

基于软件的拓宽数据采集仪动态范围的应用

Application of the Software Method
to Broaden the Dynamic Range of Data Acquisition Instrument

何先龙¹ 赵立珍² 杨学山¹

(中国地震局工程力学研究所¹,黑龙江 哈尔滨 150080;防灾科技学院²,河北 三河 065201)

摘要: 高采样率和宽动态范围是提高数据采集仪性能的关键指标。对拓宽采集仪的动态范围的方法进行了研究,提出了基于虚拟多核数据采集技术来拓宽低位 A/D 芯片的动态范围的方法。此方法通过软件对 A/D 转换的数据进行多次重采样,间接提高了采集仪的动态范围。基于此方法和 16 位 A/D 芯片开发出了虚拟 3 核数据采集仪。测试结果表明此采集仪具有高采样率和宽动态范围的性能,可用于实际测试。

关键词: 数据采集仪 动态范围 采样率 多重采样 虚拟多核 A/D 芯片

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Abstract: High sampling rate and wide dynamic range are the key indexes in improving the performance of data acquisition instrument. The methods to broaden the dynamic range of data acquisition instrument are researched, and the method based on virtual multi-core data acquisition technology to broaden the dynamic range of low A/D chip is proposed. Software is used in this method to multisampling the data converted by A/D, and to indirectly increase the dynamic range of the instrument. Virtual 3-core data acquisition instrument is developed based on this method and 16 bit A/D chip. The test results show that the new instrument features high sampling rate and wide dynamic range, and is feasible in practical tests.

Keywords: Date acquisition instrument Dynamic range Sampling rate Multisampling Virtual multi-core A/D chip

0 引言

数据采集系统的主要功能是对模拟信号进行采集、分析、存储和显示等^[1]。由于被测信号的动态范围大^[2],如汶川地震所产生的最大加速度量大于 $2g$ (g 为重力加速度)^[3],因此要求数据采集系统具有足够大的动态范围^[4-5]。在工程实际测试中,经常遇到被测信号幅值变化大,且在频率上变化也大的情况^[6-7]。因此,数据采集系统既要有较大的动态范围,也要有较高的采样率^[8],但是现实中这两个参数往往是矛盾的。低位 A/D 芯片具有较高的转换速度和多通道输入等特点,高位 A/D 芯片具有较高的分辨率和动态范围,但采样率较低且价格昂贵^[9]。

如何保证数据采集系统具有高采样率、多通道、大动态范围和低成本等特点是一个值得研究的课题。对多通道幅度变化大的信号进行采样时,需要采集仪具有足够大的动态范围,采用瞬态浮点放大器和多核数据采集技术可提高采集仪动态范围^[10],但由于增加了

大量硬件器件,使采集仪的噪声变大^[11]。对此,本文结合虚拟数据采集技术和多核数据采集技术,提出一种通过软件来间接提高采集仪动态范围的新方法。相比通过硬件来提高采集仪动态范围的方法,软件改变更方便且不会增加仪器噪声。

1 软件重采样公式推导

虚拟多核数据采集技术的基本思路是通过软件来提高采集系统的动态范围,其单通道数据采集流程如图 1 所示。

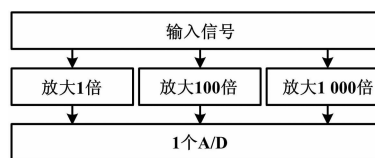


图 1 单通道数据采集流程

Fig. 1 Process of single channel data acquisition

传统的数据采集系统是通过调节放大器的放大倍数来改变整个系统的分辨率和信噪比,但不能改变系统的动态范围。系统的动态范围由数据采集仪的 A/D 位数决定。因此,可提高 A/D 芯片的位数来拓宽采集系统的动态范围。

中国地震局教师科研基金资助项目(编号:20090106)。

修改稿收到日期:2011-08-23。

第一作者何先龙(1981-),男,现为 中国地震局工程力学研究所 在读博士研究生;主要从事工程振动测试与信号处理方面的研究。

基于虚拟多核数据采集技术开发的采集仪的各通道如图 1 所示。其放大倍数固定不变,通过软件,基于一定的原则来合理筛选有效数据,然后对筛选出的数字量进行第 2 次采集。假设 A/D 为 16 位,连续 3 通道扫描采样周期为 0.02 s,扫描时间长度为 78 s,输入量程为 -9.8 ~ 9.8 V。

考虑到仪器噪声,可假设其 1 通道有效分辨率为 5 mV、2 通道(放大 100 倍)为 10 mV、3 通道(放大 1 000 倍)为 20 mV。

令输入信号为 $X(t)$,把 A/D 等电路的噪声折回到 A/D 转换前,则可令第 1、2、3 通道的噪声信号分别为 $n_1、n_2、n_3$,则 $n_1 < n_2 < n_3$ 。令各通道信号放大后输入到 A/D 的 1、2、3 通道的信号分别为 $y_1(t)、y_2(t)、y_3(t)$,则有:

$$\begin{cases} y_1(t) = X(t) + n_1 \\ y_2(t) = 100X(t) + n_2 \\ y_3(t) = 1\,000X(t) + n_3 \end{cases} \quad (1)$$

令 A/D 转换的数字量序列为 Y_0 ,则有:

$$Y_0 = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, \dots, a_n, \dots, a_{3\,900}\} \quad (2)$$

式中: $n < 3\,900$ 。

令 1、2、3 通道对应的数字量序列分别为 $Y_1、Y_2、Y_3$,则有:

$$[Y_1 \quad Y_2 \quad Y_3] = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{3\,898} & a_{3\,899} & a_{3\,900} \end{bmatrix} \quad (3)$$

对 Y_1 取位于 $(\pm 9.8, \pm 0.005)$ 的子序列,可得矩阵 Y'_1 ;对 Y_2 取位于 $(\pm 9.8, \pm 0.01)$ 的子序列,并除以放大倍数 100,可得矩阵 Y'_2 ;对 Y_3 取位于 $(\pm 9.8, \pm 0.02)$ 的子序列,并除以放大倍数 1 000,可得矩阵 Y'_3 。其中, $n < 1\,300$ 。则令:

$$Y'_1 = \begin{bmatrix} a'_1 & x_1 \\ a'_2 & x_2 \\ a'_3 & x_3 \\ \dots & \dots \\ a'_n & x_n \end{bmatrix} \quad Y'_2 = \begin{bmatrix} y_{21} & x_1 \\ y_{22} & x_2 \\ y_{23} & x_3 \\ \dots & \dots \\ y_{2n} & x_n \end{bmatrix} \quad Y'_3 = \begin{bmatrix} y_{31} & x_1 \\ y_{32} & x_2 \\ y_{33} & x_3 \\ \dots & \dots \\ y_{3n} & x_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: x_n 的值为 a'_n 在式(2)中的位置, $x_{n-1} < x_n$ 。

把 $Y'_1、Y'_2、Y'_3$ 按照 A/D 转换的先后顺序合并成一个新的矩阵,即:

$$Y' = \begin{bmatrix} y_1 & t_1 \\ y_2 & t_2 \\ \dots & \dots \\ y_n & t_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: t_n 为数据 y_n 转换时对应的时间; $n < 3\,900$ 。

由于剔除了一些数据,数组 $\{y\}$ 不再是等间隔转换序列。式(3)~式(4)可理解为对 A/D 转换的数字量进行重采样。

为了把非等间隔数字序列变成等间隔数字序列,可构建三次样条插值函数,设 $\Delta t = 0.02$ s,对矩阵 Y' 进行第 2 次重采样,得矩阵 Y'' ,则:

$$Y'' = \begin{bmatrix} y'_1 & 0 \\ y'_2 & 0.02 \\ y'_3 & 0.04 \\ \dots & \dots \\ y'_{3\,900} & 3\,899 \times 0.02 \end{bmatrix} \quad (6)$$

则数组 $\{y'\}$ 为等间隔数字序列,长度为 3 900 点。对 $X(t)$ 以 $\Delta t = 0.02$ s 进行抽样,抽样时间长度为 78 s,得:

$$X' = \begin{bmatrix} x_1 & 0 \\ x_2 & 0.02 \\ x_3 & 0.04 \\ \dots & \dots \\ x_{3\,900} & 3\,899 \times 0.02 \end{bmatrix} \quad (7)$$

令 N 为三次采样形成的误差矩阵,则:

$$N = \begin{bmatrix} x_1 - y'_1 & 0 \\ x_2 - y'_2 & 0.02 \\ x_3 - y'_3 & 0.04 \\ \dots & \dots \\ x_{3\,900} - y'_{3\,900} & 3\,899 \times 0.02 \end{bmatrix} \quad (8)$$

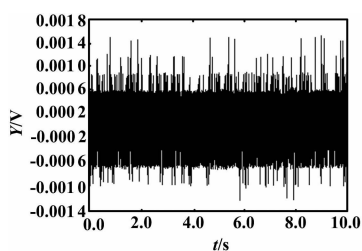
2 虚拟 3 核数据采集仪参数测试

基于以上思路,对原有数据采集仪 G01NET-1 进行简单的硬件修改后,开发出虚拟 3 核数据采集软件。将原来的 5 通道、输入量程为 -9.8 ~ 9.8 V、16 位 A/D 的同步采集仪,改进成 5 通道的虚拟 3 核同步数据采集仪。仪器改进前后的噪声测试结果如表 1、图 2 和图 3 所示。

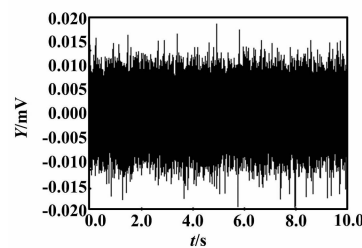
图 2 为改进前后采集仪以 10 000 Hz 进行采样时的噪声波形图,图 3 为改进前后采集仪直接连接同一个 941 B 传感器、以 256 Hz 进行采样时的地脉动波形图。

表 1 G01NET-1 采集仪改进前后的噪声对比
Tab.1 Comparison of the noises of G01NET-1 before and after improvement

采样率 /Hz	改进前		改进后	
	噪声 均方根值/mV	噪声 峰值/mV	噪声 均方根值/mV	噪声 峰值/mV
100	0.234	0.897	0.003 5	0.017
256	0.232	1.353	0.003 6	0.017
512	0.236	1.356	0.003 7	0.016
1 024	0.236	1.773	0.003 7	0.018
2 048	0.236	1.713	0.003 7	0.018
4 096	0.234	2.048	0.003 7	0.018
8 192	0.237	2.063	0.003 7	0.020
10 000	0.236	1.756	0.003 7	0.019
20 000	0.239	1.801	0.003 7	0.021



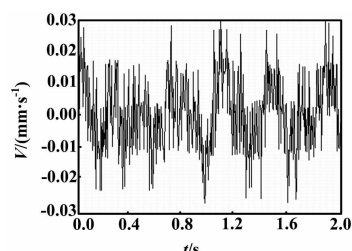
(a) 改进前



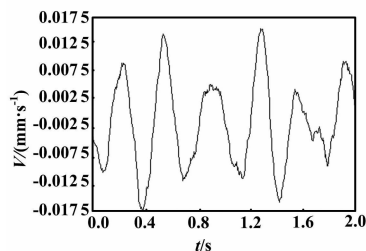
(b) 改进后

图 2 改进前后的噪声波形图

Fig. 2 The waveforms of noises before and after improvement



(a) 改进前



(b) 改进后

图 3 改进前后采集的地脉动波形

Fig. 3 Earth vibration waves before and after improvement

由表 1 和图 2 可知,G01NET-1 采集仪改进成虚拟 3 核后,在不同采样率工作下的最大噪声均方根为 0.003 7 mV、峰值为 0.021 mV;未改进时的最大噪声均方根为 0.239 mV、峰值为 2.063 mV。G01NET-1 改进成虚拟 3 核后,采集仪的噪声和信号最小分辨率由原来的几毫伏减小为几十微伏。

按照式 (9) 计算采集仪的动态范围,可得 G01NET-1 采集仪和改进成虚拟 3 核采集仪后的动态范围分别为 89 dB、125 dB。

$$S = 20 \lg \frac{|V|_{\max} / \sqrt{2}}{|V|_{\min} / \sqrt{2}} \quad (9)$$

式中: $|V|_{\min} / \sqrt{2}$ 为噪声均方根值; $|V|_{\max}$ 为最大可采集电压值^[5]。

由图 3 可得,改进后的虚拟 3 核数据采集仪由于分辨率相比未改进前的采集仪明显提高,因此其采集到的地脉动信号具有较高的信噪比。

3 结束语

对虚拟多核数据采集技术理论进行了论述,间接地提高了采集仪的动态范围并减小了噪声。基于此方法和 5 个 16 位 A/D 芯片开发出具有 5 个模拟量输入通道的虚拟 3 核数据采集仪,其动态范围达 125 dB,噪声均方根减小到 0.003 7 mV,最高采样率达 20 000 Hz。

参考文献

- [1] 林君,朱宝龙. 数据采集系统设计需要考虑的问题[J]. 石油仪器,1995,9(4):25-31.
- [2] 孙娴,罗桂娥. 一种高精度地震勘探数据采集系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制学报,2008,16(5):52-58.
- [3] 卢寿德,李小军. 汶川 8 级地震未校正加速度记录[M]. 北京:地震出版社,2009:172-180.
- [4] 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LABVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003:420-432.
- [5] 杨乐平. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2001:381-408.
- [6] 胡敦利,徐继宁,田红芳,等. 基于虚拟仪器的数据采集系统系统[J]. 微机计算机信息,2007,23(8):35-40.
- [7] 胡金华,袁湘辉,张卫,等. LabVIEW 中数据采集系统的开发应用[J]. 仪表技术,2008,21(7):25-29.
- [8] 周怡颀,凌志浩,吴勤勤. ZigBee 无线通信技术及其应用探讨[J]. 自动化仪表,2005,26(6):5-9.
- [9] 梁志国,周艳丽,沈文. 数据采集系统通道采集速率评价中的几个问题[J]. 航空计测技术,1996,16(3):52-56.
- [10] 林君. 浮点数据采集原理与实现技术[J]. 地质仪器,1996,12(2):26-29.
- [11] 罗福龙. 地震数据采集系统综述和展望[J]. 中国石油勘探,2007,18(2):27-32.