

线性拟合在数据采集系统设计中的应用*

刘文辉

(广东省电子技术学校, 广州 510630)

摘要: 在数据采集系统设计过程中,如何评估系统测量的线性性能是至关重要的。基于最小二乘曲线拟合是数据处理和误差估计的有力工具,线性拟合作为曲线拟合的一种特殊形式,可以有效地评估系统测量的线性性能。本文研究了在设计数据采集系统中采用线性拟合来评价系统的线性性能,并在此基础上,采用适合工程应用的两点线性校准的算法来纠正设计偏差,通过软件对测量结果进行校准使产品达到设计要求,从而有效降低硬件成本,加快产品的研发进度。

关键词: 数据采集系统; 线性拟合; 线性校准

引言

一个设计良好的数据采集系统是硬件电路和软件的有机结合。为了改善测量结果,我们必须采用各种有效的方法对测量结果进行修正,包括采用最佳的硬件配置、补偿测量误差以及采用优秀的软件技术。硬件配置的优化包括采用差分输入方式来消除接地环路感应误差,并在一定程度上削弱由环境引起的噪声、选择合适的增益系数,保证数据采集系统的输入信号范围尽可能占满整个 ADC 范围以到最佳的测量精度等方法。但是没有一种测量硬件是完美的,采用软件技术来补偿测量误差是很有必要的,也是行之有效的办法。

1 数据采集系统的误差

一个典型的数据采集系统的框图可如图 1 所示。

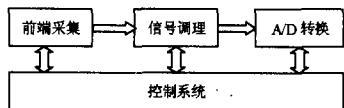


图 1 数据采集系统的一般框图

由于以下几个原因,会给采集系统引入线性或非线性误差:

- ① 端采集和信号通道的设计增益和实际增益的误差;
- ② 前端采集电路和信号通道的实际电路中不可避免地存在零点漂移;
- ③ 前端采集电路和信号通道的非线性元件带来

的非线性误差;

- ④ 电路中存在的各种热噪声及工作环境的电磁噪声;
- ⑤ 放大器的缺陷或者模拟-数字转换会产生误差;
- ⑥ 电压基准的精度也会引起 A/D 转换误差;
- ⑦ 其他原因引入的误差。

一般而言,在上述误差中,①、②、⑥是线性误差,而③、④、⑤为非线性误差。由于这些误差的存在,系统的测量值和实际输入信号并不相等,并且由于非线性误差和各种噪声的存在,系统的测量值和实际输入信号之间并不一定是线性关系。但我们在设计时一般期望二者成线性关系,因此我们必须定量分析实际值和系统的测量值的线性程度,并以此为依据来评估系统是否达到设计要求。

2 系统的线性分析-曲线拟合

假定已经设计好的数据采集系统为 A 系统,为了分析实际值和系统的测量值线性关系,在信号采集端输入已知的信号 x_1 , 该信号可以用测量精度高于 A 系统的仪表测得,系统亦会采集该信号为 y_1 , 调节输入信号到 x_2 , A 系统采集到输入信号为 y_2 ; 反复测量可以得到 2 个向量:

$$\bar{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

$$\bar{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]$$

在这里采用最小二乘原则进行一次多项式拟合,根据曲线拟合的有关理论,存在 k, b 及对应的一次多项式:

$$x = ky + b$$

使得误差的平方和最小,即:

$$\xi = \sum_{i=1}^n [x_i - (ky_i + b)]^2 = \min$$

由上式可以得出拟合直线的参数 k 和 b 。对于输入一个信号 x_i 到系统,系统初始实际的测量值 y_i ,经过校准后再作为最后的测量结果输出:

$$x'_i = ky_i + b$$

对于如前所述输入向量 \bar{X} 、输出 \bar{Y} ,经过校准后采集系统的测量误差:

$$\bar{E} = [e_1, e_2, \dots, e_n] = \bar{X}' - \bar{X} = (k\bar{Y} + b) - \bar{X}$$

误差向量 \bar{E} 用来衡量系统线性的好坏,通过误差向量 \bar{E} 和系统技术指标的对比,可以判断当前电路设计是否达到预定的要求。

实际设计的一个数据采集系统,采集对象为电压信号,要求其测量误差在 $\pm 0.5\text{mV}$ 范围内,实测得到的一组数据如下 (V_m 是被测信号的真实值, V_m' 是采集系统通过 AD 转换读回的值,测量数据的单位为 mV):

$$\begin{aligned} \bar{X} = V_m = & [-964.5, -889.5, -812.6, -737.1, -661.4, -585.5, -509.7, \\ & -432.7, -356.4, -280.8, -204.7, -129.2, -52.9, 22.9, \\ & 99.6, 176.3, 252.2, 328.0, 404.8, 480.1, 556.3, \\ & 632.8, 708.2, 784.7, 860.6, 936.6] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{Y} = V_m' = & [-964.2, -889.1, -812.2, -736.6, -660.9, -585.0, -509.0, \\ & -432.1, -355.7, -280.2, -204.2, -128.6, -52.3, 23.8, \\ & 100.5, 177.1, 253.1, 328.9, 405.7, 481.2, 557.4, \\ & 633.9, 709.6, 785.9, 861.9, 937.9] \end{aligned}$$

该采集系统在未校准前最大测量误差为 1.3mV ,不能达到系统技术指标的要求。使用数学工具 Matlab 对上述向量对进行线性拟合分析,得到的误差向量:

$$\begin{aligned} E = & [-0.0099, 0.0517, 0.0124, 0.0737, 0.0350, -0.0039, 0.1573, \\ & 0.0179, 0.0789, -0.0598, -0.1986, -0.1373, -0.1763, 0.0847, \\ & 0.0455, -0.0937, -0.0326, -0.0713, -0.1106, 0.0507, 0.0118, \\ & -0.0274, 0.2339, -0.0051, 0.0560, 0.0171] \end{aligned}$$

误差向量的最大值约为 0.2mV ,说明经过线性拟合进行校准后,该采集系统的测量精度可以达到应用的要求。

3 线性校准

对一个数据采集系统,如果其线性满足应用要求,采用上述最小二乘原则进行一次多项式拟合,可以求得校准系数对原始测量结果进行校准。但由于曲线拟合需要的数据量较大,在对校准效率有特别要求时,这种方法不一定适合在工程上应用。

通过对测量数据分析,如果采集系统的线性满足应用的要求,那么可以考虑通过两点线性校准的方法来修正测量结果。根据两点确定一条直线的原理,在输入向量 \bar{X} 、输出 \bar{Y} 中选择合适的 2 个校准点 (y_m, x_m) 和 (y_n, x_n) ,很容易求得直线的参数:

$$k' = \frac{x_m - x_n}{y_m - y_n}, b' = \frac{y_n x_n - y_m x_m}{y_n - y_m}$$

那么对原始测量结果的校准关系变为:

$$x'_i = k'y_i + b'$$

对应的误差向量:

$$\bar{E}' = [e'_1, e'_2, \dots, e'_n] = \bar{X}' - \bar{X} = (k'\bar{Y} + b') - \bar{X}$$

一般避开靠近 0 或满偏的位置来选择校准点。比较理想的校准点可以选择在满偏的 25% 和 75% 处,例如在上面的测量数据中可选用下面的 2 点:

$$(y_m, x_m) = (-509.0, -509.7)$$

$$(y_n, x_n) = (-509.0, -509.7)$$

作为校准点进行校准,经过两点线性校准之后,其误差向量:

$$\begin{aligned} E' = & [-0.2161, -0.1465, -0.1775, -0.1081, -0.1386, -0.1693, 0, \\ & -0.1311, -0.0619, -0.1924, -0.3231, -0.2537, -0.2845, -0.0152, \\ & -0.0462, -0.1772, -0.1079, -0.1385, -0.1695, 0, -0.0308, \\ & -0.0617, 0.2077, -0.0231, 0.0462, 0.0155] \end{aligned}$$

误差向量的最大值约为 0.3mV ;说明了经过两点线性校准后,该采集系统的测量精度亦可以达到应用要求。

结语

本文提出的采用曲线拟合对设计结果进行分析,如果线性性能满足系统的要求,进而可以采用两点线性校准来纠正设计偏差的方法在实际工作中得到了有效的验证,这种方法可以广泛用于数据采集或测量系统。

参考文献

- [1]李庆扬. 数值分析. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993
- [2]David Kincaid, Ward Cheney. Numerical Analysis Mathematics of Scientific Computing(Third Edition). 北京: 机械工业出版社, 2003
- [3]韩利竹, 王华. Matlab 电子仿真与应用. 北京: 国防工业出版社, 2001
- [4]王大珩. 现代仪器仪表技术与设计. 北京: 科学工业出版社, 2003
- [5]Henry W.ott. 电子系统中的噪声抑制与衰减技术. 王培清等译. 北京: 电子工业出版社, 2003

(收稿日期: 2006-06-13)

(英文摘要见第 105 页)

The Development of AutoCAD Automatic Grade Examination System based on ActiveX

NIE Xiong

(College of Computer and Electronics and Information, Guangxi University, Nanning 530004 China)

Abstract: The critical technology of AutoCAD automatic grade examination system is presented in this paper. Some effective methods of extracting graphic data and the implementation of automatic grade function are mainly discussed.

Key words: AutoCAD; Examination System; ActiveX; Automatic Grade



(上接第 89 页)

Application of Linear Approximation in Design of Data Acquisition System

LIU Wen-hui

(Guangdong Electronics Technology College, Guangzhou 510515 China)

Abstract: It is important how to evaluate the linear performance of the system in design of data acquisition systems. Curve approximation based on least-square is the proper tool to process data and estimate error, and linear approximation is a special form of the curve approximation. It can be used to evaluate the linear performance of the data acquisition system effectively. In this paper, a method suitable for engineering application based on the result of the evaluating that uses two-point linear calibration to decrease the measure error of the system is studied. This method that can be achieved by software makes the product meet the spec. This can lower the hardware cost and speed R&D.

Key words: Data Acquisition System; Linear Approximation; Linear Calibration