

Study of a Measurement System for Two-Dimensional Micro-Displacement

MA Jing-hua^{1,2}, GE Yun-jian¹, WU Zhong-cheng¹, MENG Ming^{1,2},
SHEN Chun-shan¹, SHEN fei¹, SHI Zhen¹

(1. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;
2. Dept. of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Micro-displacement measurement has already been applied in the accurate measurement field extensively and the key of it lies in the accurate localization and movement. The design of a measurement system based on strain gauge for two-dimensional micro-displacement is introduced. The components which include micro-displacement measurement sensor, circuits and software are represented. The experiment result shows that it can be utilized to measure two-dimensional micro-displacement on micron or nanometer level.

Key words: micro-displacement; strain gauge; MCU

EEACC:7210;7320C

一种二维微位移平台测量系统的研究

马静华^{1,2}, 葛运建¹, 吴仲城¹, 孟明^{1,2}, 沈春山¹, 申飞¹, 石振¹

(1. 科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031;
2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230026)

摘要: 微位移测量已经广泛应用于精密测量领域中, 实现微位移测量最关键的环节在于精确的定位和精细的运动。文章设计了一种基于应变方式进行二维微位移(纳米级)测量的系统, 详细阐述了该系统主要组成部分: 微位移检测传感器、处理电路及相关系统软件。实验结果表明该系统可以满足二维微(纳米级)测量的要求。

关键词: 微位移 应变式 微处理器

中图分类号: TP223; TH7

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2005)04-0739-03

微位移测量已经在精密测量、超精密加工、微型装配、纳米技术、基因工程的显微操作系统等方面显示了越来越重要的作用。而微位移测量实现关键的环节在于精确的定位和精细的运动, 因此设计定位精确, 高精度的微位移测量平台已经成为这些测量领域一个重要而艰巨的任务。

目前二维微位移测量的方法主要有: 采用杠杆与柔性铰链组合的二维微位移测量平台, 该平台通过激光干涉仪检测两组杠杆平行四边形机构的位移来实现二维微位移测量^[1]; 二维微位移测量柔性工

作台, 其柔性导向系统通过集成行进放大器推动多挠曲平行四边形实现定位, 其上配备的电容型位置反馈传感器在闭环状态下为定位提供了纳米级的分辨力^[2]; 以正交衍射光栅为计量标准器的二维微位移工作台, 通过测量光栅运动位移与所产生干涉条纹的相移之间的关系实现对微位移的测量^[3]等。国外在微位移测量方面的研究技术趋于成熟, 已经研制出高精度的微位移测量平台。但国内目前的二维微位移测量平台在实际应用中, 微位移机构的稳定性和定位的精确性上都有很大的局限性, 难以满足

收稿日期: 2005-01-18

作者简介: 马静华(1978-), 女, 博士生, 研究领域为智能传感器, 智能机器人, jhma@mail.ustc.edu.cn;

葛运建(1947-), 男, 研究员, 博士生导师, 研究领域为信息获取与处理, 机器人传感器。

多种测量领域的需要。本文提出的采用应变式传感器等构成的二维微位移测量平台,可在 $50\ \mu\text{m}$ 的全量程范围内进行精密的二维微位移测量,分辨率可达到 $1/5\ 000\ \text{FS} - 1/10\ 000\ \text{FS}$ 。具有体积小、集成度高、精确度高的优点,有利于提高整个微位移测量平台的精度、实用性和经济性。

1 测量系统结构

二维微位移平台测量系统主要包括微位移检测传感器、处理电路以及相关系统软件三个组成部分。其 X、Y 全量程均为 $50\ \mu\text{m}$ (即 $\pm 25\ \mu\text{m}$),设计分辨率为 $1/5\ 000\ \text{FS} - 1/10\ 000\ \text{FS}$ 。原理框图如图 1 所示。

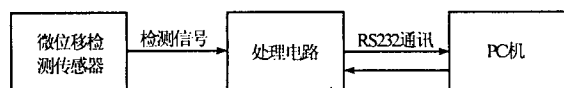


图1 二维微位移平台测量系统原理框图

其中,微位移检测传感器主要由弹性体和敏感元件构成。敏感元件粘贴在弹性体上,当弹性体产生位移时,由敏感元件组成的两路惠斯通电桥将分别对 X、Y 方向位移进行精确的微纳米级测量。它的输出信号传送到电路系统中进行处理。

处理电路主要由基于片上系统的微处理器 MSC1210^[4]组成。MSC1210 为美国德州仪器公司新近推出的一款增强型微处理器,附带多个增强功能,集成度高。微位移检测传感器的检测信号经电路处理后,其输出的数字信号经 RS232 串口与 PC 机通讯。

系统软件包括微处理器程序和上位机程序。微处理器程序实现二维微位移测量信号的采样和处理。上位机软件是用高级语言设计而成的,它可实现的功能有:对微处理器的参数进行设置;通过 RS232 串口与硬件系统输出的数字信号进行通讯。

2 位移检测原理与有限元分析

我们设计的二维微位移平台微位移检测传感器由弹性体和敏感元件组成。如图 2 所示,弹性体由底座、上圆环、下圆环和应变梁构成,实现 X、Y 方向位移测量的应变梁分布于上圆环与下圆环之间、下圆环与底座之间,数量各为四根。上面一组应变梁用于 Y 方向位移的测量,下面一组用于 X 方向位移的测量。应变梁的宽度和厚度分别为 $3.5\ \text{mm}$ 和 $1\ \text{mm}$,厚度方向和测量方向一致。敏感元件为箔式应变片,应变片粘贴在应变梁上,组成一个惠斯通电桥。通过标定,可以得到电桥输出电压和位移之间

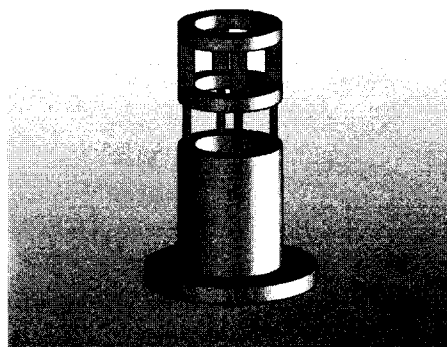
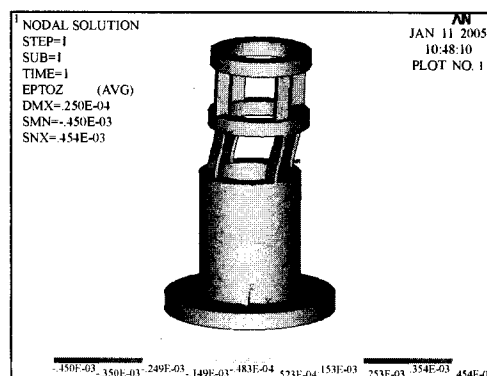


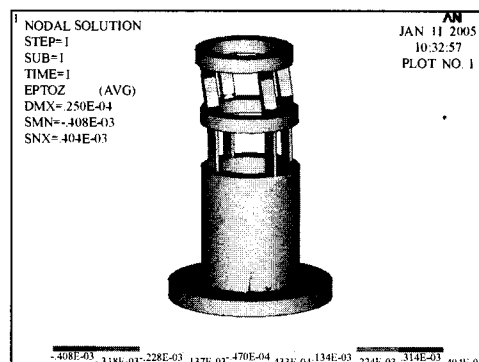
图2 微位移检测传感器结构示意图

的关系。根据此关系式,即可由输出电压测得位移的大小。代表 X、Y 方向位移信息的两路输出电压通过电路处理,传送到上位机中,为后续处理提供有效的实时传感反馈。

采用有限元方法对该系统进行分析,可得到不同方向位移载荷作用下弹性体的变形和应变梁上的应变分布,为传感器的设计和特性分析提供依据。图 3(a)、(b)是微位移检测传感器分别在 X、Y 正方向位移满量程载荷作用下时产生的变形和 Z 方向应变分布。



(a) X 方向位移应变分布



(b) Y 方向位移应变分布

图3 微位移检测传感器的有限元分析

从图 3(a)、(b)可以看出,在 X 方向位移作用下,主要是下面一组应变梁发生变形,产生较大的应变,反之在 Y 方向位移作用下,主要是上面一组应

变梁发生变形。同时,有限元分析显示在应变梁的这种变形情况下,Z方向(沿应变梁长度方向)的应变明显大于X和Y方向的应变,所以应变片沿Z方向粘贴以测量Z方向应变。其次,应变梁的下端和上端分别为应变正负最大的区域,在这些位置放置应变片,能够在同样的条件下产生较大的输出。

在X方向位移作用下,下应变梁在应变片的应变栅区域的节点平均应变为 $365.86 \mu\epsilon$,而上应变梁为 $0.41 \mu\epsilon$ 。在Y方向位移作用下,上应变梁在应变片的应变栅区域的节点平均应变为 $370.29 \mu\epsilon$,而下应变梁为 $0.93 \mu\epsilon$ 。这表明传感器对X、Y方向位移的应变耦合很小,因而,微位移检测传感器在X、Y方向的测量将具有较高的准确性。

从 $0 \sim 25 \mu\text{m}$ 以 $5 \mu\text{m}$ 为间隔施加位移载荷进行有限元计算,X、Y方向位移载荷作用下弹性体的最大应变曲线如图4所示(450,408)。分析结果表明传感器结构具有很好的输入输出线性关系。

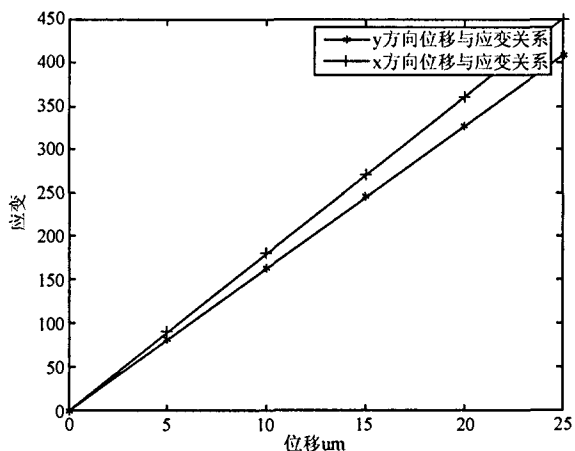


图4 X、Y方向位移载荷作用下弹性体的最大应变曲线图

3 处理电路设计

二维微位移平台测量系统的处理电路由电源模块、信号调理模块、电源监控模块、信号处理模块、通讯模块组成。其原理框图如图5所示。

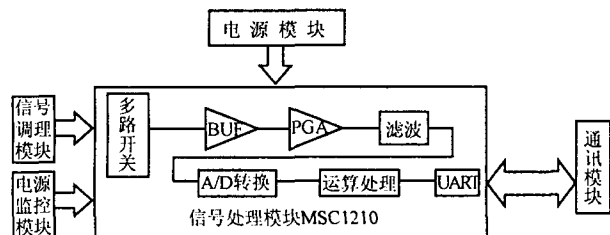


图5 处理电路原理框图

电源模块对整个系统进行供电,数字地与模拟地分离,在一点相连,减少了外界以及数字电路对模

拟电路部分的干扰。电源监控模块对信号处理模块MSC1210的工作电压进行监控,一旦MSC1210的工作电压低于复位阈值电压,电源监控模块将帮助其复位,从而保证了工作电压的可靠性。

信号处理模块MSC1210是一种基于片上系统的微处理器,运算速度快、精度高、功耗低,附带多个增强功能,集成度高。MSC1210具有高达24位无丢失码A/D转换,在10 Hz采样频率下转换可得到22位有效转换结果,精度高。采样值在进行信号调理后进入MSC1210,经多路开关、BUF、PGA、滤波、ADC及运算处理后,数字信号通过UART传送到通讯模块,经转换,与PC机的RS232串口进行通讯。当MSC1210的PSEN脚拉低时,这一接口还可用于下载程序。

4 软件设计

软件设计包括微处理器(下位机)的程序设计和上位机的程序设计。其中,微处理器的程序是用Keil C51编译器在uVision2的环境中编写而成的。下位机程序流程框图如图6所示。首先,对RS232串口和MSC1210进行初始化,并接受PC机的初始化信息。当PC机启动控制后,ADC开始工作,判断ADC是否达到稳定工作的条件,如果满足则选择下一通道继续进行采样。MSC1210采用的是高精度的Delta-Sigma ADC,它具有精度高、线性好、动态范围高和防混淆要求低等优点^[5]。

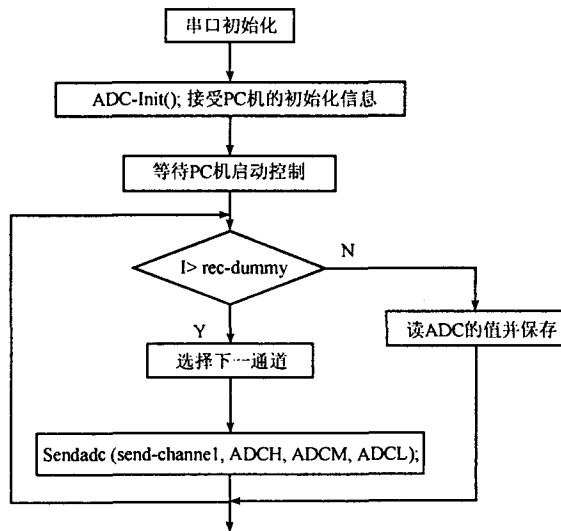


图6 下位机程序流程框图

上位机程序主要负责MSC1210的参数设置及与硬件系统进行通讯。可选的参数有滤波器型号、时钟ACLK、抽样值、模拟开关延时、抛弃采样周期数、放大倍数、以及是否用缓冲等。这些设置主

(下转第744页)

2 检测用户软件界面设计

本研究编制的系统软件用 VC++6.0 编写. 根据功能划分, 系统可分为文件模块, 用于打开图像和保存处理结果. 图像采集模块完成用 CCD 摄像头采集水稻种子图像的过程, 并把位图以 DIB 格式存到硬盘上. 图像低层处理模块包括图像增强, 图像分割, 空间转换, 边缘检测, 边缘细化. 特征提取模块, 该模块包括颜色特征模块和形态特征模块组成. 网络训练模块用于神经网络的权值训练. 结果输出模块把判断出的结果显示到屏幕上. 如图 4:

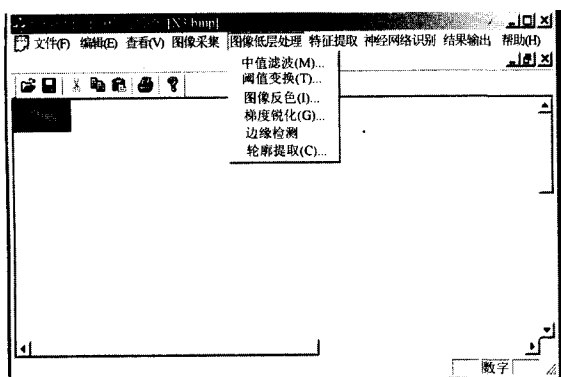


图 4 软件界面

(上接第 741 页)

要通过控制寄存器 ADMUX、ACLK、ADCON0~ADCON2 进行。其中, ADC 的参数选择问题将会直接影响它的分辨率, 用户可根据实际的需要选择 ADC 的初始化信息, 直到满意为止。通过上位机与处理电路进行通讯, 可对处理电路输出的数字信号进行实时的采样和处理。

5 实验验证

采用高精度的标定装置对二维微位移平台测量系统进行实验。对 X、Y 方向分别进行全量程测量, 通过上位机可以看到实验的结果。实验表明, 采样数据稳定性好, ADC 的实际有效分辨率可高达 16 位, 完全满足分辨率为 1/5 000 FS~1/10 000 FS 的要求。通过反复实验, 分辨率为:

$$\begin{aligned} -X: & -25 \mu\text{m}/3364.3 = -7.4 \text{ nm} \\ +X: & 25 \mu\text{m}/3320.1 = 7.5 \text{ nm} \\ -Y: & -25 \mu\text{m}/3025.7 = -8.3 \text{ nm} \\ +Y: & 25 \mu\text{m}/3038.2 = 8.2 \text{ nm} \end{aligned}$$

应变式二维微位移平台测量系统可以实现二维的微纳米级测量。

3 结束语

本研究提出一种检测杂交水稻种子的新方法并设计了快速自动化检测硬件和软件系统, 突破了常规检测方法的高成本、低效率, 对操作人员专业要求高的局限性。本文研究为机器视觉技术对农作物种子快速无损检测提供理论基础和应用价值。

参考文献:

- [1] 刘燕德, 应义斌, 成芳等. 机器视觉技术在种子纯度检验中的应用. 农业机械学报 2003, 34(5): 161-163.
- [2] 刘桃菊, 唐建军, 戚昌瀚. 水稻形态的分形特征及其可视化模拟研究. 江西农业大学学报, 2002, 24(5): 583-586.
- [3] 李木英, 潘晓华, 石庆华. 两系杂交稻穗部解剖特征及其与结实关系的研究. 江西农业大学学报, 2000, 22(2): 148-151.
- [4] 孙政荣. 基于数字图像处理技术实现陶瓷片在线动态检测的方法研究. 传感技术学报 2005, 18(1): 70-73.

6 结束语

微位移技术在精密测试中具有非常重要的作用。本文介绍了一种基于应变方式进行二维微/纳米级位移测量的二维微位移平台测量系统, 它能够应用到多种精密测试的场合中, 结构简洁, 操作方便, 具有体积小、集成度高、精确度高的优点, 为我国研制具有自主知识产权的微纳操作平台奠定了基础。在后续的研究中, 我们将对其进一步改进, 使其成为更经济实用的二维微位移测量装置。

参考文献:

- [1] 张庆, 王华坤, 张世琪. 二维微动工作台微位移机构特性研究[J]. 制造技术与机床, 2003(11): 44-46.
- [2] 崔岩梅, 周自力, 曹航. 纳米级二维微位移工作台的参数测试[J]. 光学技术, 2002(9): 447-448, 451.
- [3] 王选择, 郭军, 谢铁邦. 以正交衍射光栅为计量标准器的二维微位移工作台[J]. 光学精密工程, 2003(10): 492-496.
- [4] Precision Analog-to-Digital Converter with 8051 Microcontroller and Flash Memory[M]. Texas Instruments Incorporated. 2002.
- [5] Robert Schreiber. 高精度模数转换器架构权衡[J]. 今日电子, 2002(11): 13-14.