

文章编号: 1671- 251X(2011)02- 0059- 05 DOI: CNKI: 32- 1627/ TP. 20110124. 1043. 008

一种新型的数据采集系统性能量化方法的研究

刘恒¹, 刘家磊²

(1. 河南省教育厅教育技术装备管理中心, 河南 郑州 450000;
2. 安阳工学院计算机科学与信息工程学院, 河南 安阳 455000)

摘要:考虑到数据采集系统的精度对应于系统对信号的不失真传输及系统本身的时间稳定性问题,提出了一种新型的数据采集系统性能量化方法。该方法将数据采集系统看作为一个开环的线性时不变系统,把采集系统本身看作滤波器,其输入为需要采集的信号,输出为采集到的信号,然后利用LMS算法的基本原理反推通道模型参数,最后利用求得的模型参数计算数据采集系统对正弦信号的传输特性,实现了对数据采集系统的性能考核。对系统模型和量化方法的数学仿真结果表明,所采取的量化方法和系统模型精确地反映了数据采集系统的正弦信号的响应,可以作为实际数据采集系统的精度考核手段。

关键词:数据采集系统; 性能考核; 静态特性; 实时性; 评估方法; 量化方法; 模型辨识; LMS

中图分类号: TD672 **文献标识码:**A **网络出版时间:**2011- 01- 24 10: 43

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110124.1043.008.html>

Research of a New Method of Performance Quantization of Data Acquisition System

LIU Heng¹, LIU Jialei²

(1. Educational Technology Equipment Management Centre of Henan Provincial Education Department, Zhengzhou 450000, China. 2. School of Computer Science and Information Engineering of Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, China)

Abstract: Considering that precision of a data acquisition system corresponds to distortion less of signal transmitted by the system and the problem of time stability of the system, the paper put forward a new method of performance quantization of data acquisition system. The method regards data acquisition system as an open-loop linear time invariant system and takes the system as a filter, whose input is the signal needed to acquire and output is the gathered signal. Then it reveals model parameter of channel by basic principle of LMS algorithm. Finally it calculates transmission characteristics of sinusoidal signal by use of received model parameter, so as to realize performance test of the data acquisition system. The mathematical simulation results of the system model and the quantization method showed that the quantization method and the system model respond to sinusoidal signal's response of the data acquisition system precisely, which can be used as a precision evaluation measure of actual data collection system.

Key words: data acquisition system, performance test, static feature, real-time performance, evaluation method, quantization method, model identification, LMS

0 引言

随着科学技术的发展以及社会生产力对科学技术需求的不断提高,数据采集系统在工业自动化以

收稿日期: 2010- 11- 01

作者简介: 刘恒(1978-), 男, 河南郑州人, 工程师, 现主要从事计算机系统集成与应用方面的工作。E-mail: liuwxin@163.com

及科学的研究中得到了广泛的应用^[1]。数据采集系统的实际性能成为决定生产线性能、产品质量以及科学的研究发展的关键。在一些复杂的控制系统中,其数据采集系统性能的好坏直接影响整个控制系统的性能指标,因此,研究数据采集系统的精确考核方法具有重要意义。对数据采集系统的实际性能进行测试,进而了解数据采集系统及设备本身的特性具有

非常重要的意义^[2]。特别是在航空航天领域, 数据采集系统的精确度和实时性要求更高。目前, 数据采集系统性能量化方法成为了研究热点, 它可以及时发现实际数据采集中存在的问题和隐患, 同时也可以为系统设计改进提供试验数据和理论依据。传统的数据采集系统性能量化方法^[3]: 利用信号发生器产生一个标准电压, 然后利用地面测试设备和软件采集该信号, 手工进行信号比对, 重复试验得出数据采集的有效精度。这种方法不但费时费力, 而且只是检验了数据采集的静态特性, 无法对数据采集的实时性作出考核。于丹^[4]、王平^[5]等利用优化硬件设计和采用软件新技术, 实现了数据采集系统的高性能工作和较高的容错能力, 但未给出具体的性能考核评估方法; 伏洪勇^[6]等基于 Bayes 定律探讨了一种航天设备特别是元器件的性能评估算法, 这种算法主要是利用验前信息对设备或者元器件进行性能评估, 虽具有一定的借鉴意义, 但具有一定的局限性。

针对以上方法的局限性, 笔者提出了一种新型的数据采集系统性能量化方法。考虑到数据采集系统的精度对应于系统对信号的不失真传输及系统本身的时间稳定性问题, 可以把数据采集系统看作一个开环的线性时不变系统, 把采集系统本身看作滤波器, 其输入为需要采集的信号, 输出为采集到的信号, 利用 LMS 算法的基本原理(应用最优化的数学算法最陡下降法)反推通道模型参数, 最后利用求得的模型参数, 计算数据采集系统对正弦信号的传输特性, 实现了对数据采集系统的性能考核。对系统模型和量化方法的数学仿真结果表明, 本文所采取的量化方法和系统模型精确地反映了数据采集系统正弦信号的响应, 可以作为实际数据采集系统的精度考核手段。

1 系统模型

一个开环线性时不变系统可以用滤波器模型来描述^[7], 如图 1 所示。

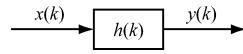


图 1 开环线性时不变系统的滤波器模型

图 1 中, $x(k)$ 为系统输入信号; $y(k)$ 为系统的输出信号; $h(k)$ 为系统通道参数(单位冲击响应)。同样, 对应于一个如图 2 所示的数据采集系统, 在认为其具有线性和时不变性的前提下, 亦可以映射为图 1 所描述的滤波器模型。

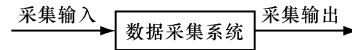


图 2 数据采集系统结构描述

可以应用 FIR 滤波器形式来实现上述滤波器。

如果滤波器的长度为 N , 则有

$$y(k) = \sum_{i=0}^N h_i(k) x(k-i+1) \quad i = 0, 1, \dots, N \quad (1)$$

由此可见, 输出 $y(k)$ 是 k 时刻之前的 N 个过去输入的线性加权之和, 其加权系数为 $h_i(k)$ 。

若用 $w_i(k)$ 表示权系数, 令

$$X(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)] \quad (2)$$

$$W(k) = [w_0(k), w_1(k), \dots, w_{N-1}(k)] \quad (3)$$

式中: $X(k)$ 为向量。

由式(1)、(2)、(3)联立得

$$y(k) = \sum_{i=0}^N w_i(k) x(k-i+1) = \\ X^T(k) W(k) = W^T(k) X(k) \quad (4)$$

对于数据采集系统, 由于硬件设备之间的干扰和软件程序的延时等实际情况, 系统采集到的数据不可避免地存在误差, 造成信号采集失真。结合图 1 和式(4), 若能通过输入、输出求得 W , 就可以通过分析 W 来获得数据采集系统的传输特性。

2 模型辨识方法

由前文可知, FIR 型滤波器作为数据采集系统辨识模型的描述比较合理, 同时, 滤波器阶数的选取直接影响辨识系统的性能, 阶数越高, 辨识模型 H^* 越精确, 但其运算量将越大, 实时实现就越困难。选取滤波器阶数准则: 在满足控制要求的情况下, 阶数应尽量取得小一些。图 3 为数据采集系统辨识模型结构。

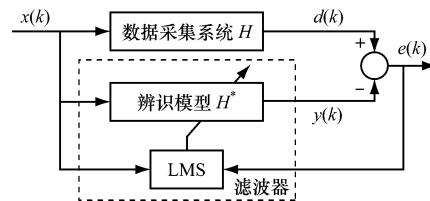


图 3 数据采集系统辨识模型结构

图 3 中, $x(k)$ 为数据采集系统的输入信号; $d(k)$ 为数据采集系统实际采集到的信号。自适应滤波器的输出 $y(k)$ 与 $d(k)$ 的比较输出即误差 $e(k) = d(k) - y(k)$, 根据 Widrow - Hoff LMS 算法, 对数据采集系统模型进行逐次逼近, 即 $w(k+1) = w(k) + 2\mu e(k) x(k)$, 自适应识别滤波器

便是被识别系统的一个“拷贝”。

LMS 算法的大致过程实质上是均方差 $E[e^2(k)] = E[(d(k) - y(k))^2]$ 趋于最小(零)的过程。均方差越接近零, \mathbf{H}^* 也就越接近 \mathbf{H} 。

由式(3)可知:

$$\begin{aligned} E[e^2(k)] &= E[(d(k) - y(k))^2] = \\ &= E[(d(k) - \mathbf{W}^T X(k))^2] = \\ &= E[d^2(k)] - 2E[d(k) X^T(k)] \mathbf{W}^* + \\ &\quad \mathbf{W}^T E[X(k) X^T(k)] \mathbf{W}^* \end{aligned} \quad (5)$$

令 $\mathbf{P} = E[d(k) X^T(k)] = E[d(k) x(k), d(k)x(k-1), \dots, d(k)x(k-N+1)]$, $\mathbf{R} = E[X(k) X^T(k)]$, 则:

$$E[e^2(k)] = E[d^2(k)] - 2\mathbf{P}^T \mathbf{W}^* + \mathbf{W}^T \mathbf{R} \mathbf{W}^* \quad (6)$$

式中: \mathbf{P} 为 $d(k)$ 与 $X(k)$ 的互相关矢量; \mathbf{R} 为 $X(k)$ 的自相关矩阵。

对于平稳输入, 式(6)是权矢量 \mathbf{W}^* 的二次方函数, 因此 $E[e^2(k)]$ 是一个相对于 \mathbf{W}^* 的凹超抛物面曲面, 它具有唯一的极小点。可以用梯度方法沿着该曲面调节权矢量的各元素, 得到这个均方误差 $E[e^2(k)]$ 的最小点。均方误差的梯度可以将式(6)对权矢量的各 w_n 进行微分得到:

$$\nabla_k = \left\{ \frac{\partial E[e^2(k)]}{\partial w_0}, \frac{\partial E[e^2(k)]}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial E[e^2(k)]}{\partial w_{N-1}} \right\} = -2\mathbf{P} + 2\mathbf{R}\mathbf{W}^* \quad (7)$$

置 $\nabla_k = 0$, 就可得到最佳权矢量, 用 $\hat{\mathbf{W}}$ 表示, 即

$$\mathbf{W} = \hat{\mathbf{W}} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{P} \quad (8)$$

在权的数目 N 很大或输入数据率很高时, 直接计算矩阵 \mathbf{P} 和 \mathbf{R} 将会遇到计算上的严重困难。这种方法不仅需要计算 $N \times N$ 矩阵的逆, 而且还要测量或估算 $N(N+1)/2$ 个自相关和互相关函数才能得到 \mathbf{P} 和 \mathbf{R} 的各矩阵元素; 不仅如此, 当输入信号的统计特性在慢慢变化时, 还必须从头重新作计算。而 LMS 算法正是求最佳权矢量的一个简单而有效的递推方法。该方法不需要求相关矩阵, 也不涉及矩阵求逆, 而是应用最优化的数学算法——最陡下降法(Steepest Descent Method)。按照这种方法, 下一个权矢量 \mathbf{W}_{k+1} 等于现在的权矢量 \mathbf{W}_k 加上一个正比于梯度 ∇_k 的负值变化量, 即

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - \mu \nabla_k \quad (9)$$

式中: μ 为一个控制稳定性和收敛速度的参数。

因为某点的梯度方向是代表该点变化率最大的方向, 在这里即是 $E[e^2(k)]$ 下降最快的方向, 因此,

这种方法称为最陡下降法。按式(9), 当 $\mathbf{W}_k \neq \hat{\mathbf{W}}$ 时, \mathbf{W}_{k+1} 将以 ∇_k 的方向, 即 $E[e^2(k)]$ 最陡下降的方向向 $\hat{\mathbf{W}}$ 靠拢, 靠拢的步距由 μ 确定。当达到 $E[e^2(k)]$ 的最小点时, $\nabla_k = 0$, $\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k = \hat{\mathbf{W}}$ 。将式(7)中求导与求期望值次序对换得

$$\nabla_k = 2E \left[e(k) \left(\frac{\partial e(k)}{\partial w_0}, \frac{\partial e(k)}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial e(k)}{\partial w_{N-1}} \right)^T \right] \quad (10)$$

因为 $e(k) = d(k) - \mathbf{W}^T X(k)$, 得

$$\left(\frac{\partial e(k)}{\partial w_0}, \frac{\partial e(k)}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial e(k)}{\partial w_{N-1}} \right)^T = -X(k) \quad (11)$$

于是式(11)约束了 \mathbf{W}^* 改变的走向, 将式(11)代入式(10), 得

$$\nabla_k = -2E[e(k) X(k)] \quad (12)$$

在实际应用中, 为了便于实时求得 ∇_k , 取单个误差样本的平方 $e^2(k)$ 的梯度作为均方误差梯度的估计。如用 $\hat{\nabla}_k$ 表示 ∇_k 的估计, 则有

$$\hat{\nabla}_k = \left[\frac{\partial e^2(k)}{\partial w_0}, \frac{\partial e^2(k)}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial e^2(k)}{\partial w_{N-1}} \right]^T \mathbf{W} = \mathbf{W}_k \quad (13)$$

将式(11)代入式(13), 则有

$$\hat{\nabla}_k = -2e(k) X(k) \quad (14)$$

将式(14)和式(12)比较可得

$$E[\hat{\nabla}_k] = \nabla_k = -2E[e(k) X(k)] \quad (15)$$

即 $\hat{\nabla}_k$ 的期望值等于其真值 ∇_k , 故这种对 ∇_k 的估计是无偏估计。 ∇_k 的估计值 $\hat{\nabla}_k$ 是用 $e(k) X(k)$ 的瞬时值代替它的期望值得到的。于是, 将 $\hat{\nabla}_j$ 作为 ∇_j 代入式(9)可得

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - \mu \hat{\nabla}_k = \mathbf{W}_k + 2\mu e(k) X(k) \quad (16)$$

式(16)的这种算法称为 Widrow - Hoff LMS 算法, 这种算法易于用实时系统实现。

3 数据采集系统性能量化分析

利用上述 LMS 算法求出其通道模型后, 可以较为方便地求得系统的正弦信号响应, 从而为系统的数据采集(信号传输)精度提供具体的参考数据。

设输入信号频率为 f , 系统通道模型辨识时数据采集的周期为 T , 则可知每次信号采集周期内信号的时间轴变化量为 $T = 2\pi f T$, 则其正弦响应为

$$y(k) = \sum_{i=0}^N w_i(k) \sin[(k-i+1)\pi f T] =$$

$$\begin{aligned} & \sin(k\tau) \sum_{i=0}^N w_i(k) \cos[(i-1)\tau] + \\ & \cos(k\tau) \sum_{i=0}^N w_i(k) \sin[(1-i)\tau] \quad (17) \end{aligned}$$

$$\text{令 } C = \sum_{i=1}^N w_i \cos[(i-1)\tau], \quad D = \sum_{i=1}^N w_i \times \sin[(1-i)\tau], \text{ 代入式(17)得}$$

$$y(k) = \frac{C}{\cos[\arctg(D/C)]} \sin[k\tau + \arctg(D/C)] \quad (18)$$

$$\text{令 } A = \frac{C}{\cos[\arctg(D/C)]}, \quad B = \arctg(D/C),$$

则

$$y(k) = A \sin(k\tau + B) \quad (19)$$

式中: A 为采集系统对正弦输入信号的幅度衰减信息; B 为采集系统对正弦输入信号的相位平移信息。

4 实验平台原理与结果分析

该数据采集系统性能测试平台如图 4 所示, 它主要由信号发生器、数据采集系统和高性能计算机组成。其中, 数据采集系统由可编程放大器与数据采集仪组成, 可编程放大器输入端接收信号发生器的输出信号, 数据采集仪的输出端接计算机; 计算机用以对数据采集系统的结果和原始数据进行比较处理等。

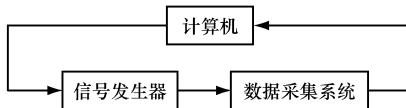
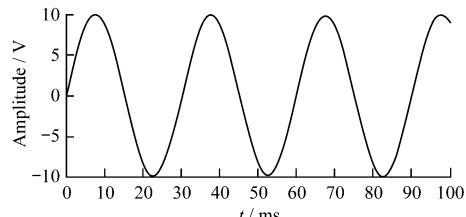


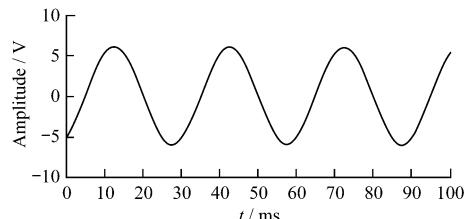
图 4 数据采集系统性能测试平台

系统工作的大致过程: 首先计算机预定一个正弦波, 使其驱动信号发生器产生相应的正弦波信号, 将信号传递给数据采集系统, 数据采集系统按预先设定好的采集特性采集信号, 并将采集到的数据反馈给计算机。此时计算机把原始预定正弦信号和反馈过来的数据作为 $x(k)$ 和 $d(k)$, 通过 LMS 算法进行迭代运算, 逐步逼近出精确的系统通道模型参数, 并根据这些参数推算出系统的数据采集幅值衰减特性和相位平移特性。

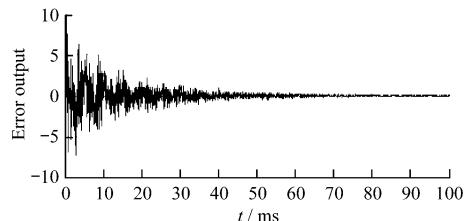
预定正弦波信号(即采集系统的输入)的幅值为 10 V, 频率为 33.33 Hz; 辨识模型 FIR 的长度为 24, 收敛因子为 0.0005, 最小临界误差为 0.002, 算法的运算频率为 300 Hz。根据上述设定的参数进行实验验证, 其结果如图 5 所示。



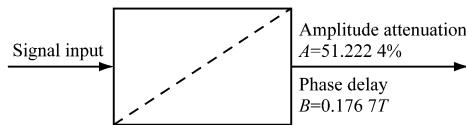
(a) 采集系统输入信号波形



(b) 采集系统输出信号波形



(c) LMS 算法运算过程中误差量的变化波形



(d) 性能量化精确分析

图 5 数据采集系统实验结果

图 5(a) 为采集系统输入信号波形; 图 5(b) 为采集系统输出信号波形(即经过数据采集系统后, 输入计算机的采集信号), 设定幅值衰减了 50%, 相位比输入信号延迟了 5 ms, 即延迟了 1/6 个周期; 图 5(c) 为 LMS 算法运算过程中误差量的变化过程, 从中可以清楚地看到, 在执行 45 ms 后, 误差量基本趋近于零。根据上述性能量化分析式(19), 最终系统性能分析如图 5(d) 所示, 幅值衰减为 $A = 51.222 4\%$, 相位延迟为 $B = 0.176 7T$ ms, 与设定(幅值衰减 50%, 相位延迟 0.166 7T ms)有一定的偏差, 这个偏差就是采集系统的误差, 从此可以看出采集系统性能的精确量化指标。

根据实验的偶然性, 一次实验结果很难确定系统的性能, 为了准确地得出系统的精确量化指标, 在信号频率、输入信号幅度、通道模型长度、算法搜寻步长、最小临界误差不变的前提下, 采集系统设置不同的幅度衰减和不同的相位延迟, 进行大量的实验, 典型实验数据仿真结果如表 1 所示。

表 1 典型实验数据仿真结果

序号	幅度衰减 设定值/ %	幅度衰减 考核值/ %	相位延迟 设定值/ ms	相位延迟 考核值/ ms
1	5	5.001 2	0.05T	0.048 9T
2	10	9.981 1	0.1T	0.099 9T
3	20	20.000 0	0.15T	0.152 2T
4	40	39.802 1	0.25T	0.250 0T
5	80	79.987 0	0.5T	0.500 3T
6	120	120.006 3	0.8T	0.810 0T

从表 1 可以看出, 针对不同的幅度衰减和相位延迟 LMS 算法都可以精确地检测出来。理论上讲, 算法搜寻步长和最小临界误越小, 系统的通道模型也就越接近真实情况, 但是由于计算机在进行数值计算时总是存在误差, 因此, 最终的仿真结果也不可避免地存在一定的误差, 这与上述所列各次实验结果存在一定误差是一致的。改变输入信号的频率和幅度, 选择合适的通道模型长度和算法运算频率, 针对不同的幅度衰减和相位平移, 同样得到了比较精确的仿真结果, 表明基于 LMS 算法的数据采集系统精度考核方法同样具有较好的适应性。

5 结语

以 FIR 滤波器作为数据采集系统的数学模型, 以信号发生器为输入, 采集数据为输出, 深入探讨了 LMS 算法的基本原理和应用方法, 并利用 LMS 算法, 在反推其通道模型参数后, 获得了数据采集系统对正弦信号包括精确度和实时性在内的数据传输特性, 实现了对数据采集系统的性能考核鉴定。实验

中也发现, 不同的通道模型长度、算法运算频率和算法搜寻步长, 对算法运算效率甚至收敛性有着重要的影响。因此, 深入研究系统通道模型长度、算法运算频率和搜寻步长与算法运算效率之间的关系, 以及探究它们之间内在的必然联系, 是提高算法运算效率以及扩展其适用性的关键所在, 将成为进一步深入研究的重要内容。

参考文献:

- [1] 朱仕银, 曾涛, 龙腾. 改进的数据采集系统性能测试的正弦拟合法 [J]. 北京理工大学学报, 2000, 20(6): 757-761.
- [2] 黄凤良, 夏春梅, 刘亚俊, 等. 某数据采集系统性能测试 [J]. 自动化仪表, 2008, 29(3): 54-56.
- [3] CHILINGARYAN S, CHILINGARYAN A, DANIELYAN V, et al. Advanced Data Acquisition System for SEVAN [J]. Advances in Space Research, 2009, 43(4): 717-720.
- [4] 于丹, 冯咬齐, 庞贺伟, 等. 航天器动力学数据采集分析系统 [J]. 航天器环境工程, 2006, 23(2): 80-82.
- [5] 王平, 孙宁, 李华旺, 等. 小卫星星载容错计算机控制系统软硬件设计 [J]. 宇航学报, 2006, 27(3): 412-415.
- [6] 伏洪勇, 林宝军, 陈福恩. 一种基于通用失效率的航天设备可靠性评估算法 [J]. 空间科学学报, 2007, 27(3): 250-252.
- [7] HAQUE M A, HASAN M K. Noise Robust Multichannel Frequency-domain LMS Algorithms for Blind Channel Identification [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2008, 15: 305-308.

大型空气压缩机远程监控与故障诊断系统

中国矿业大学和兖州矿业(集团)有限责任公司针对空气压缩机控制系统中存在的问题, 设计出了一种无人值守的空气压缩机远程监控与故障诊断系统。该系统以 PLC 为控制核心, 将整个现场构成一个通信网络系统, 并且结合远程监控与故障诊断技术以及实时数据库, 使压风系统更安全和稳定, 最终达到无人值守的目的。

该系统采用 IPC+PLC 的多级分布式结构, 用

PLC 构成系统的控制站, 负责模拟信号的采集与模拟控制信号的发送等; 工控机 IPC 构成系统的操作站, 负责数据处理、控制计算以及整个系统的综合管理, 并结合 Ethernet 构成网络。该系统具有设备与过程的运行状态数据动态采集、信号处理、状态综合判别、自动报警及突发故障自动保护、故障推理诊断等功能。

(李剑峰)