

单频激光干涉测长误差分析系统研究

丁雪萌¹, 吕明晗¹, 王超群^{1,2}, 张连生¹, 程荣俊¹, 黄强先¹

¹合肥工业大学仪器科学与光电工程学院; ²合肥工业大学电子科学与应用物理学院

摘要: 单频激光干涉仪具有信号处理过程简单、易于集成、系统结构简单等特点。基于迈克尔逊干涉基本原理和海德曼椭圆拟合修正方法,提出了一种新型的非线性误差计算方法,设计了对位移非线性误差进行检测和分析的系统。该系统可以分离测量系统的非线性误差,并在改变测量条件时精确观察非线性误差的变化情况,为测量系统非线性误差的补偿提供借鉴。

关键词: 干涉测量;位移计算;非线性误差;误差分析

中图分类号: TC88;TH711

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2021.11.022

Research on Error Analysis System of Length Measurement by Hono-frequency Laser Interference

Ding Xuemeng, Lv Minghan, Wang Chaoqun, Zhang Liansheng, Cheng Rongjun, Huang Qiangxian

Abstract: Homodyne interferometer has the characteristics of simple signal processing, easy integration and simple system structure. Based on Michelson interference principle and Heydemann ellipse fitting correction method, a new non-linear error calculation method is proposed in this paper. A system for detecting and analyzing displacement nonlinear error is designed. The system can separate the non-linear error of the measurement system, and when the measurement conditions are changed, the change of the non-linear error can be observed accurately. This system provides a basis for the compensation of non-linear error of measurement system.

Keywords: interferometry; length measurement; non-linear error; error analysis

1 引言

位移是国际单位制中的7个基本物理量之一,也是航天、雷达等高精尖领域最重要的计量单位。激光干涉仪是目前位移测量的重要方法,且由于激光具有非接触和溯源性强的特点,激光干涉测量被广泛应用于现代工业的各个方面^[1]。理想的激光干涉仪产生的干涉信号经过光电转换电路处理后,得到的输出信号应是等幅值,相位正交,并且没有直流偏置的两路相差90°的标准正余弦信号。由于光学元件自身的性能不理想以及位置调节不佳,会引起测量系统的非线性误差,包括直流偏置误差、不等幅误差以及非正交误差,简称“三差”^[2]。为了提高激光干涉测长的精度,需要先分析非线性误差,得到非线性误差产生的原因以及影响因素,从而对非线性误差的补偿提供理论基础,使非线性误差补偿有理可依。

2 实验原理

2.1 光路基本原理

图1为光路原理。取光束传播方向作为Z轴,

建立XYZ直角坐标系。X轴在纸面内始终与光束垂直,Y轴垂直纸面,X轴、Y轴、Z轴形成右手螺旋。分光部分由偏振分光棱镜和两个1/4波片组成,探测部分由消偏振分光棱镜、1/4波片、1/2波片、偏振分光棱镜以及4个光电探测器组成。光源经过光路后形成四路两两相差90°的干涉信号,并被4个光电探测器接收^[3]。

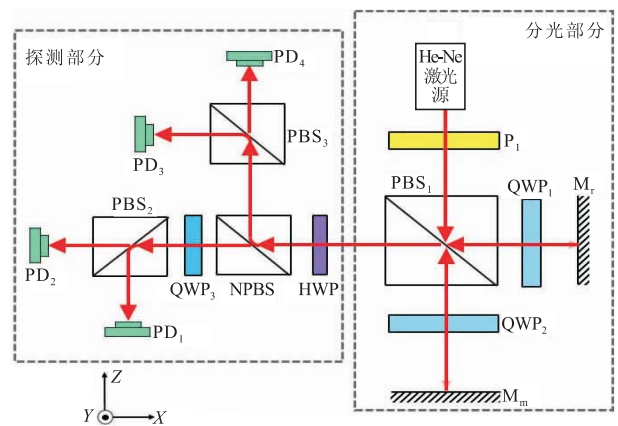


图1 光路原理

2.2 系统位移检测原理

当测量镜移动时,各参数之间的关系为

$$\varphi = \frac{2L}{\lambda} 2\pi \Rightarrow L = \frac{\lambda}{4\pi} \varphi \quad (1)$$

式中, φ 为测量光和参考光的相位差; L 为测量镜移动的位移; λ 为波长。

位移 L 需要先求得 φ 值, 而 φ 可由四路两两相差 90° 的干涉信号的光强变化经过光电转换、放大、差分电路以软件细分计算获得^[4]。

2.3 系统非线性误差检测原理

在激光干涉测长系统中, 若四路干涉信号为完美无误差的信号, 则 L 与 φ 的关系曲线应为图 2 中虚线所示。但由于光学元件制造不理想和调节不完美, 或因环境影响产生非线性误差, 导致实际的测量值为曲线, 该曲线中包含“三差”。海德曼最小二乘椭圆拟合可拟合“三差”对应的椭圆参数, 利用拟合参数将测量值进行补偿, 得到拟合值。将拟合后的值作为真值, 此时的非线性误差 ΔL 可表示为测量值 L 与拟合值 L' 之差, 即

$$\Delta L = L - L' \quad (2)$$

此时可求得非线性误差曲线。对该曲线进行频率、幅值以及相位的分析, 即可得到非线性误差的信息^[5-7]。

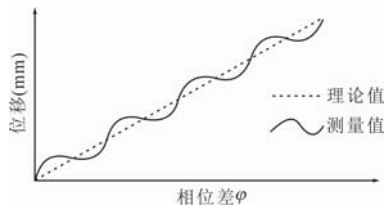


图2 位移曲线对比

3 实验结果及分析

3.1 LabVIEW 测量软件的实现

采用 LabVIEW 编写数据采集程序、最小二乘椭圆拟合程序、计算位移程序、判断位移增大或减小区间程序和分析非线性误差程序。为便于观察波片调整后非线性误差的实时变化情况, 在程序中加入循环, 即在采集程序不间断的情况下, 将误差分析程序设置为每隔 1min 运行一次, 使程序接近实时测量。

3.2 位移计算实验

采用电荷放大电路驱动压电陶瓷产生位移, 带动测量镜移动。信号发生器提供频率为 20Hz 不同幅值的三角波对应的位移值, 周期以及干涉条纹明暗变化的频率见表 1。

信号频率为 20Hz, 表示 1s 有 20 个位移周期, 1 个位移周期即为 0.05s (50ms), 位移增大或减小的时间间隔为 25ms。而 1 个位移在增减的过程中, 含有的光路周期数为 N , 则 1 个光路周期的时间 t 为

$$t = \frac{25}{N} \quad (3)$$

此时光路中干涉条纹明暗变化的频率 $f = \frac{1}{t}$ 。

表 1 电压、位移与频率

电压(V)	位移(nm)	周期	频率(Hz)
3	428.1434	1.3532	54.127
4	566.2867	1.7898	71.591
5	714.3052	2.2576	90.304
6	860.6023	2.7200	108.799
7	1031.5589	3.2603	130.405
8	1191.9224	3.7671	150.686
9	1364.4240	4.3123	172.494

3.3 非线性误差计算与分析实验

将测得的位移值进行最小二乘椭圆拟合计算, 用测量值减去拟合值得到非线性误差值, 再利用 LabVIEW 提取单频信息 VI, 对非线性误差值进行分析, 可得到非线性误差的频率、幅值以及初相位。图 3 为位移非线性误差。

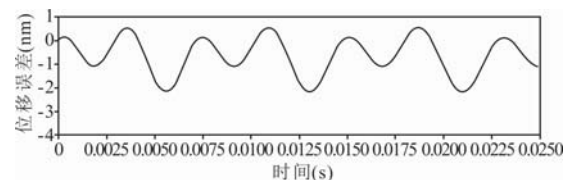


图3 位移非线性误差

表 2 为提供 7V 电压多次测量的非线性误差分析结果, 对比分析表 2 所列的频率与表 1 中计算的频率。通过多次测量数据可发现, 该非线性误差曲线中主要包含两种频率的周期信号, 一种为频率与光路干涉条纹明暗变化频率相同的误差信号, 称为单倍频误差 (Single frequency); 另一种为频率是干涉条纹明暗变化频率二倍的误差信号, 称为二倍频误差 (Double frequency)。其中直流偏置影响的是单倍频误差变化, 不等幅与非正交影响的是二倍频误差变化。经过误差分析程序, 可以分离单倍频误差和二倍频误差的变化分离, 由此可以进一步寻找“三差”与误差源的联系, 为后期补偿非线性误差提供依据。

表 2 非线性误差分析表

序号	单倍频频率 (Hz)	幅值 (nm)	二倍频频率 (Hz)	幅值 (nm)
1	130.2147	0.7608	262.9194	0.8734
2	130.1391	0.7225	262.9407	0.8722
3	133.3553	0.2984	260.9142	0.8501
4	131.7524	1.1457	263.5304	0.9622
5	130.4261	0.9124	262.4038	0.9495
6	129.9450	0.5564	261.1442	0.9024

4 结语

以 LabVIEW 为软件开发平台搭建了一个激光偏振干涉系统非线性误差测量及分析的系统, 实现

柔性生产线上双目视觉定位技术

熊晓松¹, 段伟², 周丽红¹

¹ 武汉科技大学城市学院; ² 武汉科技大学

摘要: 在柔性生产制造过程中应用机器视觉对工作区零件进行位置定位, 零件高度会导致定位产生较大的绝对误差。提出双目视觉定位误差修正技术, 利用一个视觉对工作区的图像进行采集和处理, 甄别出零件的粗定位坐标, 利用另一个视觉对零件的高度进行检测; 根据检测的高度对零件坐标纠偏。通过实验验证了设计的实用性, 双目视觉坐标修正方法简单可行, 精度较高。

关键词: 双目视觉; 图像处理; 误差分析; 定位

中图分类号: TP242; TH65

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2021.11.023

Binocular Visual Positioning Technology in Flexible Manufacture Line

Xiong Xiaosong, Duan Wei, Zhou Lihong

Abstract: The machine vision can detect the position of parts in the flexible manufacturing process, and the part height can lead to large absolute error in position. The technology of the binocular vision to correct position error is used, one camera collects and processes the images and then identifies the rough positioning coordinates of the parts, and the other camera detects the height of the parts and rectifies the coordinates according to the height of the target. The results of the experiment show that the method of binocular vision has high practicability, and the method of binocular vision coordinate correction is simple and accurate.

Keywords: binocular vision; image processing; error analysis; position

1 引言

为满足市场需求, 柔性生产需要在一个生产区完成多品种、小批量的零件生产, 因此越来越多的

操作要由机器人完成。在生产加工过程中, 机器人需要获知零件在工作区内较为精确的位置坐标, 以便机器手臂准确地抓取零件, 所以实时获得较为精确的零件中心位置是机器视觉研究的一项重要工作。视觉传感器利用光学元件和成像装置获取外部环境图像信息, 图像信息经过分析处理既可用于检验、计量、测量等, 也可广泛应用于在机器人引导、工业

基金项目: 湖北省自然科学基金(2019CFB82); 院级教研项目(2019CYYBJY015)

收稿日期: 2021年3月

了位移测量的功能、测量系统非线性误差的检测与分析的功能。该系统的成功搭建可为后续调节光路进行非线性误差的补偿提供基础与依据。

参考文献

- [1] Liu T, Liu Z, Zhang G Y, et al. A laser interferometric sub-nano-scale micro-displacement measurement system based on variable phase retardation[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(2): 377-382.
- [2] 段小艳, 任冬梅. 激光干涉法微位移测量技术综述[J]. 计测技术, 2012, 32(6): 1-5, 13.
- [3] Wang C Q, Huang Q X, Ding X M, et al. Compensation method for polarization mixing in the homodyne interferometer[J]. Applied Sciences Basel, 2020, 10(17): 6060.
- [4] 蔡学超. 基于 LabVIEW 的单频激光测量系统误差补偿技术的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.

[5] 武万多. 二维多自由度激光测量系统研制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.

[6] Heydemann P L. Determination and correction of quadrature fringe measurement errors in interferometers[J]. Applied Optics, 1981, 20(19): 3382-3384.

[7] 王超群, 黄强先, 伍婷婷, 等. PBS 对零差激光干涉仪非线性误差的影响[J]. 光学精密工程, 2016, 24(10): 190-196.

第一作者: 丁雪萌, 硕士研究生, 合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 230009 合肥市

First Author: Ding Xuemeng, Postgraduate, School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

通信作者: 黄强先, 教授, 合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 230009 合肥市

Corresponding Author: Huang Qiangxian, Professor, School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China