

·测试、试验与仿真·

基于迈克尔逊干涉测力传感器装置的设计

李儒颂, 徐 芹, 叶文江

(河北工业大学 理学院, 天津 300401)

摘 要: 基于迈克尔逊干涉原理和弹簧有机结合, 自行设计出一种新型的测力传感器装置。采用线阵 CCD 作为光电传感器件捕捉干涉圆环的光强信号, 并通过 MSP430 单片机对电信号进行处理, 再利用设计出的迈克尔逊干涉圆环计数软件自动计算出干涉圆环数目, 即可自动精确计算出弹簧的形变量, 从而实现对所受的外力进行测量。编写相应的程序将力的大小由低功耗 OCM126864-9 液晶显示屏。分析表明, 该测力装置具有高测量精度和高智能化的特点。

关键词: 迈克尔逊干涉原理; 弹簧; 测力传感器装置; 高精度; 高智能

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-02-0083-04

Design of Force Transducer Based on Michelson Interference

LI Ru-song, XU Qin, YE Wen-jiang

(School of Sciences, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: A new force transducer is designed based on Michelson interference principle and springs. Liner array CCD is used as electro-optic sensors to capture the light intensity signal of interference circles and the electric signal is processed by MSP430 SCM. The designed counting software of Michelson interference circles are used to figure out the number of interference circle automatically. The deformation of springs can be calculated automatically and precisely to realize all external forces measurement. The force can be displayed on low-power OCM126864-9 LCD screen by writing corresponding program. Analysis shows that the force transducer has the features of high measurement accuracy and intelligence.

Key words: Michelson interference principle; spring; force transducer; high accuracy; high intelligence

迈克尔逊干涉仪是一种典型的光学干涉仪器, 作为近代精密测量光学仪器之一, 被广泛用于科学研究和检测技术等领域。通过观测干涉圆环在中心的陷入或涌出, 干涉仪能以极高的精度测量与微小长度变化相关的物理量, 例如: 测量金属丝的杨氏模量^[1]; 也可用于光纤高温探针传感器^[2]; 还可以用来测定透明介质的折射率^[3]等。

随着现代工业的高速发展, 力的测量作为检测技术的重要内容, 在国内外有着良好的发展前景和

空间。而且因微计算机的普及, 现代测力系统已经发展到数显式测力仪, 测力仪的应用范围很广, 可测拉力和压力。近年来, 光纤光栅在压力传感领域获得了广泛关注和迅速发展^[4-5]。但未经封装的光纤光栅压力灵敏度较低, 且比较脆弱而易受损伤, 从而制约了其在压力测量中的应用。目前, 在工业现场和科学试验中应用对外力的测量最多的是弹性式和电阻应变式传感器, 弹性式测力由于发展多年, 应用广泛, 技术成熟, 但因难于实现自动化, 测量精度不

收稿日期: 2015-04-08

基金项目: 河北省自然科学基金(A2014202123); 河北省教育厅项目(QN2014130); 河北省高校重点学科资助课题

作者简介: 李儒颂(1990-), 男, 湖北省通山县人, 学士, 主要研究方向为应用物理学专业。

够,导致发展空间较小;由于压阻式传感器^[6]是用半导体材料制作,故存在一些不足之处:受温度影响较大,因此在温度变化大的环境中使用时,必须进行温度补偿。而且工艺比较复杂,对研制条件要求高而严格,尤其是烧结、封装工艺,因而其成本效高。

文中主要针对目前测力装置存在灵敏度差、精度低的现状,根据弹簧的力学性质和基于迈克尔逊干涉原理^[7-8]设计出一种新型的测力装置,该测力装置测量原理简单,而且具有测量精度高和智能化高的特点。

1 实验装置设计与测量精度分析

1.1 测量原理

弹性定律是胡克最重要的发现之一,也是力学最重要基本定律之一。在现代,仍然是物理学的重要基本理论。胡克的弹性定律指出:在弹性限度内,弹簧在发生弹性形变时,弹簧的弹力 F 和弹簧的伸长量(或压缩量) x 成正比,其表达式为

$$F = k \cdot x \quad \text{或} \quad \Delta F = k \cdot \Delta x \quad (1)$$

其中, k 是常数,是物体的劲度(倔强)系数。在国际单位制中, F 的单位是牛; x 的单位是米;它是形变量(弹性形变); k 的单位是牛/米。劲度系数在数值上等于弹簧伸长(或缩短)单位长度时的弹力。

迈克尔逊干涉仪的光路图如图1所示。从He-Ne激光器发出的光束,被分束板 G_1 后表面镀有半透膜 A (反射光与透射光各为50%)分成两束光强近似相等的反射光(1)和透射光(2)。 M_1 和 M_2 是两块反射率很高的平面反射镜,与 G_1 成 45° 角,光束(1)射到 M_1 上被反射回来,再透过 G_1 到达接收屏 E ;光束(2)透过补偿板 G_2 (补偿光程用的)射到 M_2 上被反射回来,再透过 G_2 后又经 A 反射也到达接收屏 E 。因为这两条光线是相干光,所以相遇时会发生干涉。因此,在 E 处可观测到干涉条纹。干涉条纹圆心的光程差等于 $2d$,当 M_1 移向 M_2' 时,空气膜厚度 d 逐渐减小,干涉条纹向中心收缩,条纹变粗,并在中心一一消失。 M_1 每平移 $\lambda/2$ 的距离,在中心就会消失一个干涉圆环。当 M_1 与 M_2' 完全重合时,视场一片均匀照亮。如果继续移动 M_1 ,使 M_1 逐渐离开 M_2' ,则干涉条纹不断由中心冒出,条纹变细。如果数出变化的圆环条纹个数 N ,就可以求出动镜 M_1 的移动距离(即弹簧的微小形变量)为

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

式中, N 为干涉圆环变化的数目; λ 为入射光的波长。

联立式(1)和式(2)可得外加压力为

$$F = 2k\Delta d = Nk\lambda \quad (3)$$

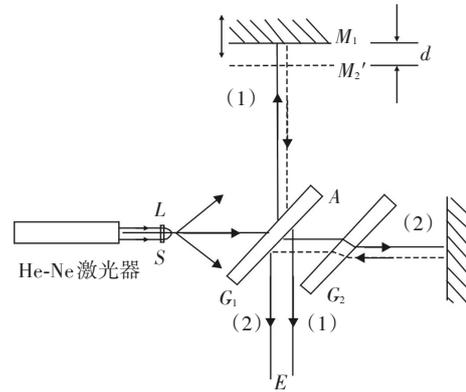


图1 迈克尔逊干涉仪的光路图

1.2 信号处理系统

通过测量原理的分析可以看出,对外加拉力的测量最为关键的技术是对光干涉圆环的计数与处理。为此,与文献[9]类似,系统的整个测量过程最终是通过线阵CCD拾取干涉信号并经信号处理系统后续处理实现的。与之不同的是,文献[9]中CCD信号采集及数据处理是通过计算机来实现的,而所开发的系统是通过单片机控制并实现显示结果,这种方法在文献[10-12]中均有介绍,使系统变得更加灵巧,使用更加方便。系统选用的线阵CCD图像传感器型号是东芝公司生产的TCD1251UD。当干涉圆环成像于光屏上以后,再采用线阵CCD对光干涉信号进行捕捉与采集;在线阵CCD驱动电路作用下,CCD传感器捕获的模拟信号经过A/D数据采集卡,通过编制的迈克尔逊干涉圆环软件对干涉圆环的精确计数,并由MSP430单片机显示结果。

首先,CCD图像传感器使用一种高感光度的半导体材料制成,它可以把光线(光信号)转变成电荷(电流信号),再经过信号放大和数模转换器芯片转换成数字信号,这样的信号可以非常容易被单片机采集并处理;干涉圆环成像于光屏上,是可见的明暗相间的条纹,同时在CCD图像传感器上,明处会有电信号生成,暗处则无电信号,这样,通过单片机采集CCD图像传感器经信号放大和模数转换之后的数字信号的数量,即可计算出干涉条纹的总数,进

而得出外加压力值。为了实时采集脉冲数,本设计应用了MSP430的外部中断功能,干涉圆环致使数字信号脉冲产生后,可通过外部中断引脚被MSP430单片机实时采集、处理并显示结果。

1.3 实验装置的设计

利用迈克尔逊光干涉原理以及干涉圆环自动计数系统实现对弹簧形变的大小的精确测量,从而可以对外力的智能化测量,其具体装置及测量手段是:将反射动镜 $M1$ 用轻质的塑料套住,使 $M1$ 平稳安置在光滑导槽上,套 $M1$ 的塑料柄两端分别与一弹性系数为 K 的弹簧相固定,其中,弹簧是那种只能上下伸缩的弹簧。当在载物台上施加外力 F 时即可使弹簧向下压缩从而引起反射动镜 $M1$ 的向下移动,进而引起光屏上干涉圆环数目的变化;通过信号处理系统对光强信号的处理,干涉圆环自动计数软件对干涉圆环的自动精确记录就可以实现对所受的外力进行测量,其测量框图原理图如图2所示。

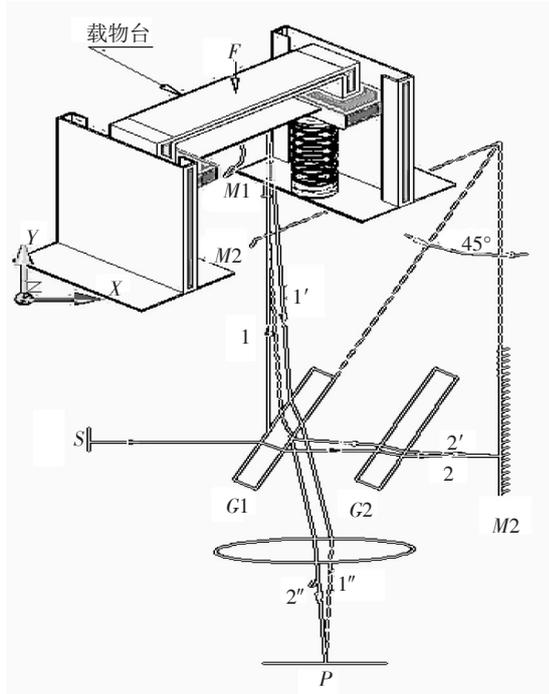


图2 测力传感器实验装置原理图

1.4 测量精度分析

迈克尔逊干涉仪的测量精度可到100 nm量级,结合胡克定律,从理论上分析,此测力装置可以对数量级为 $2k \times 10^{-7}$ N的微小力进行精确测定。但实际上由于摩擦阻力的影响和对干涉圆环的计数有误差,

导致其测量精度会减小,其中摩擦阻力为主要因素。如何减小轻质塑料套子与竖直槽的摩擦,是实现此装置对微小力的测量的灵敏度和精确度的关键所在。同时,利用线阵CCD测量干涉所形成的干涉圆环,获得干涉圆环的光强的变化,进而自动计数出干涉圆环的数目的变化。这种光干涉测量技术是一种对微小长度进行的无接触的测量技术,采用线阵CCD捕捉干涉圆环来进行自动计数,自动记录干涉条纹的条数,完全克服了人工记录干涉圆环数目时因易疲劳而产生较大误差的缺点,具备智能化程度高、精度高的特点。

2 结论

基于迈克尔逊干涉原理,自行组装迈克尔逊干涉装置,并将这一光学干涉装置与弹簧进行组合,应用于力的测量,设计出了一种新型的测力传感器装置。通过理论分析表明,该测量方法不仅测量原理简单,而且具有智能化程度高和精度高的特点。从相对误差来看,此方法测量外加力的误差相对较小,拓宽了现行对外加压力的测量方法,具有推广价值。

参考文献

- [1] 李儒颂,叶文江. 金属丝杨氏模量测量装置的设计[J]. 大学物理实验, 2014, 27(5):51-53.
- [2] 杨坤,荣强周. 基于Michelson干涉仪的高灵敏度光纤高温探针传感器[J]. 物理学报, 2013, 62(8): 084218 (1-4).
- [3] 孙宇航. 用迈克尔逊干涉仪测定透明介质的折射率[J]. 西安邮电学院学报, 2009, 14(1): 158-161.
- [4] LI Ming, WU Hai-feng, QIAO Xue-guang, et al. A novel high-sensitivity fiber Bragg grating pressure sensor [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2009, 20 (10): 1307-1309.
- [5] YIN Xiao-feng, JIANG Nuan, YANG Hua-yong, et al. A novel fiber grating pressure sensor with high sensitivity based on elastic sheet packaging [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2011, 22(5): 681-684.
- [6] 刘珍妮,谭晓兰,杨峻松. 一种硅微压阻式压力传感器的研究[J]. 机械设计与制造, 2012, 1: 103-105.
- [7] 游璞,于国萍. 光学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 86-88.
- [8] 魏怀鹏,展永. 大学物理实验[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.

- [9] 肖化, 漆建军. 利用线阵 CCD 的迈克尔逊干涉仪测量压电材料的压电系数[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(2): 25-27.
- [10] 翟宇豪, 马军. 基于 51 单片机的迈克尔逊干涉仪自动检测装置[J]. 电子世界, 2013, 9: 18.

- [11] 赵忠伟, 陈鹏, 孙中涛, 等. 迈克尔逊干涉环自动计数装置设计[J]. 光电技术应用, 2009, 24(6): 36-38.
- [12] 杨运升, 杜凯, 吴家根, 等. 迈克尔逊干涉仪条纹采集和波长测量装置设计[J]. 微型机与应用, 2013, 32(17): 14-18.

(上接第 51 页)

行解压缩、旋转和拼接, 如果每次都对接收的图像数据按照式(3)进行计算处理, 由于是浮点运算, 会浪费大量的计算时间, 会造成图像处理时间不够, 导致网络堵塞、图像数据无法得到及时更新。采用灰度值映射数组的方法, 可以解决上述问题。在程序初始化的时候直接定义一个灰度值映射数组, 保存每个灰度值经过式(3)计算后的灰度值, 在接收图像数据时, 直接通过灰度值映射数组得出增强后的灰度值, 经过试验, 这种方法几乎不占用处理时间, 经测试, 处理时间小于 1 ms。

经过增强处理后得到的全景图像缩放图如图 4 所示。图 4 中 144°~300°是由于距离太近造成图像成像不清晰。



图 4 增强处理后得到的全景图像缩放图

3 结论

全景图像与传统的二维图像相比, 有着独特的成像特点和数据格式, 这种技术从它的出现、研究、发展、应用再到普及, 都将给立体显示和图像领域

带来巨大的影响^[9]。设计了一种基于面阵 CCD 全景成像系统, 对相机采集到的图像采用低压缩比 JPEG 压缩技术, 图像成像质量好、失真小, 网络传输可靠; 计算机对接收到的图像进行解压缩和旋转处理; 采用灰度值映射数组方法对全景图像像素进行增强处理, 所需时间少, 满足全景图像增强的要求; 最后根据码盘刻度值转换的起始像素信息对图像数据进行全景拼接得到完整的 360°全景图像。该系统获得的图像质量好, 系统可靠性高, 可以应用于全景探测、小区监控等多种领域, 也可以采用红外凝视成像器件, 用于近距离告警, 具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000.
- [2] 肖潇, 杨国光. 全景成像技术的现状和进展[J]. 光学仪器, 2010: 84-89.
- [3] 徐正光, 田清, 张利欣. 图像拼接方法探讨[J]. 图像处理, 2006: 255-256.
- [4] 吴文明, 王应海. 基于面阵 CCD 的影像光度快速测试系统[J]. 光学与光电技术, 2005: 43-45.
- [5] 许学勇. CCD 的工作原理及应用现状[J]. 广播电视技术, 2007: 81-85.
- [6] 刘海波, 沈晶, 郭耸, 等. Visual C++ 数字图像处理技术详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [7] 赵景波, 荣盘祥, 周祥龙, 等. C++ Builder 6.0 应用程序设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [8] 葛一楠, 李智慧, 方宏, 等. 奇思异想编程 C++ Builder 篇[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [9] 韩卫芳, 高明. 车辆全景成像探测的快速目标拼接算法[J]. 价值工程, 2010: 201-204.