

微小位移量检测系统设计

The Design of Small Displacement Test System

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院) 魏仲慧¹ 张文新^{1,2} 何昕¹

WEI Zhong-hui ZHANG Wen-xin HE Xin

摘要: 介绍了基于激光三角测量法的微小位移量检测原理,并依据这个原理,设计了以一维 PSD 为检测元件,以 FPGA 为时序逻辑控制部件,以 AT89S51 单片机为运算核心的微小位移量检测系统。

关键词: PSD; 信号处理; 微小位移

中图分类号: TN24 **文献标识码:** A

Abstract: In this paper, the test principle of small displacement is introduced based on laser triangulation technique. According to this principle, we design the test system of small displacement. One-dimensional PSD is the test component, FPGA is the control component of timer and logic, and AT89S51 is the operation core.

Key words: PSD; Signal processing; Small displacement

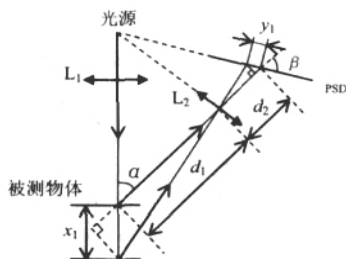
引言

随着科学技术和工业生产的不断发展,微小位移量的检测在表面测量、材料测量、精密机械测量等众多应用领域起着越来越重要的作用。检测微小位移量,可以采用接触式测量法和非接触式测量法。传统的接触式测量方法有很多局限性,如无法精确测量软质材料的高精度表面,测量结果受环境因素影响很大等,因此,接触式测量方法很难实现对微小位移量的高精度检测;非接触式的测量方法,由于在检测过程中不与待测物体直接接触,因此避免了上述问题对检测结果的影响。利用非接触测量方法构成的检测系统结构简单,测量精度高,目前应用广泛。

本文首先介绍了微小位移量的检测原理,并依据此原理,设计了以一维 PSD 为检测元件,以 FPGA 为时序逻辑控制部件,以 AT89S51 单片机为运算核心的微小位移量检测系统。

1 检测原理

对于微小位移量的检测,是基于激光三角测量法原理。检测原理如图所示:



光源发出的光经过透镜 L_1 聚焦,投射到被测物体表面上,形成光强分布均匀的光斑,一部分反射光经成像物镜 L_2 成像到位置敏感探测器(PSD)受光面上。当被测物体向上或者向下移动 x_1 时,其成像光点将在 PSD 表面产生横向位移 y_1 , y_1 与 x_1 之间

魏仲慧:研究员 硕士生导师

存在固定的函数关系。

$$\text{由检测原理图可知: } \frac{x_1 \cdot \sin \alpha}{y_1 \cdot \sin \beta} = \frac{d_1 + x_1 \cdot \cos \alpha}{d_2 - y_1 \cdot \cos \beta} \quad (1-1)$$

$$\text{由此可得: } x_1 = \frac{d_1 \cdot \sin \beta \cdot y_1}{d_2 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \sin(\alpha + \beta)} = \frac{a_1 \cdot y_1}{a_2 - a_3 \cdot y_1} \quad (1-2)$$

其中: $a_1 = d_1 \cdot \sin \beta$

$a_2 = d_2 \cdot \sin \alpha$

$a_3 = \sin(\alpha + \beta)$ (a_1, a_2, a_3 均为常量)

若能够求得 y_1 的值,则可以根据(1-2)式函数关系求得被测物体的位移量 x_1 的值。

由 PSD 的工作原理可知,随着成像光点位置坐标 y_1 的不同,其两个检测电极输出的电流值将随之变化,他们之间存在线形函数关系。若以 PSD 的中心点为原点,则 y_1 与 PSD 的两个检测电极之间的函数关系式可以由下式表示:

$$y_1 = \frac{L_x}{2} \cdot \frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}} = K \cdot \frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}} \quad (1-3)$$

其中: $K = \frac{L_x}{2}$ (常量)

y_1 是 PSD 上的成像光点距 PSD 原点的距离;

L_x 是 PSD 的受光面长度;

I_{X1} 是 PSD 的检测电极 X_1 端输出电流值;

I_{X2} 是 PSD 的检测电极 X_2 端输出电流值;

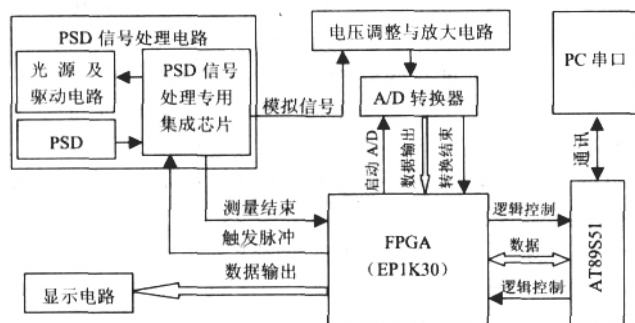
因此,由式(1-2)和式(1-3)就可以求得被测物体的位移量 x_1 。

2 系统组成

整个检测系统由 PSD 信号处理电路,电压调整与放大电路, A/D 转换器, 时序逻辑控制芯片 FPGA、AT89S51 单片机及显示电路组成,系统组成框图如下所示:

2.1 PSD 信号处理电路

PSD 信号处理电路用来完成信号采集及处理功能,它包括光源发生器及其驱动电路,位置敏感探测器(PSD), PSD 信号处理专用集成芯片几部分。



光源发生器采用新型光源--激光器,光源波长 780nm,工作电压+3V,额定功率 30mW。由于其发出的光为红色可见光,因此十分利于对光学系统的调试。

位置敏感探测器 (PSD) 选择日本滨松公司生产的一维 PSD-S3931,它是能够连续检测光电位置的非分割型光电位置器件。其分辨率高,响应速度快,受光面积为 $1 \times 6 \text{ mm}^2$,额定工作偏置电压+5V。

PSD 信号处理电路的核心采用日本滨松公司生产的 H2476-01 芯片,它是一种高速,高灵敏度的 PSD 信号处理专用集成电路,正常工作电压+2.4V ~+3.3V,能够在-15 ~-50 温度环境条件下正常工作。它最高支持 700Hz 的采样频率,最小可以检测到 1nA 的电流信号,十分适合于自动调焦、距离测量、位移测量、表面测量等应用领域。H2476-01 芯片共有 44 个引脚,内部集成前置放大电路,信号处理电路,时钟发生器,光源驱动电路,采样保持电路和 A/D 转换电路,只要在其外部扩展部分电阻、电容元件即可构成高精度的 PSD 信号检测电路,应用十分方便。

H2476-01 芯片在外部触发脉冲信号的输入下进行工作。当输入外部触发脉冲信号时,芯片 27 脚便会输出驱动激光器的脉冲信号(低电平有效),PSD 采样输出的电流信号经过 H2476-01 芯片内部电路处理后,大约经过 250 μs ,即可在芯片 21 脚输出本次采样的模拟电压信号,并以芯片 33 脚输出的测量结束信号指示(低电平有效)。由于芯片的各输出端是 OC 门输出,因此需在各信号输出端外加 5.1K 上拉电阻,芯片才能正常工作。

2.2 电压调整与放大电路

由于 PSD 信号处理电路输出的电压信号很弱,无法直接进行 A/D 转换,因此需要对其进行

行放大调整。为了使电路简单又便于调试,通常采用集成运算放大器。这里选用低噪音高速精密运算放大器 OP37,其温漂低,输入阻抗高。为了提高系统的采样精度,放大调整后的信号还应经过低通滤波器进行滤波处理,消除信号中的无用高频分量,才能送 A/D 转换器进行处理。

2.3 A/D 转换电路

A/D 转换器选用美国 AD 公司生产的 12 位逐次逼近型并行模/数转换器 AD1674,其内部自带采样保持电路、电压基准源、时钟源及暂存/三态输出缓冲器。AD1674 采用双电源供电,模拟部分为 $\pm 5\text{V}$,数字部分为 +5V,采样频率 100KHZ,转换时间 10 μs ,并行输出数据 8 位/12 位可选,本课题选择 12 位并行

数据输出格式。

2.4 显示电路

显示电路采用 6 个共阳极七段数码管进行显示。

2.5 时序逻辑控制核心 FPGA

整个系统在 FPGA 的控制下进行工作,系统上电后,FPGA 向 H2476-01 芯片提供外部触发脉冲,H2476-01 开始驱动激光器发射激光,PSD 将采集到的光信号转换为电流信号后,送 H2476-01 芯片进行处理,处理完毕后其输出一个与 PSD 电流信号成线形关系的电压信号,并向 FPGA 输出测量结束信号,FPGA 得到此信号后,启动 A/D 转换器,当 FPGA 检测到 A/D 转换结束信号后,就对 A/D 输出的数据进行读取,同时向 AT89S51 单片机 P3.2 口输出中断信号,AT89S51 响应中断后,将 FPGA 送来的数据存储起来、进行运算处理,运算处理的结果再送 FPGA,通过 FPGA 外接的显示电路进行显示。

FPGA 采用层次化的设计方法,首先用 VHDL 语言进行底层模块设计,然后通过原理图输入法将各个底层模块进行综合,实现整个时序逻辑控制功能。其内部主要包括以下功能模块:

分频器模块

该模块用于将外部提供的 20MHZ 时钟信号进行分频处理,为各个功能模块提供不同的时钟信号,使各个模块协调工作。

计数器模块

该模块主要用于为 H2476-01 芯片提供外部触发脉冲。H2476-01 芯片要求外部触发

脉冲周期大于 1.5ms,低电平(有效)不小于 0.163 ms。模块采用直接对外部时钟计数的方法进行设计,设置计数器的模为 39999。从 0 计数到 3999,输出低电平信号;从 4000 计数到 39999,输出高电平信号,然后计数器清零,重新从 0 开始计数。

控制器模块

该模块的作用是根据 H2476-01 芯片、A/D 转换器、AT89S51 芯片输出的状态信号

实现对系统的逻辑控制。当检测到 H2476-01 芯片的测量结束信号时,模块输出启动 A/D 转换器信号,在收到 A/D 转换结束信号时,就将转换后的数据读取进来,存储在缓冲区中,同时向 AT89S51 单片机的 P3.2 口输出中断信号,AT89S51 单片机响应中断后,读取数据并进行运算处理。运算结果在控制模块的控制下,重新送入 FPGA,并通过显示电路进行显示。

缓冲区模块

缓冲区模块包括输入数据缓冲模块和输出数据缓冲模块。输入数据缓冲模块用于将

A/D 转换器和 AT89S51 输出的数据进行缓存,输出数据缓冲模块用于将向 AT89S51 及显示电路输出的数据进行缓存。

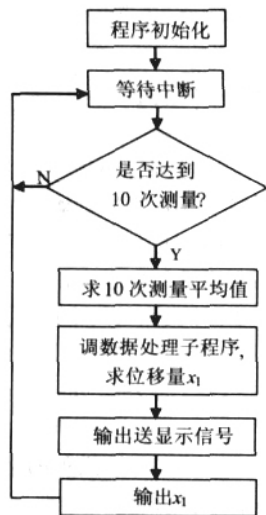
显示模块

显示模块包括分位模块和译码模块。由于采用七段数码管进行显示,因此需要先将

数据进行分位处理,再送译码模块进行译码输出。

2.6 AT89S51

运算处理核心选择 ATMEL 公司生产的低功耗,高性能 CMOS 8 位单片机 AT89S51。其软件设计流程框图如下所示:



主程序流程图



中断程序流程图

系统上电后, 首先进行初始化, 等待中断。得到 FPGA 送来的中断信号后, 调中断响应子程序, 读取数据, 并存储起来。中断返回后, 判断检测数据次数是否达到 10 次, 如果没有达到 10 次, 则继续等待中断, 读取采样数据; 若已经达到 10 次, 则将 10 次的测量结果做均值运算, 取平均值作为检测结果, 然后调数据处理子程序, 求出位移量 x_1 。由 AT89S51 向 FPGA 发出数据运算处理完毕、送显示的信号, 以 P2.7 口置高指示, 将数据输出给 FPGA。

3 结束语

依据激光三角法测量原理, 采用一维 PSD 为检测元件, FPGA 为时序逻辑控制部件及 AT89S51 单片机为运算核心的微小位移量检测系统, 具有结构简单, 抗干扰能力强, 检测速度快, 测量精度高的特点。

本文作者创新点: 采用 FPGA 芯片成功实现了整个系统的时序产生及逻辑控制功能。采用 FPGA 芯片进行设计, 不仅缩短了开发周期, 提高了系统的稳定性, 而且可随时进行在线编程, 便于系统的维护和升级。

参考资料

- [1] 邹振书, 李喜增, 张景和, 高清峰. 非接触测量激光光学探头. 光学精密工程, 1997, 5(3): 83-89.
- [2] 张景和, 邹振书. 激光非接触探头的结构设计和制作. 激光与电子学进展, 1998(7): 8-21.
- [3] 李敏洁, 魏仲慧, 何昕. 基于 FPGA 的多功能图象目标发生器的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2005, 12-2: 126-127.
- [4] 曾为, 陈培锋, 李超. 基于 PSD 的微小位移测量研究. 光学与光电技术, 2006, 4(2): 54-56.

作者简介: 魏仲慧(1961-), 女(汉族), 吉林省长春市人, 研究员, 硕士生导师. 主要从事数字图像存储技术和数字图像处理等方面的研究工作; 张文新(1978-), 男(汉族), 吉林省蛟河市人, 在读硕士研究生, 机械电子工程专业, 主要从事数字图像存储技术的研究。

Biography: Wei Zhonghui (1961-), female (Han), Changchun City Jilin Province, boffin, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. Now engaging in the domain of digital image processing and technique of memory

of digital image; Zhang, Wenxin (1978-), male (Han), JiaoHe City Jilin Province, master of mechanics & electronics engineering, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. Engaging in the technique of memory of digital image.

(130033 吉林长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 魏仲慧 张文新 何昕

(100039 北京 中国科学院研究生院) 张文新

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, JiLin Changchun 130033) Wei Zhonghui

Zhang Wenxin He Xin

(Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039) Zhang Wenxin

通讯地址: (130033 吉林 吉林省长春市经济技术开发区营口路 20 号长春光机与物理研究所研究生公寓 C 座 205 室) 张文新

(收稿日期: 2008.2.05)(修稿日期: 2008.3.15)

(上接第 252 页)

4 总结

本系统的创新点在于设计了一种具有语音功能的车载智能仪表, 并且给出了一种合理的音频算法, 从而在车载仪表中实现了信息输出的多途径化。另外该系统充分发挥了 SPCE061A 强大的语音处理能力, 并且在硬件设计中简化了外围电路, 提高了系统的抗干扰能力和可靠性, 使该系统在各种气候条件和恶劣环境下都能够可靠、稳定地工作, 可以广泛应用于各种车辆仪表中。

参考文献:

- [1] 彭宣戈. 16 位单片机原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [2] 朱兵. 煤矿便携式多参数测试仪语音的实现与研究[J]. 煤矿机械, 2006 (8): 46-48.
- [3] 彭宣戈. 一种嵌入式 Internet 接口系统[J]. 微计算机信息, 2005, 2: 8-9
- [4] 孙传友, 孙晓斌. 测控系统原理与设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.

作者简介: 朱兵(1975-), 男(汉族)湖北咸宁人, 井冈山学院计算机科学系副教授, 主要从事嵌入式系统应用研究; 周旭艳(1978-), 女(汉族), 江西上饶人, 井冈山学院计算机科学系讲师, 主要从事嵌入式系统应用; 彭宣戈(1950-), 男(汉族), 江西安福人, 井冈山学院计算机科学系教授、硕士研究生导师, 主要从事嵌入式系统应用。

Biography: Zhu Bing (1975-), male (the Han nationality), person in Xianning, Hubei, computer science tutors of department's associate professor of Jinggangshan, Major Embedded system, E-mail: zhubing@gsu.edu.cn.

(343009 江西 江西省吉安市井冈山学院信息科学学院计算机系) 朱兵 周旭艳 彭宣戈

(Department of Computer Science, Jinggangshan College, Ji'an 343009, china) Zhu Bing Zhou Xuyan Peng Xuange

通讯地址: (343009 江西 江西省吉安市井冈山学院信息科学学院计算机系) 朱兵

(收稿日期: 2008.01.13)(修稿日期: 2008.3.15)