

# 基于以太网的模数转换精度全自动修正方法

倪继锋<sup>1</sup>, 张程<sup>2</sup>

(1. 上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 201418; 2. 上海航天控制技术研究所, 上海 200233)

**摘要:** 理想的模数转换在直角坐标轴上应是一条过零点的直线. 在实际工程中, 由于信号处理电路及芯片性能等因素, 对转换的精度产生了影响. 因此需要采用线性拟合的方法加以修正, 从而提高转换精度. 提出一种基于以太网的模数转换全自动修正方法, 采用软硬件配合的方式, 只需轻点鼠标, 即可自动完成所有模数转换通道的线性修正, 并且计算出误差、信噪比和有效位数等指标, 同时将线性修正系数存入模数转换卡板载的 EEPROM 中, 与传统方法相比, 此方法更方便、准确和高效, 具有广泛的应用前景.

**关键词:** 以太网; 模数转换; 线性拟合; 全自动修正; EEPROM

**中图分类号:** TP 29   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-5137(2013)05-0465-05

## 0 引言

在控制系统中, 模数转换器是整个系统的核心部分, 其转换精度直接决定控制系统性能的优劣<sup>[1]</sup>. 随着半导体技术的不断发展, 各半导体厂商推出了多款高性能的模数转换芯片, 其采样率和转换位数都不断提高, 极大地丰富了工程师的设计选择. 但就目前技术而言, 运算放大器和模数转换芯片都存在一定的误差, 降低了转换后的精度.

为了提高模数转换精度, 通常需要通过标定和线性拟合的方法来消除误差, 但每次人工标定又需要测试大量的数据以保证修正参数的可靠性<sup>[2]</sup>. 文献中设计的一款基于 PXI 总线的 16 位模数转换卡(以下简称 AD 卡)在量产阶段不仅人工标定费时费力, 测试、记录、计算需要花费大量的时间, 而且人工计算经常容易出错, 给生产制造带来极其不便<sup>[3]</sup>.

本文作者以 AD 卡为被测对象, 在以太网的平台上, 将信号源、示波器和万用表等标准仪器设备与被测系统组成一个闭环的测试网络, 采用上位机软件控制、采集数据, 自动对数据进行分析处理, 得到修正参数, 并且系统自动将参数存储到模数转换卡板载的 EEPROM 中, 在保证测试精度的前提下实现了测试过程的自动化.

## 1 总体结构设计

本文作者提出基于以太网平台的全自动修正方法来提升 AD 卡的测量精度. 以太网是一种计算机局域网技术, 基于 IEEE802.3 标准, 规定了包括物理层的连线、电信号和介质访问层的协议内容, 是当前最流行的局域网技术<sup>[4]</sup>. 目前许多公司新推出的标准仪器都添加了以太网接口, 如示波器、信号源和万用表等.

系统设计的平台是利用路由器将信号源、万用表、示波器和 PXI 总线计算机组成一个测试系统网络平台. 系统结构框图如图 1 所示.

收稿日期: 2013-09-22

基金项目: 上海师范大学校级项目(SK201128)

作者简介: 倪继锋(1975-), 男, 上海师范大学信息与机电工程学院实验师.

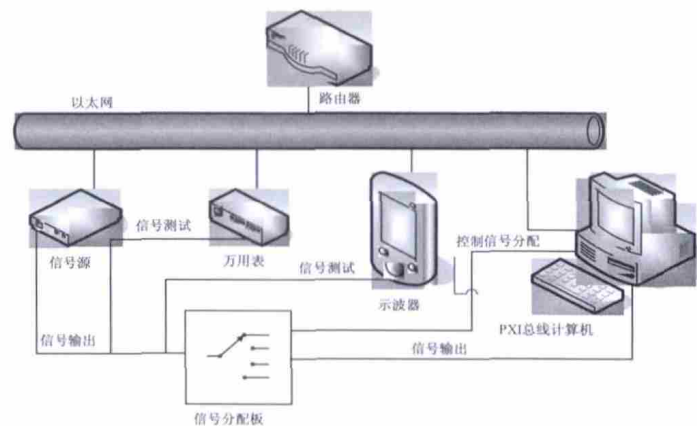


图1 系统结构框图

其中, PXI总线计算机控制信号源输出一个0.5 Hz的方波, 初始幅度高电平为1 V, 低电平为-1 V. 通过信号分配板输入到被测的AD卡中, 在信号分配板上连接测试点. 用万用表测量真实的输出电压值, 并将得到的电压值发送到PXI总线计算机, PXI总线计算机同时读取AD卡采集的电压值. 然后再次控制信号源增大其输出信号的幅度高电平为2 V, 低电平为-2 V. 测试范围覆盖满量程后停止(被测AD卡的满量程范围是: -10 ~ +10 V), 最后计算相应的修正值.

## 2 硬件电路设计

系统中的信号分配板以单片机为主控制器, 接收上位机发送的指令, 分时控制8个继电器, 将信号源输出的信号送入到被测AD卡的8个通道. 在信号分配板与PXI上位机之间采用RS232总线通讯. 硬件连接框图如图2所示.

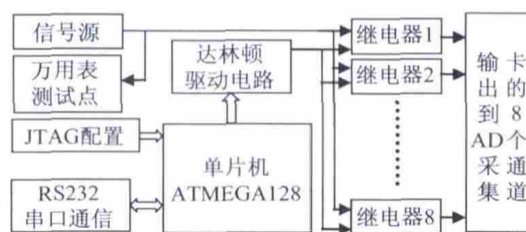


图2 硬件连接框图

### 2.1 开关阵列与驱动电路

将8个单刀双掷继电器的刀端相连成一点接到信号源的输出端, 将8个常开端分别连接到AD卡的8个通道, 单片机控制继电器分时切换, 即完成8选1的操作. 继电器驱动芯片采用TI公司的高性能驱动器ULN2803A, 其外部电路简单, 即使8路同时满占空比输出, 驱动电流仅约150 mA, 完全能够驱动系统中所有的继电器.

### 2.2 RS232 串口通讯电路

RS232 串行通讯是较为常用的短距离(小于15 m)信号传输方式, 被广泛应用于PC机与工业设备通讯领域中. RS232采用单端负逻辑的传输方式, 即逻辑“1”对应-3 ~ -12 V, 逻辑“0”对应+3 ~ +12 V. 系统中使用主流的Maxim公司MAX232串口通讯协议芯片, 设置波特率为115 200, 带1位停止位和奇校验<sup>[5]</sup>.

### 2.3 单片机及其配置电路

信号分配板以ATMEL公司AVR系列单片机MEGA128A为控制核心, 采用5 V的电源供电, 为保

证串口通讯的稳定可靠, 选择晶振的频率为 11.059 2 MHz, 使用 JTAG 方式配置单片机<sup>[6]</sup>. 选择此芯片作为控制器核心, 既保证了性能又降低了成本.

### 3 系统软件设计

#### 3.1 软件控制流程

首先 PC 机控制信号源输出 0.5 Hz, 幅度为 -1 ~ +1 V 的方波, 同时读取 AD 卡和万用表的测试值, 总共读取 256 次. 为避免在 256 个点的读取过程中, 正好遇到方波的翻转, 系统采用智能的识别方法, 如果某个采样值的偏差大于或小于平均值正负 20 LSB 时, 认为可能采集到方波的跳变, 故将这组采集数据丢弃并重新采集. 若采样值在偏差范围内, 则记录当前的测试值. 然后设置信号的输出幅度为 -2 ~ +2 V 并采集. 如此循序渐进. 最后当采样值覆盖满量程后, 计算出相应的线性修正系数, 并将其保存到 AD 卡的 EEPROM 中. 所有通道都测试完成后, 软件自动生成测试报告, 成为用户使用的依据. 软件流程图如图 3 所示.

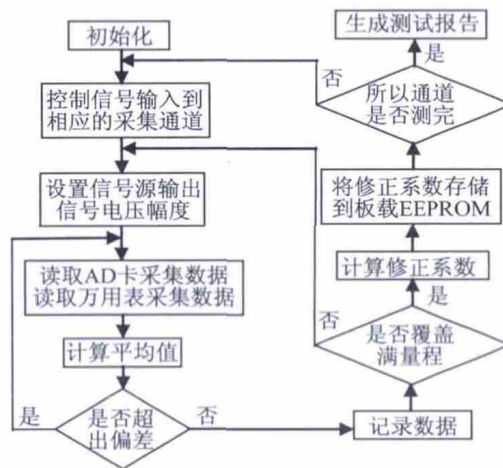


图3 软件流程图

#### 3.2 修正算法的实现

修正系数的计算是系统的核心部分, 主要采用平均与线性拟合的算法. 上位机通过网络将万用表当前测得的电压值读取 256 次后取平均值, 记为  $W_0$ , 同时读取 AD 卡上的 256 个点的数据后求出平均值, 记为  $V_0$ . 当满量程全部测试完成后, 得到  $(W_0, W_1, W_2, W_3, \dots, W_{20})$  与  $(V_0, V_1, V_2, V_3, \dots, V_{20})$  两组数据, 两者的关系是  $W = Va + b$ . 根据最小二乘法将这两组数据作线性拟合<sup>[7]</sup>, 如式 (1) 所示:

$$D = \sum_{i=0}^{20} d^2 = \sum_{i=0}^{20} [W_i - a - b * V_i]^2. \tag{1}$$

当  $D$  取最小值时, 拟合得到  $a$  和  $b$  的值是最理想的. 将  $D$  对  $a$  和  $b$  分别求一阶偏导数, 如式 (2) 所示:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial a} &= -2 \left[ \sum_{i=0}^{20} W_i - 21a - b \sum_{i=0}^{20} V_i \right], \\ \frac{\partial D}{\partial b} &= -2 \left[ \sum_{i=0}^{20} V_i W_i - a \sum_{i=0}^{20} V_i - b \sum_{i=0}^{20} V_i^2 \right]. \end{aligned} \tag{2}$$

再求二阶偏导数, 如式 (3) 所示:

$$\frac{\partial^2 D}{\partial a^2} = 42; \quad \frac{\partial^2 D}{\partial b^2} = 2 \sum_{i=0}^{20} V_i^2. \tag{3}$$

显然:

$$\frac{\partial^2 D}{\partial a^2} = 42 \geq 0; \quad \frac{\partial^2 D}{\partial b^2} = 2 \sum_{i=0}^{20} V_i^2 \geq 0.$$

因为二阶偏导大于 0, 所以当一阶偏导为 0 时,  $D$  满足最小值条件.

令式(2)等于 0, 如式(4)所示:

$$\sum_{i=0}^{20} W_i - 21a - b \sum_{i=0}^{20} V_i = 0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{20} V_i W_i - a \sum_{i=0}^{20} V_i - b \sum_{i=0}^{20} V_i^2 = 0.$$

求解得:

$$a = \bar{W} - b\bar{V}; b = \frac{\overline{VW} - \bar{V} \cdot \bar{W}}{\bar{V}^2 - \bar{V}^2}. \quad (5)$$

式(5)中的  $a$  和  $b$  的值即为线性修正系数, 通过软件计算出这两个系数后自动将其保存在 AD 卡板载 EEPROM 中. 通过比较线性修正前后数据, 得到 AD 卡采集误差对比如表 1 所示:

表 1 修正前后数据对比及分析

AD 卡/V	万用表/V	修正前误差/mV	修正后误差/mV	AD 卡/V	万用表/V	修正前误差/mV	修正后误差/mV
1.000 8	1.007 0	-6.20	0.31	-4.988 9	-5.024 9	36.00	0.58
-1.002 0	-1.009 5	7.50	-0.01	6.017 1	6.058 1	-41.00	0.62
2.000 5	2.013 7	-13.20	0.30	-6.051 8	-6.094 5	42.70	-0.16
-2.003 8	-2.018 4	14.60	0.07	7.023 3	7.071 6	-48.30	0.36
3.004 0	3.024 2	-20.20	0.33	-7.050 2	-7.100 0	49.80	-0.05
-3.020 0	-3.042 0	22.00	0.36	8.027 0	8.082 4	-55.40	0.29
4.007 8	4.034 7	-26.90	0.65	-8.045 5	-8.102 5	57.00	0.18
-4.014 9	-4.044 3	29.40	0.80	9.023 1	9.085 6	-62.50	0.16
4.995 5	5.030 0	-34.50	-0.03	-9.030 3	-9.094 7	64.40	0.69

从表 1 中可以明显看出, 经过修正后, AD 卡在直流电压量的采集精度上有了显著提高, 将原先误差降低到 1 mV 以下, 由此表明这种方法在 AD 转换中对精度的修正中有明显的效果.

### 3.3 基于 LabVIEW 的显示终端

系统的显示终端是基于 NI LabVIEW 开发的<sup>[8]</sup>, 其功能是控制信号源输出和读取 AD 卡和万用表的测试数据值, 根据测试数据计算修正系数和误差值, 同时判断误差是否在 AD 卡设计的误差范围之内. 如果误差在偏差范围之外, 则以红色字体表示, 并在状态栏里显示报警提示. 显示界面如图 4 所示.

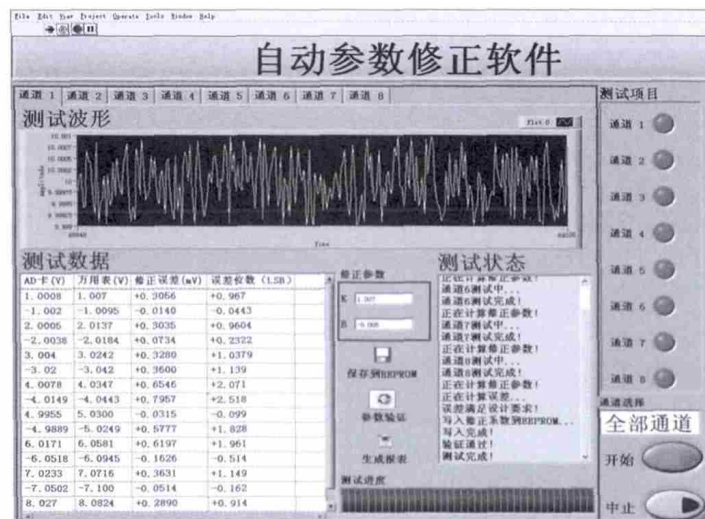


图 4 显示界面图

## 4 结束语

本文作者提出的基于以太网的模数转换精度全自动修正方法,以 PXI 总线的 16 位模数转换卡为被测对象、以太网为测试平台,目前已经在实际生产中得到应用.应用此设备后生产效率大幅度提高,数据差错率也很低.

对于本方法的扩展应用,可根据实际条件灵活选择不同的硬件平台,例如将 GPIB 总线替代以太网、采用高精度 DA 卡替代数字信号源等,能够实现计算机自动化标定修正,为生产方提供便利.

## 参考文献:

- [1] 彭灿明,曾德胜,潘日明.模数及数模转换中的精度问题分析[J].电脑知识与技术,2010,6(15):4001-4005.
- [2] 高同山,刘钊,张庆勋.机械公差线千分尺示值误差测量不确定度的线性拟合[J].工业计量,2012,22(5):22-23.
- [3] 严昭莹,李小杰,张美娟.基于 PXI 总线的高精度同步数据采集卡设计[J].工业仪表与自动化装置,2011(4):41-44.
- [4] 方向前,贺焕林,穆维新.基于以太网技术的局域网系统传输性能测量方法[J].中原工学院学报,2005,16(6):51-53.
- [5] 冯建斌,韩彦民.串口设备通讯协议设计浅谈[J].河北省科学院学报,2005,22(Z1):154-155.
- [6] 王群泽,胡方明,林汉成,等.基于 Flash 和 JTAG 接口的 FPGA 多配置系统[J].单片机与嵌入式系统应用,2011,11(4):37-40.
- [7] 都强,杭柏林.最小二乘法在多传感器测量标定中的应用[J].传感技术学报,2005,18(2):244-246.
- [8] 胡仁喜,高海宾. LabVIEW2010 中文版虚拟仪器从入门到精通[M].北京:机械工业出版社,2012.

## Auto correct method of AD converters precision based on ethernet

NI Jifeng<sup>1</sup>, ZHANG Cheng<sup>2</sup>

(1. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. Shanghai Aerospace Control Technology Institute, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** Ideal AD conversion should be a straight zero-crossing line in the Cartesian coordinate axis system. While in practical engineering, the signal processing circuit, chip performance and other factors have an impact on the accuracy of conversion. Therefore a linear fitting method is adopted to improve the conversion accuracy. An automatic modification of AD conversion based on Ethernet is presented by using software and hardware. Just by tapping the mouse, all the AD converter channel linearity correction can be automatically completed, and the error, SNR and ENOB (effective number of bits) are calculated. Then the coefficients of linear modification are loaded into the onboard AD converter card's EEPROM. Compared with traditional methods, this method is more convenient, accurate and efficient and has a broad application prospects.

**Key words:** Ethernet; AD converters; linear fit; automatic correction; EEPROM

(责任编辑:包震宇)