

光纤触发式测头及其性能测试研究

韩 欣,林家春*

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院,北京 100124)

摘要:为解决三坐标测量机等精密仪器在被测工件表面数据点的采样问题,将光电技术和数字信号处理(DSP)技术应用到光纤触发式测头的研制中。分析了光纤触发式测头的工作原理;当光束照射到球的表面,随意入射角的变化,耦合入分布在发射光纤周围接收光纤的光强也会发生变化,基于这一现象,在接收光纤末端利用硅 PIN 光电二极管将光强的变化转化为电信号,在信号预处理之后,进行了多路信号模数转换;然后,利用 DSP 对采集到的多路信号进行运算处理,当运算结果达到设定阈值时发出触发脉冲信号;最后,通过实验对测头的预行程变动量和单向重复性精度进行了测试,实验测定该测头的预行程变动量为 $0.97\ \mu\text{m}$,单向重复性精度为 $0.42\ \mu\text{m}$ 。研究表明,该光纤触发式测头具有一定的实用性。

关键词:光纤测头;光电转换;数字信号处理

中图分类号:TH741

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0799-04

An optical fiber trigger probe and its performance test

HAN Xin, LIN Jia-chun

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In order to solve the problem of the workpiece surface data point sampling of coordinate measuring machine and other precise instruments, the photoelectric technology and digital signal processing(DSP) technology were utilized to develop an optical fiber trigger probe. After the analysis of working principle of an optical fiber trigger probe, it was found that when the light beam was irradiated to the surface of the ball, the light intensity coupled into the receiving optical fibers distributed around the launching optical fiber was changed under the incident angle changed. Based on this phenomenon, a silicon PIN photodiode was adapted to transfer light intensity variation into electrical signal at the end of the receiving optical fibers. After the signal preprocessing, multiple signals' analog-to-digital conversion was conducted; then DSP was used to process the acquired signals, and a trigger pulse signal was sent out when operational results reached a threshold. Finally experiments were designed to test the pre-displacement and the unidirectional repeatability. Experiments indicate that the pre-displacement is $0.97\ \mu\text{m}$, and the unidirectional repeatability is $0.42\ \mu\text{m}$. The experimental results show that the probe is practical for measuring machines.

Key words: optical fiber probe; photoelectric conversion; digital signal processing(DSP)

0 引 言

测头是三坐标测量机等精密仪器的核心部件,直接关系到测量任务的实现和最终的测量精度。其发展水平直接影响着精密量仪的测量精度、工作性能、使用效率和柔性程度^[1]。测头可分为触发式和扫描式,当前应用最为广泛的是触发式测头^[2]。现有的触发式测头采用的原理主要包括电子机械开关触发、压电式触发、应变片式触发等方式。

Takaaki Oiwa 等提出了一个微型三维接触式触发测头^[3],当测球接触试件时,3束外围反射光纤束接收反射回来的光分布就会发生变化,从而通过3个光电探测器进行转换并送给PC机处理。日本大阪大学机械工程学科小组通过单根光纤成功的实现了光学捕获绝缘微球体^[4],这个绝缘微球体被用作接触探针。该项技术目前主要应用于生物学领域;H Ji等^[5]专家针对纳米坐标测量机,开发出集成有布拉格光栅应变传感器的接触式光纤测头。该光纤测头采用的是光纤熔融球,当测头尖端接触到元件表面,测杆将产生一个应

收稿日期:2011-12-09

作者简介:韩 欣(1985-),男,湖北襄阳人,主要从事光电技术与硬件电路方面的研究. E-mail: xinhan19@126.com

通信联系人:林家春,男,副教授,硕士生导师. E-mail: linjc@bjut.edu.cn

力,从而使得布拉格波长产生变化,根据波长的变化发出触发信号,但该测头横向的灵敏度不强。

本研究探索一种采用光强触发的测头,并采用多根多模光纤制成一个光纤测头系统。

1 光纤测头的原理

本研究采用的光纤束系统由发射光纤和接收光纤按一定排列方式组合而成^[6]。光纤测头的结构如图 1 所示,该光纤束系统采用同心分布,中心为发射光纤,四周为接收光纤。该结构在一定程度上可减小传统测头结构造成的各向异性,有助于提高测头的探测重复性。

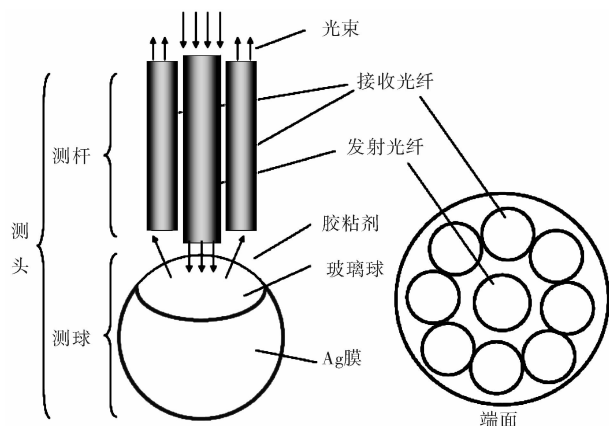


图 1 光纤测头的结构

测头采用多模光纤,数值孔径大,能从光源耦合入更多的光功率。发射光纤与测球的尖端用无影胶粘接,不会影响光的正常传播。玻璃微珠选用 K9 玻璃,通过离子束复合镀膜机将银层均匀地镀在 K9 玻璃球的外表面上。

光线从发射光纤端面射出后进入玻璃球,在银层部分发生反射,最终穿过玻璃球的未镀银部分后耦合进接收光纤。测球与被测试件未接触时,发射光纤与测球的中心轴重合;当测球与被测试件接触时,产生的外力使测球产生微小的偏移量,此时发射光纤与测球的中心轴不再重合,反射光线的分布和光斑面均发生变化,从而导致光强改变,经光电转换、A/D 采样与分析后产生触发信号。

2 光纤测头的设计

光纤测头系统的整体结构如图 2 所示。该系统主要由光源、光纤测头、夹持台架、纳米定位平台、光电转换元件、信号处理系统 6 部分组成。其中,夹持台架用来固定光纤测头。整个系统工作过程为:光源发出的光束进入发射光纤,出射光进入玻璃球,遇到银层发生反射,从玻璃球的未镀银部分射出。外围光纤束接收

到反射光信号,另一端的每一路通过硅 PIN 光电二极管将微弱的光信号转换成电信号,用集成运算放大器放大,经过模数转换芯片 AD7656 转换成数字信号后送给数字信号处理器(DSP)进行数据处理。

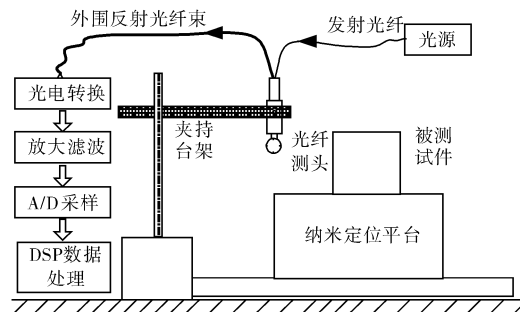


图 2 系统装置总体结构图

2.1 光电转换与前置放大电路的设计

本研究选用波长范围 400 nm ~ 1 100 nm、高灵敏度的硅 PIN 光电二极管 BPW34 作为光电转换元件。其响应时间仅为 20 ns,而且具有线性好、温度稳定性强和成本低等特点,广泛应用于光电断路器、工业电子、红外遥感器、控制与驱动电路中。

由于光纤传输的光功率较小,经过硅 PIN 光电二极管转换后得到的模拟电压信号只有零点几伏,本研究需要通过集成运算放大器进行放大。

本研究采用低噪声、高精度、非斩波稳零的双极性运算放大器 OP07 来实现前置放大。直流放大器 OP07 的低失调电压漂移仅为 0.5 μV/℃,同时具有输入偏置电流低、开环增益高的优点。放大电路采用电压串联负反馈型,增益为:

$$A_{uf} = -\frac{R_F}{R_1} \quad (1)$$

式中: R_F —可调反馈电阻, R_1 —反相输入端电阻。

硅 PIN 光电二极管和 IC 放大器的连接如图 3 所示。

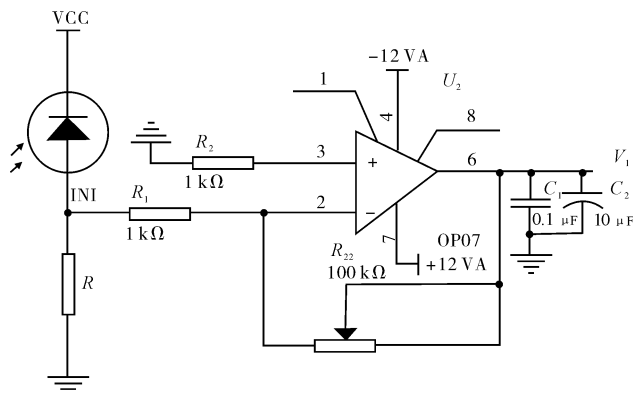


图 3 硅 PIN 光电二极管前置放大电路

模拟信号经集成运算放大器放大后,必须经过滤波才能送入模数转换芯片。放大电路的噪声主要由光

电探测器噪声和放大器噪声两部分组成^[7]。由于是直流信号,本研究采用 0.1 μF 的无极性电容和 10 μF 的有极性电容组合滤波。

2.2 A/D 转换与信号处理

针对 6 路信号,本研究采用 ADI 公司的 250 KSPS、6 通道、同步采样的双极性 16 位 A/D 转换器 AD7656。AD7656 内置 6 个 SAR ADC、6 个采样保持放大器、1 个 2.5 V 片上基准电压、基准电压缓冲和高速串行并行接口^[8]。

DSP 芯片选用 TI 公司的 TMS320F2812,该芯片采用 32 位高性能的静态 CMOS 技术,最高主频为 150 MHz(时钟周期 6.67 ns)。它不仅具有高性能 32 位处理器、快速中断响应和处理能力,而且具有功耗低与片内、片外存储空间大等特点。

2.3 数据处理流程

软件开发环境采用的是 DSP 集成开发环境 CC Studio3.3。基于 TMS320F28x 系列 DSP 的开发环境提供有优化的 C 编译器,采用 DSP C 语言编程,提高了系统运行效率,缩短了开发周期^[9]。数据处理如图 4 所示。

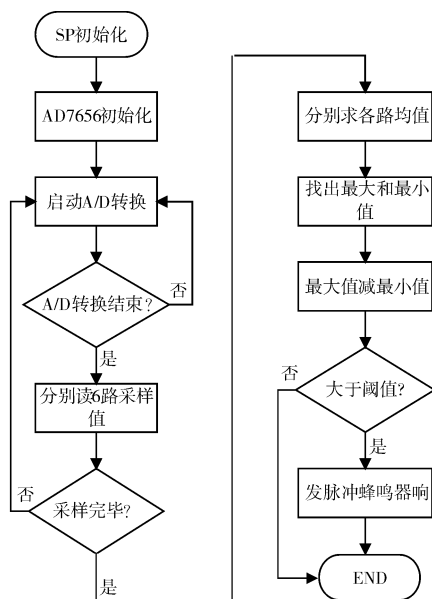


图4 软件处理流程

3 实验与分析

为验证本研究研制的光纤触发测头系统的综合性能,笔者进行了测头预行程变动量与单向重复性精度两项实验。

3.1 预行程变动量

预行程是从测球接触被测试件到测头发出触发信号这段时间测球的偏移量。预行程变动量是最大预行程与最小预行程的差值。

首先本研究将测头垂直固定在台架上(如图3所示),启动纳米定位平台,使固定在平台上的试件以步长50 nm移向测头,记录试件接触测头到发出触发信号时的测端位移量。接着停止定位平台进给,并将试件退回到非接触的状态,然后使测头绕其轴线以 30° 为间隔旋转一次,重复上述测量步骤,记录一个圆周 360° 内的 12 个位移值。求得的最大位移量与最小位移量间的差值为预行程变动量。预行程的分布情况如图5所示。由图5可知预行程变动量为 0.97 μm 。

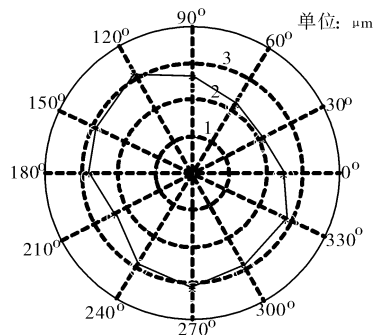


图5 预行程的分布情况

3.2 单向重复性精度

重复性表示测头每次在同一点触发的性能^[10]。首先本研究将测头固定在台架上,使其处于工作状态,启动纳米定位平台,使固定在平台上的试件以步长50 nm靠近测头,记录试件接触测头到发出触发信号时的测端位移量。停止定位平台进给,并将试件退回到非接触的状态。一共触测6次,记录每次触发位置和接触位置间的距离。接着根据标准差公式计算距离均方根误差 σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中: l_i 一位移值, $\bar{x}$ 一位移均值, n 一测量次数。

然后,本研究将测头绕其轴线以 60° 为间隔旋转一次,重复上述测量步骤,记录一个圆周 360° 内的 6 组数据,如表1所示。最后取 6 个 2σ 值中的最大值作为单向重复性精度,即测头的单向重复性精度为 0.42 μm 。

表1 测头各向重复性精度(单位: μm)

角度	次数						$\bar{x}$	2σ
	1	2	3	4	5	6		
0°	2.403	2.194	2.075	2.613	2.119	2.157	2.260	0.414
60°	2.216	2.320	2.244	2.201	2.021	2.402	2.234	0.258
120°	3.006	2.859	2.990	3.013	2.792	2.803	2.910	0.208
180°	2.878	2.745	3.001	3.021	2.499	2.748	2.815	0.390
240°	2.917	3.017	2.913	2.851	3.028	2.159	2.864	0.420
300°	2.945	2.455	2.779	2.539	2.715	2.832	2.710	0.368

3.3 系统误差分析

光纤触发测头系统产生误差的原因主要有两方面:粘接工艺和接收光纤束的结构。图 1 中使用的粘结剂特性的好坏不仅影响光线的传播路径、发射光纤的中心轴与测球中心轴的重合性,同时也影响测头性能;另外光纤测头的测端由中心的发射光纤和周围的接收光纤束构成,如果外围接收光纤未均匀分布,则不能较好地接收光束,会给检测结果带来较大的误差。

4 结束语

本研究提出的光纤测头将光电技术与数字信号处理技术相结合,利用光纤进行光的传输,不易受外界干扰。该系统采用硅 PIN 光电二极管作为光电转换元件,TMS320F2812 为数据处理芯片,具有结构简单、反应灵敏、运算能力强等优点。

对测头预行程变动量和单向重复性精度的测试结果表明,该光纤触发式测头的设计原理正确,所提出的实施方案可行。但由于该光纤测头制作和粘接工艺上的原因,精度还有待于进一步提高。

参考文献 (References):

- [1] 石照耀,韦志会.精密测头技术的演变与发展趋势[J].工具技术,2007,41(2):3-8.
- [2] WECKENMANN A,PEGGS G,HOFFMANN J. Probing sys-

tems for dimensional micro-and nano-metrology[J]. **Measurement science and Technology**, 2006,17(3):504-509.

- [3] OIWA T, TANAKA T. Miniaturized three-dimensional touch trigger probe using optical fibre bundle[J]. **Measurement Science and Technology**, 2005,16(8):1574-1580.
- [4] EOM S I, TAKAYA Y, HAYASHI T. Novel contact probing method using single fiber optical trapping probe[J]. **Precision Engineering**, 2009,33(2):235-242.
- [5] JI H, HSU H Y, KONG L X, et al. Development of a contact probe incorporating a Bragg grating strain sensor for nano coordinate measuring machines[J]. **Measurement Science and Technology**, 2009,20(9):1-7.
- [6] 蔡铁珩,向大超,石照耀,等.接触式光纤测头装置:中国,201413124[P].2010-02-24.
- [7] 胡涛,司汉英.光电探测器前置放大电路设计与研究[J].光电技术应用,2010,25(1):52-55.
- [8] 周满平,林家春,张斌,等.基于 DSP 的光纤测头信号采集与处理系统设计[J].机电工程,2011,28(4):265-266.
- [9] RONGEN H, HADAMSCHEK V, SCHIEK M. Real time data acquisition and online signal processing for magnetoencephalography[J]. **IEEE Transactions on Nuclear Science**, 2006,53(3):704-708.
- [10] 海克斯康测量技术公司.实用坐标测量技术[M].北京:化学工业出版社,2007:70-71.

[编辑:张翔]

(上接第 798 页)

4 结束语

本研究在分析电感式位移传感器工作原理的基础上,建立了其输出电压与铁芯轴向位移量数学模型,运用 Matlab 仿真软件进行了仿真与分析。结果表明:在其他参数一定的情况下,线圈半径 r 与线圈匝数 N 分别为定值、依次改变线圈匝数 N 与线圈半径 r 时,存在一个铁芯位移 x 线性工作极限范围,即 $x \leq |\delta_{\max}|$ 时,传感器输出特性近似成线性关系,线性度好。当铁芯位移大于某一区间范围,即 $x \geq |\delta_{\max}|$ 时,传感器输出特性为非线性关系,线性度差;铁芯位移存在一个最佳工作范围 $x \leq |\delta_{\max}|$,当 x 增大时,传感器输出线性度相对误差 $\Delta(\%)$ 也呈增大趋势。因此传感器工作量程应选择 $x \leq |\delta_{\max}|$ 良好的线性范围以内。

参考文献 (References):

- [1] POPA P D, REZLESCU N, ANGHELACHE R. Inductive sensor for slow varying magnetic fields[J]. **Sensors and**

Actuators:Physical, 1997,59(1-3):219-221.

- [2] SYDENHAM P H, TAING V, MOUNSEY D J, et al. Low-cost, precision, flat inductive sensor[J]. **Measurement**, 1995,15(3):179-188.
- [3] 孔宪光,刘萍,殷磊,等.差动变压器式位移传感器参数化仿真技术研究[J].仪器仪表学报,2009,30(12):2562-2567.
- [4] VOLDER M D, COOSEMANS J, PUERS R, et al. Characterization and control of a pneumatic microactuator with an integrated inductive position sensor[J]. **Sensors and Actuators A**, 2008(141):192-200.
- [5] 谭六喜,杨曙年.螺管线圈传感器线性范围研究[J].传感器技术,2004,23(8):15-17.
- [6] 李永清,李振波,申安安,等.高可靠直线位移传感器[J].仪表技术与传感器,2007(12):12-13.
- [7] 林优礼.电桥电路传感器线性化指示电路的设计[J].机电工程技术,2010,39(1):54-56.
- [8] 单成祥.传感器的理论与设计基础及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999:192-193.

[编辑:张翔]