

短距离激光测距传感器系统设计*

王顺录 李党娟 范源 郝冬杰

(西安工业大学光电工程学院 西安 710021)

摘要:工业检测中微小位移的测量需求越来越广,而常见的超声波测距、红外测距等都无法满足测量要求。基于主动视觉原理和三角法的基本测量原理,设计了单片机采集 PSD 驱动电路、I/V 转换电路、放大电路、滤波电路等,实现了两路电压信号的输出;再通过软件实现信号的采集与滤波,最后利用非线性曲线拟合的方法,封装形成了一种基于 PSD 的激光三角法测距传感器。通过实测,在 20~60 mm 内的测量误差小于 1%,可以满足工业现场的测量要求。

关键词:激光测距仪;三角法;PSD

中图分类号: TN959.7 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Design of laser ranging sensor for short distance measurement

Wang Shunlu Li Dangjuan Fan Yuan Hao Dongjie

(School of Optoelectronics Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: There are more and more requirements for measuring the minor distance in industrial application. However, the common ultrasonic ranging, infrared ranging, etc. are not suitable for the short distance cases. In this study, according to the active vision theory and the basic triangulation measurement principle, the circuits of micro controller acquisition for PSD drive, I/V conversion, amplifier and filter are designed. Two signal of voltage outputs are achieved. The corresponding software are used to process the signal acquisition and software filtering. By using the non-linear fitting method, the laser ranging sensor are acquired at last. The real measurement confirm that the error of the result less than 1% within 20~60 mm. In conclusion, this design can be used for the measurement of short distance in industrial field.

Keywords: laser rangefinder; triangulation; PSD

1 引言

随着高新技术的不断发展,人们对工业检测中微小位移的测量方式提出了越来越高的要求,例如,在测量杜瓦中金属构件在低温下的形变量,要求测量精度优于 $5\ \mu\text{m}$ ^[1]。同时,在非接触测量领域中常见的超声波测距、红外测距和激光测距等都未能满足其测量要求,目前,红外测距精度较低,测量距离近,一般情况下,其测量误差不超过 4 cm^[2];激光测距精度高,但是成本较高;超声波测距的优点是比较耐脏,缺点是精度较低,而且成本很高^[3]。而激光三角法测距在光电检测技术中具有精度高、分辨率高、响应速度快、适用范围广等优点,在工业检测当中主要用来检测长度、物体三维形貌、距离和厚度等^[4-5]。本文主要设计了一种以单片机为核心的基于 PSD 的短距离激光

传感器,利用三角法的基本原理来实现距离的非接触式测量。对整个设计当中的基本原理、硬件电路、软件设计,误差分析等各个方面进行了介绍。该设计结构简单、成本低廉,比较适合于短距离非接触式测量。

2 基本原理及光学结构设计

2.1 激光三角法测距的基本原理

当激光光束经过半导体激光器发射到被测物体表面后发生反射,由于入射光与反射光构成几何三角形,因此命名为激光三角法^[6]。当用一束激光按照某一角度照射在被测物体的表面时,根据三角法的基本原理,反射光将进行汇聚,汇聚后的光斑成像在位置传感器 PSD 上,当被测物体表面的位置沿着激光方向发生改变时,反射光的角度也将随之会发生改变^[7],从而反射光进行汇聚后的光斑

收稿日期:2016-07

* 基金项目:陕西省战略性新兴产业重大产品(群)项目(No. 2016KTCQ01-36)资助

也会在位置传感器 PSD 上发生移动,其移动的距离与物体实际移动的距离之间存在着——对应的关系,通过这种对应关系,即可根据汇聚后光斑移动的距离间接的计算出对应物体移动的实际距离^[8-9]。

2.2 光学结构设计

在激光三角法中也存在着不同的入射方式,根据入射光与被测物体表面法线之间角度的不同,分为斜射式和直射式^[10]。如图 1 所示为激光三角法斜射式光路。记 A 点相对于零参考平面 M 的位移量记为 Δ 。通过相似三角形可推导出 Δ 的计算公式为:

$$\Delta = \frac{d_0}{d_1} \delta \sin \theta \quad (1)$$

式中: θ 是入射激光光束和被测物体表面的夹角, d_0 是接收透镜 L 的物距, d_1 是接收透镜 L 的像距,因此满足光学成像式(2):

$$\frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

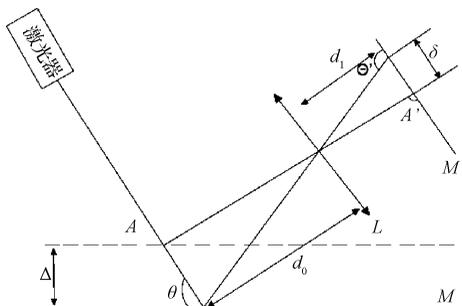


图 1 激光三角法斜射式光路

如图 2 所示为激光三角直射式光路图。同样记 A 点相对于参考平面 M 的位移量为 Δ , 那么 A 点的位移计算公式为:

$$\Delta = \frac{d_0}{\frac{d_1 \sin \theta}{\sigma} + \cos \theta} \quad (3)$$

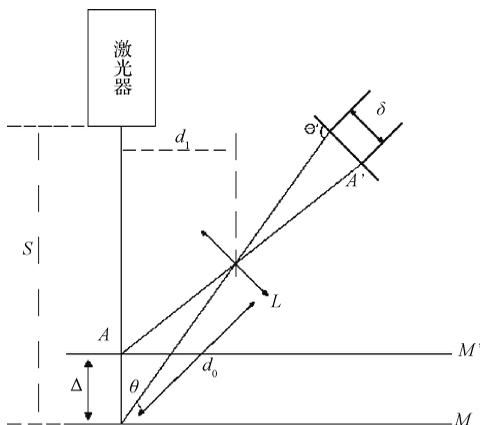


图 2 激光三角法直射式光路

对 σ 求导,可以推出精度公式:

$$\frac{d\Delta}{d\sigma} = \frac{d_0 d_1 \sin \theta}{(d_1 \sin \theta + \delta \cos \theta)^2} = \frac{(d_0 - \Delta \cos \theta)^2}{d_0 d_1 \sin \theta} \quad (4)$$

因而在激光三角法测距系统当中,当被测物体从距离较远处向距离较近处移动的过程中,系统的测量精度并不是固定不变的。被测物体的表面相对于参考平面偏移数值越高,测距系统的测量精度将会越低。

由几何三角形数学关系可以得出接收透镜的物距为:

$$d_0 = \sqrt{s^2 + d^2} \quad (5)$$

$$\sin \theta = \frac{d}{d_0} = \frac{d}{\sqrt{s^2 + d^2}} \quad (6)$$

$$\cos \theta = \frac{s}{d_0} = \frac{s}{\sqrt{s^2 + d^2}} \quad (7)$$

又有光学成像公式:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_0} \quad (8)$$

而且,当被测物体表面位于参考平面 M 上时,精度公式可以简化:

$$\frac{d\Delta}{d\sigma} = \frac{(d_0^2 - \Delta \cdot s)^2}{d d_0^2} \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{d_0} \right) \quad (9)$$

由以上公式分析可得出随着被测物体表面向物距减小的方向移动时,系统的精度开始提高;当接收物镜的焦距越长时,系统的精度越高,分辨率也就越高。

斜射式和直射式三角激光测距针对于物体的非接触测量,都可以实现高精度、高速度和高分辨率的检测^[8],但它们之间仍然存在差异,主要区别如下:

1)斜射式的光斑较大,光强不集中^[9-10],并且随入射角度的变化有明显差异,体积较直射式大。但直射式的分辨率没有斜射式的高。采用斜射式工作模式,当被测物体发生位移时,物体上的光斑会照在不同的位置,所以对某一确定的点来说,无法知道它的位移情况;而直射式的光斑则和位置是可以——对应的。

2)直射式在几何算法上较为简单,误差较小,测量精度较高并且体积上可以做的较小方便携带。

因此,在本设计中采用直射式激光三角法。

3 硬件电路及软件设计

3.1 测距系统的硬件电路设计

基于 PSD 的短距离激光测距传感器系统的硬件电路部分设计主要由 PSD 驱动电路(I/V 转换、信号放大、滤波)和单片机信号处理电路组成,其系统硬件电路设计原理如图 3 所示,PSD 经过光源照射后能够输出两路电流信号,同时将两路电流信号经过 I/V 转换电路,得到两路电压信号,由于该电压信号幅值较小,为了能够满足后端单片机的 AD 采集要求,需要将转换之后的两路电压信号进行适当的放大。由于放大后的信号含有高频成分,为了确保其测量结果的高精度以及准确性,需要将放大后的电压

信号进行滤波处理,最终送入单片机利用 AD 进行信号的采集以及数据处理。

如图 4 所示为该系统中 PSD 驱动电路部分的原理,其中 I/V 转换电路和信号放大电路均采用了“双运放”AD822 来完成,其优点是具有低漂移和高共模抑制比,既

可单电源供电也可双电源供电,电源电压范围为 $\pm 2.3\text{ V}$ 到 $\pm 18\text{ V}$,本设计中采用双电源 $\pm 5\text{ V}$ 供电。经实验测试发现,PSD 驱动电路部分信号输出较为稳定,以便于后端单片机中 AD 去采集。

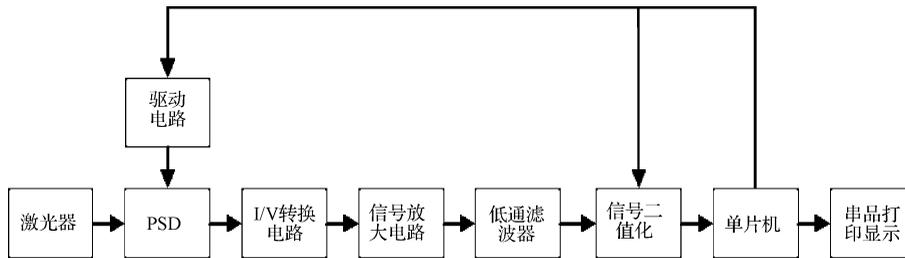


图 3 系统硬件原理

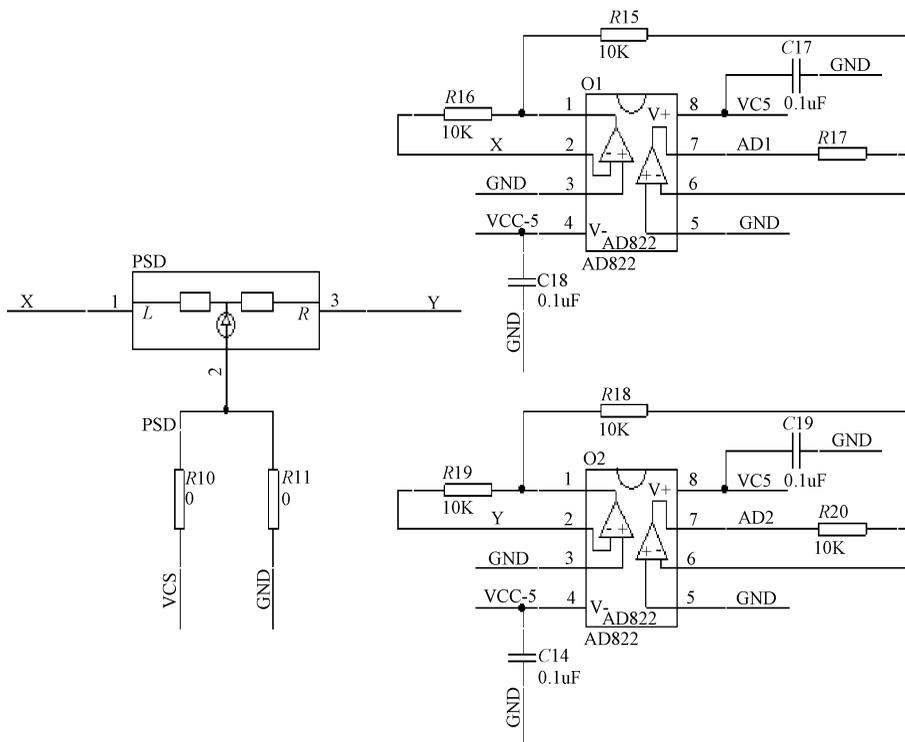


图 4 PSD 驱动电路

单片机信号处理电路是将经过滤波电路之后的输出信号送至单片机,利用单片机中的片内自带 AD 采集输出电压信号,并且对信号进行“二值化”处理,在单片机内部利用线性插值法进行数据处理便可计算出物体移动的实际距离,并将计算出的实际距离通过串口实时打印显示在串口助手上面^[11-12]。

3.2 测距系统的软件设计

软件的设计主要通过对 STM32f103RCT6 程序的编写实现对 PSD 的驱动电路、信号采集、单片机数据处理以及串口打印显示结果等控制工作。其中,信号采集主要是

通过 STM32f103RCT6 内部自带的 12 位 ADC 去实时采集 PSD 驱动电路输出的两路电压信号,在实验中,分别用两路 ADC 采集 250 次作为输出结果,由于考虑到实验环境所产生的误差,使得采集到的一组数据之间有相对偏差,为了提高系统的精度,保证实验结果的准确性,在利用单片机进行数据处理时采用中值滤波的方法,即对采集到的 250 次数据进行冒泡法排序,取其平均值作为本次采集的有效信号,这样可以防止实验环境等原因造成数据的偏差,能够有效提高系统的精度。其系统的软件流程如图 5 所示。

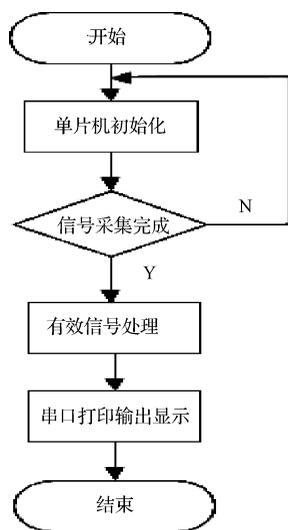


图5 系统软件流程

4 测试结果及误差分析

实验中 AD 采集 PSD 驱动电路输出两路电压信号的数据,如表 1 所示。

表 1 PSD 驱动电路电压输出数据

CM/ mm	AD1/ mv	AD2/ mv	CM/ mm	AD1/ mv	AD2/ mv
20	162	153	50	55	175
30	95	160	60	42	181
40	70	168	70	35	189

同时,在单片机数据处理中采用对曲线进行标定的方法,由于考虑到标定时曲线的单调性,因此在本设计中需要对表 1 中的两路电压数据进行相应的处理,使其处理之后的信号和对应物体实际移动的距离之间具有近似的单调性。经过实际测量和查阅资料发现,当按照 $x = \frac{AD1 - AD2}{AD1 + AD2}$ 处理采集到的两路电压信号时^[13],便可得到物体移动的实际距离 y 与处理之后的变量 x 的关系近似为单调关系。

对于任何一条曲线,将其放置于二维坐标系当中时,都可以用固定的任意小区间对它进行分割,分割的区间越小,线段越逼近直线,实际测量距离的精度就越高^[14]。在本次设计中单片机 AD 采集到两路电压信号经过上述处理之后与物体实际距离之间的曲线是非线性的^[15],因此在计算物体实际之间的距离时采用折线法来逐渐逼近,即把所测量程分割为多个区间,将 AD 采集到的两路信号处理之后分别与分割线段拐点值依次做比较,找到所在的对应区间,利用相应的直线段代替曲线段,从而计算物体在某一位置时所对应的实际测量距离。

当单片机中 AD 采集到两路电压信号按照上述处理之后的 x 落在某一区域时,例如如果 x 落在 x_1 和 x_2 之间, y_1 和 y_2 对应 x_1 点和 x_2 点处的实际距离的区间分割值,则根据线性插值法函数关系式可以计算得出 x 所对应的实际测量距离 y ,可按公式(10)算出。

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} + y_1 \quad (10)$$

如图 6 所示为本次设计中测量值与物体实际移动距离之间的比较。

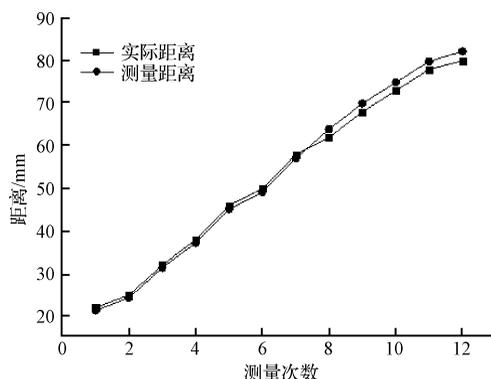


图6 测量值与实际值对比

由图 6 中实际距离与测量值的对比可以看出,本设计可以实现 20~80 mm 的位移量测量,并且在 20~60 mm 范围内的测量误差小于 1%,61~80 mm 范围内的测量误差不大于 2%。同时,由于各种因素的影响使得该系统仍然存在误差,例如被测物体表面颜色的影响,因为激光器发出的是红光,所以当物体表面颜色为对红光吸收率不强的颜色时,实际测量的值与理论值较接近,测距误差较小,精度较高;相反,当物体表面为黑色或蓝色等对红光吸收较强的颜色光时,则会出现较大程度的误差,由于激光器发出的入射光强大部分被测量物体表面的颜色所吸收,从而导致系统测量时有较大的误差。物体表面的粗糙程度也将会影响系统的误差,因为当物体表面比较光滑时,正反射的光远多于漫反射光,导致位置传感器 PSD 接收的光强较弱,从而使得系统的精度降低;相反,当被测物体表面粗糙时,漫反射的光过于分散,很难在 PSD 上汇聚于一点,同时也破坏了像点的完整性,使得系统的精度降低。

5 结论

本文根据激光三角法的测量原理,设计了一种适合短距离、非接触式测量的激光测距传感器,经实验测试,该系统能够实现 20~80 mm 的位移量测量,并且在 20~60 mm 的测量范围内误差小于 1%,61~80 mm 的测量范围内误差不大于 2%。同时,分析了系统内误差产生的原因以及减小误差的方法,并且验证了其系统的可行性。由于该系统具有非接触式、精度高、分辨率高、响应速度快、价格低廉等优点,因此在工业短距离测距领域将有着广泛

的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 何凯,陈星,王建新,等. 高精度激光三角位移测量系统误差分析[J]. 光学与光电技术, 2013, 11(3): 62-65.
- [2] 唐秦崑,朱焜秋,瞿哲奕,等. 基于单片机的机器人用红外测距仪系统设计[J]. 应用科技, 2010, 37(4): 11-14.
- [3] 沈彤,刘文波,王京. 基于双目立体视觉的目标测距系统[J]. 电子测量技术, 2015, 38(4):52-54.
- [4] 路达,腾奇志,卿粼波,等. 基于激光测距的中小型货物三维体积扫描[J]. 微型机与应用, 2015, 34(23): 83-84.
- [5] 孙彬,李兵. 一种量化的激光位移传感器倾角误差补偿模型[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(5):996-1004.
- [6] CIGADA A, MANCOSU F, MANZONI S, et al. Laser- triangulation device for in-line measurement of road texture at medium and high speed[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2010, 24(7): 2225-2234.
- [7] 万瑾,黄元庆. 激光三角法测量的研究[J]. 三明学院学报, 2007, 23(4):361-364.
- [8] 贾琦,谢劲松. 基于三角测量法的激光位移传感器的研究[J]. 长春大学学报, 2014, 24(8):1035-1036.
- [9] 吴炜,严利平. 基于 PSD 器件的激光位移测距系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2016(1):49-52.
- [10] 田原嫒,谭庆昌. 基于 psd 激光三角测距传感器的最优设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(2-2):3-4.
- [11] 李党娟,吴慎将. 基于 ST89S52 单片机的汽车尾灯控制器设计[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(8): 60-63.
- [12] 李党娟,刘唐唐,孙浩,等. 一种高精度重锤落体测速装置[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(10):84-86.
- [13] 刘江,汪涛,唐青青,等. 激光三角法厚度测量仪的设计与研究[J]. 微型机与应用, 2014, 33(10):17-18.
- [14] 陈念年,张佳成,范勇,等. 一种高精度单点激光三角测距方法[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(3):2-3.
- [15] 林小倩,林斌,潘泰才. 基于 CMOS 单点激光三角法测距系统设计[J]. 光学仪器, 2006, 28(2):1-4.

作 者 简 介

王顺录,男,1992年5月出生,硕士研究生,主要研究方向为测控技术与仪器、精密仪器。
E-mail:1075292010@qq.com

(上接第97页)

- [7] 崔旭涛,杨日杰,何友. 基于 DSP+FPGA 的信号处实验系统研制[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(5):918-921.
- [8] 支绍龙,袁兆凯,李宇,等. 一种小型化水声信号调制发射系统[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(7):1668-1673.
- [9] 张丽,张效民. 线性调频信号在水声通信中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(3):90-92.
- [10] 苏斌,刘畅. 基于 FPGA 的脉冲压缩处理器设计与实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(7):57-61.

作 者 简 介

姜昆,1991年出生,硕士研究生,主要研究方向为水声工程。
E-mail:m18253257352@163.com

杨日杰,1963年出生,博士硕士生导师,教授,主要研究方向为水声工程。