微分差分变换法、脉冲响应不变法、双线性变换法、匹配 z 变换法,工程上常用的是前面两种方法^[3]。

脉冲响应不变法的设计步骤是:先由已知系统传输函数 $h(s)$ 计算出系统冲激响应 $h(t)$,然后再对 $h(t)$ 进行等间隔取样得到 $h(n) = h(nT)$,最后由 $h(n)$ 得到数字滤波器的系统响应 $h(z)$ 。脉冲响应不变法非常直观,其算法宗旨是保证所设计的 IIR 滤波器的脉冲响应和模拟滤波器的冲激响应在采样点上完全一致。脉冲响应不变法的另一个特点是频率坐标的变换是线性的($\omega = \Omega T$),这为计算带来方便。由于脉冲响应不变法有频谱周期延拓效应,因此存在频谱混淆现象。

为了克服脉冲响应不变法可能产生的频谱混淆,设计者提出了双线性变换法。由于双线性变换法依靠双线性变换式建立 s 平面和 z 平面的单值映射关系,因此不存在频谱混淆的问题。

$$s = k(z-1)/(z+1) \quad (3)$$

式(3)中 $k=1$ 或 $2/T$ 。

从式(3)中可以看出: s 平面和 z 平面的频率是非线性关系,这使得通带截止频率、过渡带的边缘频率的相对位置都会发生非线性畸变,消除频率畸变的方法是采用预畸校正。用双线性变换法设计数字滤波器的预畸校正步骤是:先将数字滤波器的各临界频率经过频率预畸,求得相应参考模拟滤波器的各临界频率,然后设计参考模拟滤波器的传递参数,最后通过双线性变换式求得数字滤波器的传递函数,这样通过双线性变换,正好将这些频率点映射到所需要的位置上。

传统的模拟滤波器类型和特点^[4]如下:

贝塞尔滤波器:近似线性位移,微小的群时延失真。

巴特沃滤波器:平滑的通带/阻带增益响应,适度的群时延变化。

切比雪夫滤波器:增益纹波限制于通带,响应中阻带衰减平滑。

椭圆滤波器:纹波同时存在于通带和阻带,对给定的任务,提供最低阶数的滤波器设计。

由于本系统需要尽可能平滑的通带/阻带增益响应,所以选用巴特沃滤波器。

1.2 确定滤波器阶数的原则

数字滤波器的阶数选取由过渡带最陡峭的程度决定,可以通过过渡带宽度(Hz)与采样频率的比值来衡量。在实际应用中,采样频率对所要求的滤波器阶数的影响十分重要。如果在截止频率相对采样频率很小时,一个普通的模拟滤波器特性要求用一个超高阶的数字滤波器来实现。但是在实际应用中,由于受 CPU 自身的运行速度和存储空间的限制,要求滤波器的阶数尽可能的低。

1.3 滤波器阶数和系数的计算

设计滤波器的原则应是在保证有效信号不失真的前提下,尽可能使干扰信号得到最大的衰减。通过对图1的分析可知,设计的滤波器通带边缘频率和阻带边缘频率分别为 $f_{p1} = 10\,000\text{ Hz}$ 和 $f_{s1} = 12\,000\text{ Hz}$,采样频率为 $25\,000\text{ kHz}$,阻带边缘衰减为 $-20\log\delta_s$,由此可算出阻带边缘增益 δ_s 。

首先需要把由 Hz 表示的待求边缘频率转换成弧度表示的数字频率,计算式如下^[5]:

$$\Omega_{p1} = 2\pi \cdot (f_{p1}/f_s)$$

$$\Omega_{s1} = 2\pi \cdot (f_{s1}/f_s)$$

另外需要计算扭曲模拟频率以避免双线性变换带来的失真,计算式如下:

$$\omega_{p1} = 2f_s \cdot \tan(\Omega_{p1}/2)$$

$$\omega_{s1} = 2f_s \cdot \tan(\Omega_{s1}/2)$$

最后确定滤波器的阶数^[5]:

$$n \geq \frac{\log(1/\delta_s^2 - 1)}{2\log(\omega_{s1}/\omega_{p1})} < 1$$

因为 n 的值小于 1,所以所设计的滤波器为一阶滤波器。

一阶模拟巴特沃斯滤波器的传递函数为

$$h(s) = \frac{\omega_{p1}}{(s + \omega_{p1})}$$

代入相关数值可算得所求的滤波器传递函数为

$$h(s) = \frac{157.1}{(s + 157.1)}$$

由双线性变换定义 $H(s) = \frac{2f_s \cdot (z-1)}{(z+1)}$ 得到

数字滤波器的传递函数为

$$h(z) = \frac{0.1245 \cdot (1+z^{-1})}{1-0.9001z^{-1}}$$

所以,差分方程为

$$y[n] = 0.9001y[n-1] + 0.1245x[n] + 0.1245x[n-1]$$

1.4 IIR 滤波器的相移

由于 IIR 滤波器自身的缺陷,它不像 FIR 滤波器一样具有理想的线性相位响应,原始信号通过 IIR 滤波器后会产生一定程度的相移,而且在奇数阶的情况下,还有可能会使系统产生振荡。

为了消除相移和振荡,本课题采用了零相位数字滤波算法,即:先正向滤波,再反向滤波,最后加权平均。结果证明,使用这种算法可以很好的消除相移,另外还能使输出结果更加平滑,更精确的体现原始信号。

IIR 滤波器的设计流程如图 2 所示。

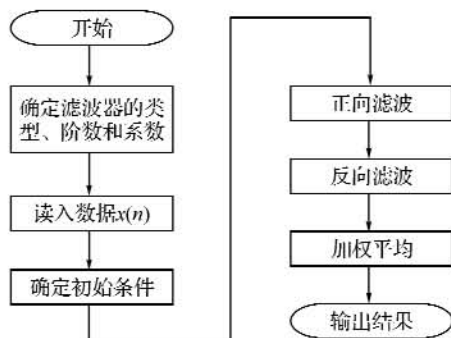


图 2 IIR 滤波器设计流程

Fig. 2 Design process of IIR filters

2 IIR 算法的实现

由于滤波算法比较复杂,需要进行多次的乘法运算,而在具体的应用中,系统要求完成滤波算法的时间要尽可能短,以满足高速系统的运行要求。带有硬件乘法器的 DSP 芯片 TMS320F2407 可以满足这一要求。

TMS320F2407 为 TI 公司生产的 C2000 系列 16 位定点 DSP 集成电路,该系列最大的特点是具有片内 FLASH RAM,免除了程序容量不大的用户在使用中需要扩展程序存储器的困扰,简化了硬件设计,提高了系统抗干扰能力^[6]。

采用 TMS320F240 实现的 IIR 滤波器硬件结构如图 3 所示。由于系统对采样速度和精度的要求较高,所以设计中没有使用 TMS320F2407 的内部 AD,而是将 TCD1209D 的输出信号经过系统扩展的 12 位高速 A/D-AD7892 转换后再送入 TMS320F2407 中。考虑到采样数据的存储量很大,系统扩展了一片容量为 1Mbit 串行芯片,专门用来存放采样数据。为了满足 TMS320F2407 需要多种电源供电和各电源上电顺序不同以及 A/D

采样时序的要求,并考虑到系统硬件的简洁和可靠,这里采用了一片 Altrera 公司的 MAX7000S 系列的 EPM7128SLC84-10 型可编程逻辑电路 (CPLD) 完成对 TMS320F2407 的复位和上电控制以及对 AD 采样时序的控制。

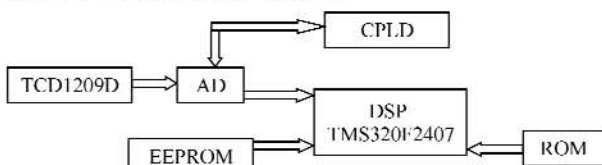


图 3 IIR 算法实现的硬件结构

Fig. 3 The hardware structure of IIR filters

IIR 滤波器的原始代码如下:

```
void iir(void)
```

```
{
    int * f = ((int *)0x009000); // 定义原始数据区
    int * m = ((int *)0x009530);
    int * g = ((int *)0x009A60);
    int i;
    f[OFFSET] = dat[OFFSET];
    for(i = OFFSET; i < VALIDPIXEL; i++)
    {
        m[i] = 0;
    }
    for (i = OFFSET + 1; i < VALIDPIXEL; i++)
    {
        f[i] = (11 * dat[i-1] + 11 * dat[i] + 90 * f[i-1]) / 100; // 正向滤波
    }
    for(i = OFFSET; i < VALIDPIXEL-1; i++)
    {
        g[VALIDPIXEL-2-i] = (11 * dat[VALIDPIXEL-1-i] + 11 * dat[VALIDPIXEL-2-i] + 90 * g[VALIDPIXEL-1-i]) / 100; // 反向滤波
    }
    f[OFFSET] = dat[OFFSET];
    g[VALIDPIXEL-1] = dat[VALIDPIXEL-1];
    for(i = OFFSET; i < VALIDPIXEL; i++)
    {
        f[i] = f[i] / 2;
        g[i] = g[i] / 2;
        m[i] = (f[i] / 2 + g[i] / 2); // 加权平均
    }
}
```

```

f[OFFSET]=dat[OFFSET];
for (i=OFFSET+1;i<VALIDPIXEL;
i | | )
{
    f[i]=(m[i-1]-f[i-1])*W;
}
}

```

3 结果分析

经过 IIR 滤波处理后的结果如图 4 所示,其中 (a) 为原始信号, (b) 为原始信号和正向滤波, (c) 为原始信号和反向滤波, (d) 为经过加权平均算法处理的信号和原始信号。

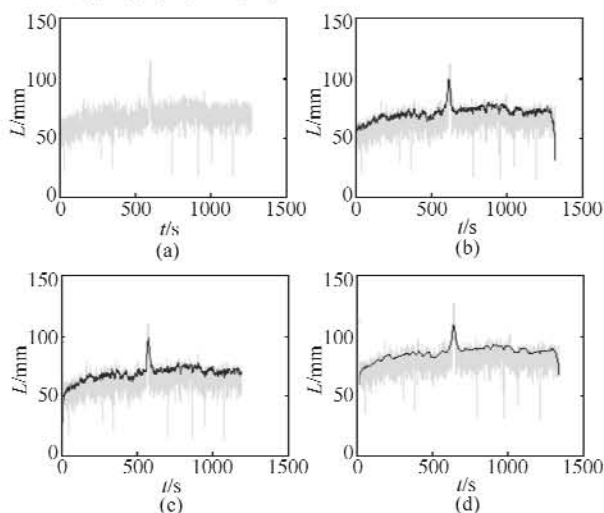


图 4 处理结果比较

Fig. 4 Comparison of the results

通过对图 1 的分析可知:单向滤波可以很好的抑制干扰信号,为下一步数据处理提供了有利条件.但是单向滤波会产生相移现象,造成有效信号的失真.克服相移的主要方法是在滤波中加入加权平均算法,但这样做会削弱有效信号的尖峰值.因此在实际应用中,应该综合考虑这些因素,根据需要处理的信号特点、性质和使用要求进行滤波器设计,以得到最好的滤波效果。

4 结 语

根据处理结果比较可知,本系统充分发挥了 IIR 数字滤波器的优点,并通过加权平均算法克服了 IIR 滤波器的相移,采用带硬件乘法器的 DSP 芯片 TMS320F2407,能实时、准确的实现目标的精确定位,具有很好的使用价值。

参考文献:

- [1] 樊尚春,刘广玉.新型传感器技术及应用[M].北京:中国电力出版社,2005:293-303.
- [2] 石 城.基于线阵图像传感器的实时检测系统的研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [3] 程佩青.数字信号处理教程[M].第二版.北京:清华大学出版社,2006:87-110.
- [4] 王元庆.新型传感原理及应用[M].北京:机械工业出版社,2002:50-80.
- [5] 许臣蓉.基于 DSP 的数字滤波器的设计[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [6] 汪思敏.TMS320LF240X DSP 硬件开发教程[M].北京:机械工业出版社,2003:100-120.

Design and implementation of IIR algorithms based on linear CCD

ZHAO Zhen-hua, LIANG Kai

(School of Electronic and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: With the linear CCD image sensor TCD1209D output signal processing as an example, on the basis of analyzing and comparing the author summed up IIR digital filters' characteristics; with a lower order to achieve high frequency selectivity, taking up less storage modules, high filter efficiency, at the same door scale and the same clock frequency IIR digital filter can provide better outside-band attenuation characteristics. For the type of disturbs, the author provides apply the method of choosing the Butterworth filter, and the filter coefficients and order are calculated. Against IIR filter phase shift, adopt filtering, reverse filtering and finally weighted average algorithm to achieve the zero phase digital filtering are proposed. The article also provides the hardware solutions by using the DSP IC TMS320F2407 and the major part of reference codes.

Key words: image sensor; digital filter; TMS320F240

本文编辑:陈晓芳