基于 DSP 的 FIR 滤波器在电子皮带秤中的应用

王　磊，欧阳斌林，杨　方

（东北农业大学 工程学院，哈尔滨　150030）

摘　要：论述了电子皮带秤的发展、结构、原理以及 FIR 滤波器的工作原理；介绍了 DSP 芯片 TMS320F2812 以及 CCS 开发调试工具；给出了在 MATLAB 工具软件上采用窗函数法设计的 FIR 滤波器，将设计符合要求的 FIR 滤波器在 TMS320F2812 上实现。

关键词：电子皮带秤；FIR 滤波器；TMS320F2812

中图分类号：TP216　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1003－188X(2010)10－0174－03

0　引言

电子皮带秤是在皮带输送固体散状物料过程中对物料进行连续自动称重的一种计量设备。它可以在不中断物料流的情况下测量出皮带输送机上通过物料的瞬时流量和累计流量，其特点是称量过程可连续自动进行，不需要人工干预就可以完成称重操作。这种计量设备也称为连续累计自动衡器。随着传感器技术、电子仪表技术的发展，可以输出电信号的速度传感器及称重传感器迅速取代了机械式皮带秤的相应机构，而对速度、质量信号进行放大处理及实现各种运算都可以放在电子仪表中完成，既提高了称量精确度，又简化了秤架结构。因此，电子皮带秤迅速全面地取代了机械式皮带秤，其应用已经越来越广泛，并且在各类涉及动态称重的衡器中占据主导地位。

1　电子皮带秤的结构和原理

1.1　皮带秤机械部分

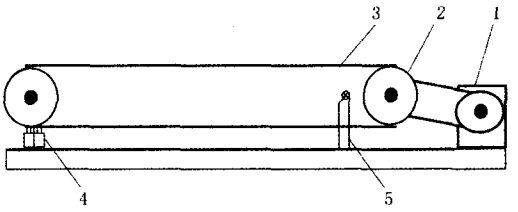
电子皮带秤主要由输送带、小型齿轮减速电机、变频器和称重传感器构成。变频器通过改变频率间接改变电机转速，电机转速的改变使得传送带传送速度改变，最终使得物料的流量改变，其结构如图 1 所示。在称重过程中，粮食由支撑杆一侧进入，称重传感器检测整个输送带上的粮食质量，通过静态模型建立了实际质量和检测质量的数学关系[1]，即

$$w = 2.086\,048 w_1 + 9.204\,917\,5$$

式中　w—真实值；

w_1—测量值。

确定真实值和测量值之间的静态关系之后，根据动态称重模型确定电机转速、粮食流量以及时间和粮食质量的关系，测量皮带秤掉落粮食的累积质量。



1. 减速电机　2. 托辊　3. 输送带　4. 称重传感器　5. 支撑杆

图 1　皮带秤建模示意图

Fig. 1　Belt scale modeling schematic diagram

1.2　皮带秤称重系统模块

皮带秤的硬件电路部分主要由微控制器、外部存储器、JTAG 接口、CAN 通讯模块、信号采集电路以及显示部分组成。皮带秤的微控制器采用 TI 公司的 32 位定点 DSP 芯片 TMS320F2812，通讯模块采用 CAN 总线方式。TMS320F2812 芯片内部集成的控制器局域网络 eCAN2.0B 模块，完全支持 CAN2.0B。电路中收发器采用德州仪器公司生产的 CAN 收发器 SN65HVD230。该器件适用于较高通讯速率、良好抗干扰能力和高可靠性 CAN 总线的串行通信。信号采集电路主要把称重传感器的微弱信号通过运算放大器 TLC2262 进行两级放大，并经过 A/D 转换后送给 TMS320F2812。显示模块选用 JM12864M 汉字图形点阵液晶，可显示汉字及图形。LCD 液晶显示物料质量、采集的数字量以及采样时间等信息。皮带秤称重电路模块如图 2 所示。

收稿日期：2010－01－30

基金项目：国家科技支撑计划项目(2006BAD11A03)

作者简介：王　磊(1985－)，男，黑龙江牡丹江人，硕士生，(E－mail) wanglei707507@163.com。

通讯作者：欧阳斌林(1968－)，男，贵州人，教授，硕士生导师，(E－mail) ouyangbl@126.com。

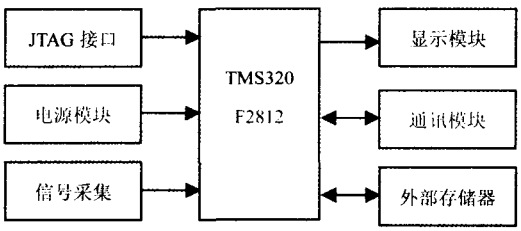


图 2　皮带秤电路硬件结构图

Fig. 2　Belt scale hardware structure diagram

1.3　电子皮带秤的称重原理

皮带秤是对散状物料自动地连续累计称量的计量器具。连续自动称重是皮带秤的主要特点。输送机输送物料时，主控机连续测量皮带上每单位长度的载荷值 q(g/m)，并与皮带在同一时刻的速度 u(m/s)相乘，测得结果为物料的瞬时流量 Q(g/s)。因物料输送的不均匀性和皮带速度随时间变化，所以在 T 时间间隔的累计流量可以用以下积分式表示，即

$$W = \int_0^t q(t)v(t)\mathrm{d}t \tag{1}$$

式中　W—T 时间间隔的物料累计量(g)；

t—物料通过皮带秤的时间(s)；

$q(t)$—皮带单位长度上的物料质量(g/m)；

$v(t)$—物料在皮带上的运行速度(m/s)。

$$v(t) = L/T \tag{2}$$

式中　L—皮带长度(m)；

T—电机运行时间(s)。

$$q(t) = (ad_result - ad\quad result0) * K_1 * K_2 \tag{3}$$

式中　ad_result—每次得到的 ADC 输出数字量；

$ad_result0$—空载时的 ADC 输出量，即去皮量；

K_1—量程系数；

K_2—用户系数。

$$K_1 = W/(L * 2^n) \tag{4}$$

式中　K_1—不同皮带秤以及不同传感器的量程系数；

W—粮食质量；

L—皮带长度；

2^n—不同传感器的采样满量程输出值。

在本系统中，$n = 12$；因为 2812 的采样精度是 2^{12}。$K2$ 的作用是调节积分、测量等各种误差，起到微调的作用。

在本系统中，电机转速是一个已知量，对粮食质量的瞬时测量就成为电子皮带秤称重系统的核心。由于联合收割机上振动干扰以及电机的高频电磁干扰会对称重信号干扰很大，所以滤除振动干扰以及电磁干扰成为称重的核心。

滤波器分为模拟滤波器和数字滤波器。与模拟滤波器相比，数字滤波器具有更高的精度、更高的信噪比以及更好的可靠性。因此，控制芯片选择数字信号处理器(DSP)可以很好地解决滤波问题。数字滤波器是数字信号处理的基本方法。FIR 滤波器是有限长单位冲激响应滤波器，在结构上是非递归型的。它可以在幅度特性随意设计的同时保证精确严格的线性相位，因此 FIR 数字滤波器广泛地应用于数字信号处理领域。

2　FIR 滤波器的工作原理

设 $h(n)(n = 0,1,2\cdots\cdots N-1)$ 为滤波器的冲激响应，输入信号为 $x(n)$，则 FIR 滤波器就是要实现下列差分方程，即

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \tag{5}$$

式 5 就是 FIR 滤波器的差分方程。FIR 滤波器的最主要的特点是没有反馈回路，因此它是无条件稳定系统。它的单位脉冲响应 $h(n)$ 是一个有限长序列。由上面的方程可见，FIR 滤波算法实际上是一种乘法累加运算，它不断地输入样本 $x(n)$，经延时($Z^{3/1}$)做乘法累加，再输出滤波结果 $y(n)$[1-3]。对式(5)进行 Z 变换，整理后可得 FIR 滤波器的传递函数为

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)Z^{-k} \tag{6}$$

FIR 滤波器的一般结构如图 3 所示。

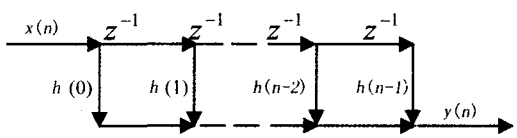


图 3　FIR 滤波器的结构图

Fig. 3　FIR fliter structure diagram

FIR 滤波器的设计方法主要有窗函数设计法和频率抽样设计法。其中，窗函数设计法是最基本的设计方法。在设计 FIR 滤波器中，一个最重要的计算就是加窗。从根本上来讲，使用窗函数的目的就是为了消除由无限序列截短而引起的 Gibbs 现象所带来的影响。在实际应用中，通过 Matlab6.5 提供的 FDATool 滤波器设计分析工具箱，并针对设计要求采用 Kaiser 窗函数法进行设计，代入相应的参数，从而求得 FIR 滤波器系数。

3　基于 DSP 的 FIR 软件设计

TMS320F2812 是 TI 公司的一款用于控制的高性能、多功能和高性价比的 32 位定点 DSP 芯片。该芯

片兼容 TMS320LF2407A 指令系统，最高可在 150MHz 主频下工作，并带有 18K × 16 位 0 等待周期片上 SRAM 和 128k × 16 位片上 Flash（存取时间 36ns）。TMS320F2812 采用哈佛总线结构，可进行双 16 × 16 乘加和 32 × 32 乘加操作，因而可兼顾控制和快速运算的双重功能[2]。主程序流程图如图 4 所示。

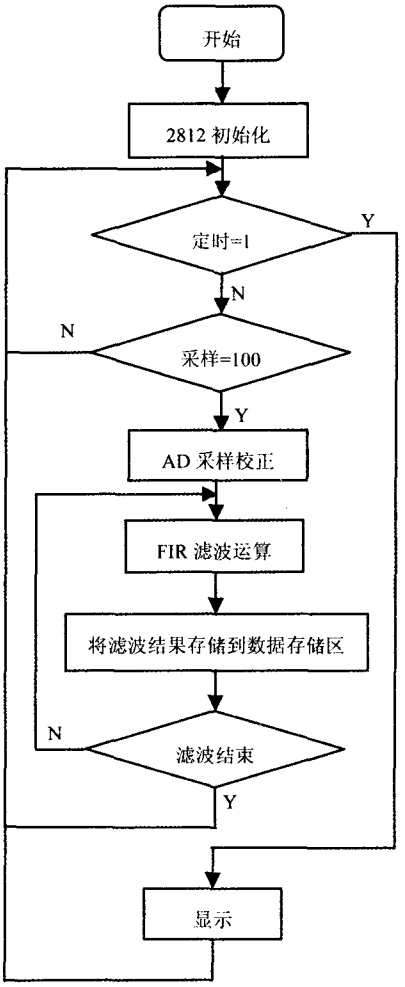


图 4　主程序流程图

Fig. 4　The flow diagram of main program

系统上电后对 2812 各个模块进行初始化，包括 DSP 系统内核、外部存储器、I/O、定时器、A/D，CAN 总线以及 LCD 初始化，然后启动各个模块。在中断服务中采样质量信号，当采样点数到 100 点后，首先对采样数据进行 A/D 校正，然后进行 FIR 运算，将结果存储到数据区，定时未到，重复操作，定时到 1s 后送显示，各个标志位清 0。CAN 总线采用中断形式，当上位机向下位机（即本系统）开始要数据时，下位机向上位机传送数据，通信速率为 500kb/s。

4　CCS 简介及实验结果与分析

CCS（Code Composer Studio）是 TI 推出的用于开发其 DSP 芯片的继承开发调试工具，它采用 Windows 风格的界面，集编辑、编译、链接、软件仿真、硬件调试及实时跟踪等功能于一体，极大地方便了 DSP 程序的设计与开发。同时，CCS 提供了显示时频图（Time/Frequency），运算结果可以通过 CCS 提供的图形功能，经过一定处理显示出来。用户准备好需要显示的数据后，选择命令 View→Graph，并设置相应的参数，即可按所选图形类型显示数据。

在实验室建立皮带秤实验台来测量粮食质量。实验台由减速电机、输送带、托辊、支撑杆、称重传感器以及 DSP 称重系统组成。实验过程中，采用 2 000g 水稻作为实验材料，测量工具使用的是精确度为 5mg 的电子天平 ES - 5000A 以及 HP 电压表 HEWLETT PACKARD 34401A，因此测量的粮食质量数值准确。实验结果如表 1 所示。

表 1　水稻质量检测数据　　g

检测组号	1	2	3	4	5	平均误差/%
1 组	1 980	1 994	2 032	1 975	1 991	0.99
2 组	1 988	1 975	1 971	1 970	1 980	1.16
3 组	1 973	1 950	1 978	1 965	1 950	1.84
真实值	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	0.025

检测 1 组：电机转速 600r/min；检测 2 组：电机转速 1 500r/min；检测 3 组：电机转速 3 000r/min。

试验中通过 CCS 实时监测 AD 采集的质量信号。经 A/D 采集的输入量为 $xn[50]$，其输入波形如图 5 所示。经过 FIR 滤波之后的输出数组为 $yn[50]$，其输出波形如图 6 所示。

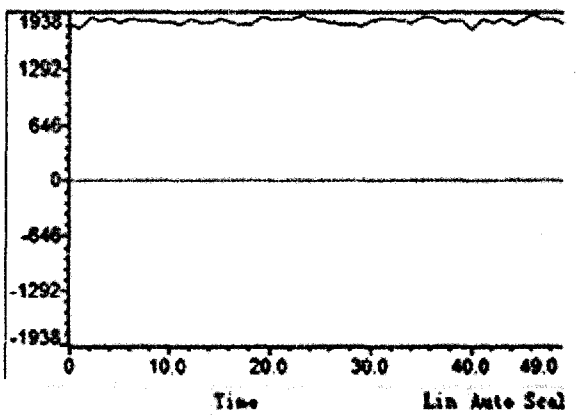


图 5　FIR 数字滤波器输入波形图

Fig. 5　FIR digital fliter input wave diagram

（下转第 183 页）

Working Performance and Application of Viscosity Index Improver

Liao Zhongwen[1], Yang Xuzhi[2], Wang Hailin[1]

(1. College of Engineering, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China; 2. Department of Electronics and Information Engineering, Guangdong AIB Polytechnic College, Guangzhou 510507, China)

Abstract: Viscosity index improver is also named tackifier. which is widely used to improve performance of Viscosity - temperature in diesel oil、hydraulic fluid、automatic transmission fluid and gear oil. This thesis was presented the trait and rationalizes features of four common types VII, summarized their different fields of application. Emphasis the effects of VII on the performance of lubricating oil, development methods and application conditions of multi - functionalization VII.

Key words: lubrication oil; viscosity index improver; multi - functionalization

(上接第 176 页)

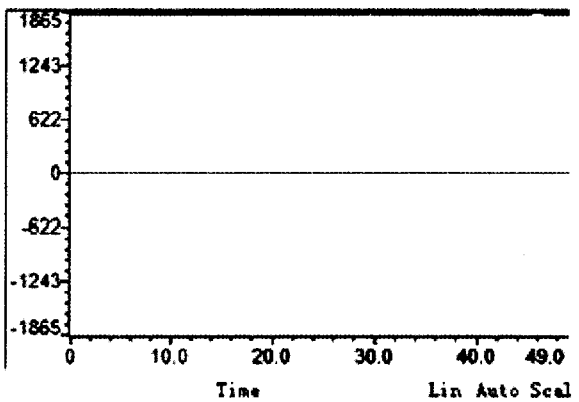


图 6　FIR 数字滤波器输出波形图

Fig. 6　FIR digital fliter output wave diagram

5　结论

本文通过电子皮带秤的称重原理以及 FIR 数字滤波器的基本原理，在 MATLAB6.5 环境下利用窗函数设计法得出了 FIR 低通滤波器的滤波系数，将滤波系数通过 DSP 进行实验。实验结果表明，FIR 滤波器准确度高，稳定性好，可以有效地滤除干扰信号，并能完整保存有效信号，对于电子皮带秤进一步在收割机上做称重抗振动干扰实验有一定的参考价值。

参考文献：

[1]　王兵兵，杨方，欧阳斌林，等. 基于 DSP 电子皮带秤静态模型的研究[J]. 农机化研究，2010，32(1)：116 - 118.

[2]　苏奎峰，吕强，耿庆锋. TMS320F2812 原理与开发(2 版)[M]. 北京：电子工业出版社，2005：11 - 15.

[3]　洪东旭，段卫东. 连续累计自动衡器(皮带秤)的检定和调整[J]. 中国计量，2005(9)：67 - 69.

[4]　鲁新光，张岩. 基于电子皮带秤检定方法的探讨[J]. 衡器，2009(1)：22 - 23.

[5]　王潞刚，陈林康，曾岳南. DSP C2000 程序员高手进阶[M]. 北京：机械工业出版社，2005.

[6]　苏金明，张莲花，刘波，等. MATLAB 工具箱应用[M]. 北京：电子工业出版社，2003.

Abstract ID: 1003 - 188X(2010)10 - 0174 - EA

FIR Filter - based on DSP in the Research of Electronic Belt Scale

Wang Lei, OuYang Binlin, Yang Fang

(Engineering College, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

Abstract: This text describes the development of electronic belt scale, structure and principle as well as the FIR filter workers. Also describes DSP chip (TMS320F2812) and debugging tools for CCS developing. Using FIR filter which meet the requirements of design and based on MATLAB soft which adopt window function design will be implemented on TMS320F2812 chip.

Key words: electronic belt scale; FIR filter; TMS320F2812