基于虚拟仪器的多通道 MEMS 加速度计自动化测试系统

明安杰[1,2],谭振新[1],吴 健[1],赵 敏[1],欧 文[1,2],陈大鹏[1,2]

(1. 江苏物联网研究发展中心 智能集成传感器工程中心,江苏 无锡 214135;
2. 中国科学院微电子研究所 集成电路先导工艺研发中心 微电子器件与集成技术重点实验室,北京 100029)

摘 要:提出了一种 7 通道并行测试的 MEMS 加速度计自动化测试分析系统,该系统高度集成多种功能,实现了加速度计高效率测试与分析。在常规测试系统基础上,该系统通过上层应用程序 Labview 实现了单一人机交互终端对振动台、高低温交变湿热试验箱和供电电源等设备的控制。灵敏度、线性度、重复性、滞回特性、温度特性、频响特性等参数指标,能够在控制终端通过分析测试数据同时获得,并以报表形式输出。在一般情况下,传感器测试效率可达 50 只/h,大大高于传统的非自动化测试系统。经过评估测试,该测试系统还表现出较高的测试精度及稳定性和可靠性,测试误差小于±2.5%。该自动化测试系统为进一步降低 MEMS 传感器成本,促进其在物联网领域的大规模应用奠定了基础。

关键词:MEMS 加速度计; Labview; 物联网; 自动化测试

中图分类号:TP23;TP312 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-2276(2014)06-1955-05

Automatic testing system for multi-channel MEMS accelerometers based on virtual instrument technique

Ming Anjie[1,2], Tan Zhenxin[1], Wu Jian[1], Zhao Min[1], Ou Wen[1,2], Chen Dapeng[1,2]

(1. Smart Integrated Sensor Engineering Center, Jiangsu R&D Center for Internet of Things, Wuxi 214135, China;
2. Key Lab of Microelectronics Device and Integration Technology, Integrated Circuit Advanced Process Center, Institute of Microelectronics Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

Abstract: A novel automatic testing and analyzing system with seven channels for MEMS accelerometers was introduced in this article. This system was designed with multi-function and high level of integration based on multi-channel and parallel configuration, leading to high-efficient testing and analyzing. Based on the conventional testing systems, the Labview-based top level application software in this system was used to realize manipulation of the electro-mechanical vibrator, temperature & humidity chamber, the voltage bias and so on. Meanwhile, parameters such as sensitivity, linearity, repeatability, hysteresis behavior, temperature behavior and frequency behavior were able to be measured and exported as reports all in once. Normally, the efficiency of sensor testing could achieve 50 devices/h, much higher than traditional manual systems. Experimental results show that the system is built up with high accuracy, stability and reliability, with the testing error less than ±2.5%. This prototype enables the cost reduction of MEMS sensors, thus the mass application in the domain of internet of things (IOT).

Key words: MEMS accelerometer; Labview; internet of things; automatic test

收稿日期:2013-10-13; **修订日期**:2013-11-03

基金项目:国家自然科学基金重点项目(61136006;61335008);国家 863 计划(2013AA041101);江苏省面上项目(BK21031099)

作者简介:明安杰(1980-),男,博士,主要从事 MEMS 传感器及其封测技术研究。Email:minganjie@ime.ac.cn

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

0 引 言

随着物联网产业的发展，加速度计的需求越来越大，同时，对加速度计的性能要求也越来越高[1]。传统的传感器测试系统具有集成度低、配置时间长、测试精度低、测试工作量大的等问题，很难实现高效率、高可靠性的自动化测试要求，无法解决 MEMS 传感器低成本、批量化测试的要求[2-3]。因此，研制高效率、高精度、高集成度的自动化测试系统成为当前的方向。Labview 是一种图形化的编程方式，界面和功能与真实仪器十分相象，基于 Labview 的上位机软件又称为虚拟仪器[4-6]。基于此，项目组开发了一种以振动台和高低温交变湿热试验箱作为物理环境，以计算机和数据采集系统为核心硬件，以 Labview 为上层应用程序的 MEMS 加速度计测试、分析系统，通过上位机软件实现了对物理环境控制、7 路传感器数据采集配置、数据保存以及数据可视化显示等功能，实现了高集成度和高效率，为快速、高效、全自动的 MEMS 传感器测试提供了技术支持。

1 系统设计

该系统主要包括振动台、高低温交变湿热试验箱、标准加速度计、信号调理电路、数据采集系统、Labview 程序和工控机等。振动台和高低温交变湿热试验箱为加速度计测试提供温度和加速度等物理环境，标准加速度计用于实施反馈振动台的信息，指导后续采集系统的工作状态，被测加速度计的输出信号通过信号调理电路进行放大、滤波、补偿等，随后进入数据采集系统进行 A/D 转换，进而传输给工控机，通过 Labview 软件，进行数据保存、分析计算与可视化显示。测试系统的框架示意图如图 1 所示。

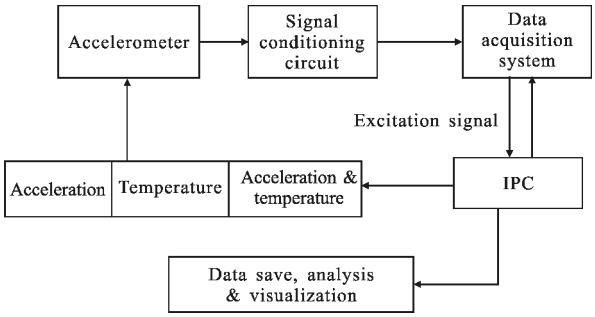

图 1 测试系统示意框图

Fig.1 Schematic drawing of testing system

该测试系统的上位机软件采用模块化设计形式，主要功能包括芯片参数、电源、振动台、试验箱控制、数据处理、帮助等模块。图 2 所示为基于 Labview 的加速度计测试测量系统的主界面。

图 2 基于 Labview 的加速度计测试系统主界面

Fig.2 Main panel of accelerometer testing system based on Labview

2 电源选择、振动台、高低温交变试验箱的控制

该测试系统，在数据采集过程中主要完成 3 个关键技术的开发。

2.1 供电电源选择

为满足多类型加速度计并行测试的要求，在该系统中，由隔离稳压芯片产生 6 种偏置电压，通过 3-8 选择器芯片 74LS138 控制多个继电器的通与断。而 3-8 选择器的控制则通过 DAQ 助手来完成，利用 DAQ 助手生成对应的数字信号实现电压选择。在完成测试后，所有的数字端口置零，以防由于数字端口记忆功能而造成后续被测器件由于供电电压过大遭到破坏。图 3 为利用 case 结构实现的多种电压的选择控制程序。

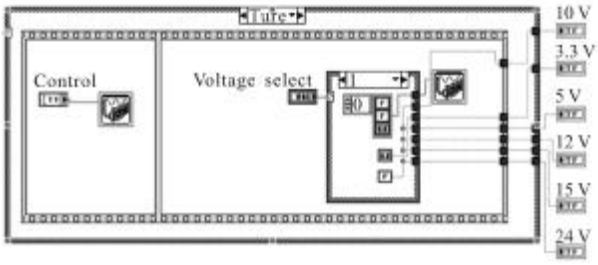

图 3 电压控制模块

Fig.3 Module of voltage control

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

2.2 振动台与数据采集系统的集成

为了保证激励信号与数据采集的同步性，将被测加速度传感器与标准加速度传感器一起固定在振动台上，利用标准加速度计实时反馈振动台的振动情况，指导数据采集系统是否记录被测加速度计的输出信号，直到设定的所有加速度值全部测试完毕后,通过软件算法进行数据处理。该过程的流程示意图如图 4 所示。

对于多通道的数据采集，各通道采集的电信号范围并不完全相同，因此为了保证测试精度，利用 DAQmx 创建通道来进行通道接线端、最大值、最小值、物理通道和单位等参数配置,图 5 为输出范围在伏和毫伏级电压的两个通道的配置程序。

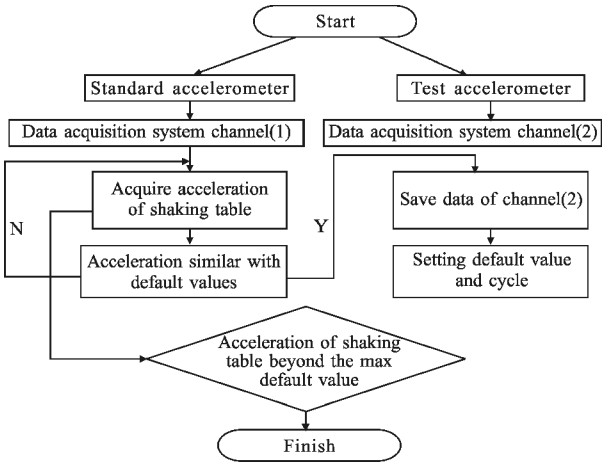

图 4 加速度计测试系统的流程框图

Fig.4 Schematic drawing that illustrates accelerometer test system

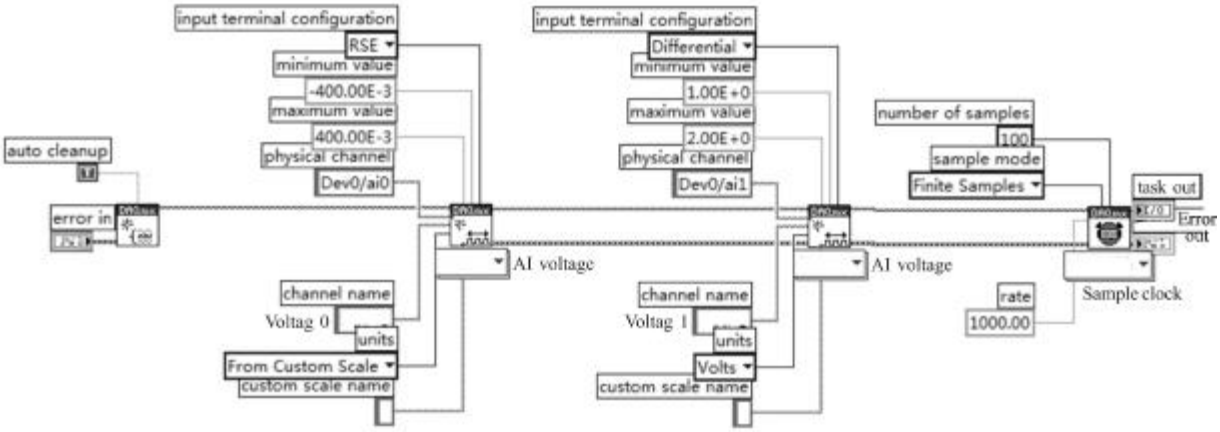

图 5 多通道的 DAQmx 配置

Fig.5 Multi-channel configuration of DAQmx

2.3 高低温交变湿热试验箱与数据采集系统的集成:

温湿度交变试验箱控制部分基于 Modbus TCP/IP 协议,接口为网线,程序的主要框架包括循环和条件结构,该模块主要存在定值运行启动与停止、温度的设定和温度的实时显示等功能。图 6 所示为 TCP 协议的配置简图。首先根据所控制设备的 IP 地址和端口号打开 TCP 连接,之后通过写入 TCP 数据来实现对试验箱的控制,要实现启动、停止、设定目标温度、显示当前温度等控制,则需要写入不同的十六进制命令,TCP 端口收到指令后则会反馈信息输出结果,通过 TCP 读取来实现。TCP 读取的字符串需要转换成十六进制字符串，主要是通过 For 循环和移位寄存器实现,之后将十六进制字符串转换成数值,以数值或者是图形的形式进行显示，部分程序图如图 7 所示。

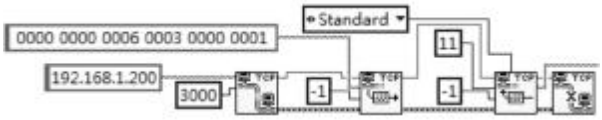

图 6 TCP 协议的配置程序

Fig.6 Configuration program of TCP

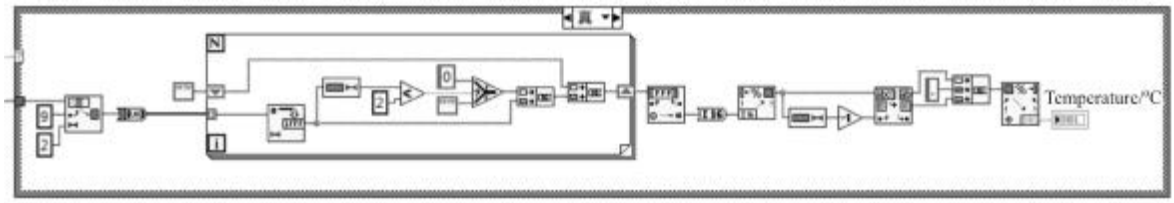

图 7 字符串到数值的转换程序

Fig.7 Conversion program from string to number

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

3 数据处理模块

利用一定的函数关系表征该传感器输入与输出之间的关系。对于加速度计,在不考虑蠕动效应和迟滞特性的前提下，外界加速度与电学信号之间的数学模型一般可用多项式来表示[7]:

$$y=a_0+a_1x+a_2x^2+\cdots+a_nx^n \tag{1}$$

式中:y 为输出量;x 为输入量;a_1 为加速度计的线性灵敏度,$a_2\cdots\cdots a_n$ 为非线性项的系数。根据上述数学模型,将加速度作为横坐标,电学信号作为纵坐标,则可以得到加速度计的输入——输出特性曲线,利用合适的拟合方式(线性拟合、多项式拟合、二次方程拟合、样条插值拟合等),得到最优化的拟合曲线,将拟合曲线的各个测试点求导后，即可得到不同激励下的灵敏度;另外,在选定线性拟合方式后,通过比较测试曲线和拟合曲线的残差图，找到两者之间的最大偏差,计算该被测加速度计的线性度;若利用 for 循环进行多次测试，比较多次测试的最大偏差,即可得到该加速度计的重复性；若将加速度计的载荷设置成正行程和反行程的激励模式，通过比较同一加速度下正、反行程的电压输出大小的差值,进而得到滞回误差。图 8 为静态特性参数的可视化界面。

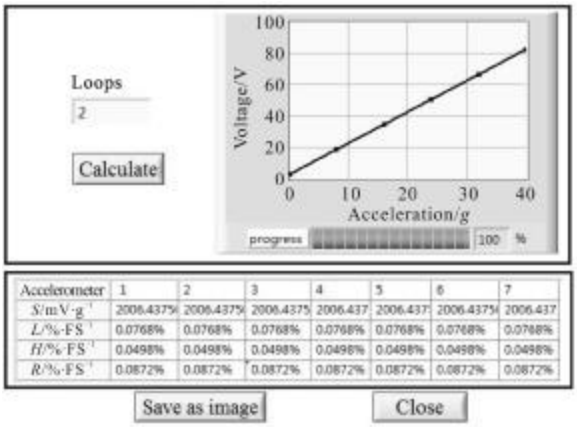

图 8 静态参数处理过程的可视化界面

Fig.8 Visualized diagram for static data processing

上述参数的测试过程以及最终结果不但可以在 Labview 前面板进行显示，而且可以生成报表的形式,一般的步骤即为新建报表、依次添加内容、最后关闭报表。在该程序中，简易报表采用 MS Office Report 函数，而包含中间详细测试数据的详细报表则做成子 VI,以保证程序的模块化,通过依次插入内容、数据和图标的方法实现,图 9 所示为标准报表的部分子 VI 程序。

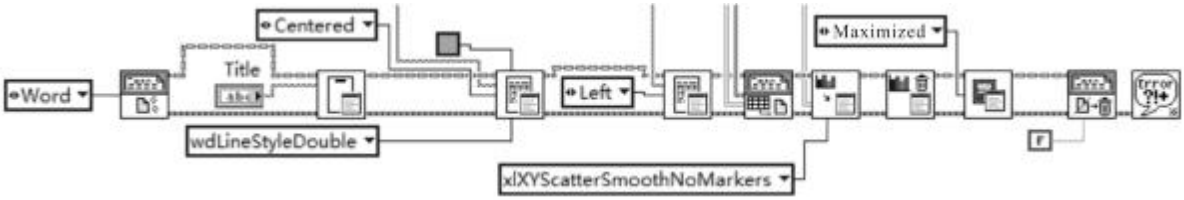

图 9 标准报表的部分子 VI 程序

Fig.9 Part of sub-VI program of standard reports

4 性能验证

利用安捷伦高精度万用表 34401 和该测试系统同时采集两路加速度计的输出，以验证该系统的可靠性和稳定性。随机抽取一段时间内采集到的测试结果如表 1 所示,与 34 401 相比,该测试系统得到的数据偏大,两者之间的测试误差小于±2.5%,考虑到测试系统和连接线的区别，该测试误差在可接受范

表 1 测试平台与 34401 测试结果对比(单位:V)

Tab.1 Comparison of test result between test platform and 34401(Unit:V)

Channel	Value							
Channel 1	2.571 181	2.576 039	2.568 266	2.569 4	2.571 019	2.569 238	2.572 477	2.571 019
34401	2.555 4	2.555 5	2.555 3	2.555 1	2.555 5	2.555 0	2.555 2	2.555 3
Channel 2	0.498 179	0.499 148	0.498 825	0.498 502	0.499 148	0.498 179	0.499 471	0.498 502
34401	0.487 7	0.487 2	0.487 6	0.487 7	0.487 1	0.487 6	0.487 3	0.487 1

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

围内,说明该测试系统性能优良,可靠性高。

另外,采用 7 个传感器并行测试的方式,在振动信号激励下,以 6 个激励点、每个激励点 30 s 计算,该测试系统在 1 h 内至少完成 50 只传感器的测试,是传统测试设备的 10 倍,大大提高了检测效率。

5 结 论

文中研究了基于 PCI 采集卡和 Labview 的 MEMS 加速度计性能指标参数分析系统, 该测试系统测试效率较高、测试结果真实可靠,实现了小批量的自动化测试,降低了加速度计的成本,促进了其在物联网行业的大规模应用。

参考文献:

[1] Bishop Robert H. Practical Guide of LabVIEW 8 [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2008: 32-132. (in Chinese)
Bishop Robert H. LabVIEW 8 实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 32-132.

[2] Fan Fuling, Han Jianxun. Performance analysis test system of piezoelectric accelerometer based on LabVIEW [J]. Instrument Technique and Sensor, 2009, 1: 21-25. (in Chinese)
范福玲, 韩建勋. 基于 LabVIEW 的压电加速度传感器性能分析测试系统[J]. 仪表技术与传感器, 2009, 1: 21-25.

[3] Wang Lei, Dong Jingxin, Zhao Changde, et al. Design of spectrum analyzer based on visual instrument technique [J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2009, 17(1): 81-84. (in Chinese)
王嫘, 董景新, 赵长德, 等. 基于虚拟仪器的微机电系统动态特性测试仪设计 [J]. 中国惯性技术学报, 2009, 17(1): 81-84.

[4] Ruan Qizhen. I and LabVIEW: 10 Years of Programming Experience of an NI Engineer [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2009: 3-33. (in Chinese)
阮奇桢. 我和 LabVIEW: 一个 NI 工程师的十年编程经验 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 3-33.

[5] Lei Zhenshan, Zhao Chenguang, Wei Li, et al. Based Tutoria of LabVIEW8.2 [M]. Beijing: China Railway Publishing, 2008. (in Chinese)
雷振山, 赵晨光, 魏丽, 等. LabVIEW8.2 基础教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.

[6] Zhou Yi, Zhao Xiuliang. Multi-channel temperature and humidity measurement system based on LabV I EW [J]. Journal of Hunan Institute of Science and Technology, 2009, 30(8): 56-59. (in Chinese)
周熠, 赵修良. 基于 LabVIEW 的多路温湿度测量系统[J]. 湖南科技学院学报, 2009, 30(8): 56-59.

[7] Yu Chengbo, Tao Hongyan. Sensors and Modern Detection Technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009. (in Chinese)
余成波, 陶红艳. 传感器与现代检测技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com