

•测试、试验与仿真•

## PSD小角度测量系统的设计与仿真

周向阳,刘思意,陈道群

(武昌首义学院 信息科学与工程学院,湖北 武昌 430061)

**摘要:** 鉴于小角度测量的要求,采用自准直角度测量技术,建立自准直光路数学模型,推导PSD探测像点坐标 $Y$ 和平面镜偏转角 $\alpha$ 的方程。PSD小角度测量系统由前置放大、A/D转换电路、采样电路和液晶显示构成。PSD位置传感器输出两路角度信息数据,ADC完成模数转换,由单片机进行数据运算,最后,位置和偏转角的求解结果在液晶屏上显示。仿真结果显示,前置放大电路性能指标、单片机采样 $10^{-2}$  mrad量级精度均达到了系统的要求。

**关键词:** 小角度探测;PSD;自准直

中图分类号:TN206

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-06-0062-04

## Design and Simulation of Small Angle Measurement System Based on PSD

ZHOU Xiang-yang, LIU Si-yi, CHEN Dao-qun

(Information Science and Engineering Academy, Wuchang Shouyi University, Wuchang 430061, China)

**Abstract:** According to the requirements of small angle measurement, with the auto collimation angle measurement technology, an auto collimation optical path mathematical model is built and the equation about the photoelectric position detector (PSD) image point coordinate  $Y$  and the flat mirror deflection angle  $\alpha$  is deduced. PSD small angle measurement system is composed of preamplifier, A/D conversion circuit, sampling circuit and liquid crystal display. PSD position sensors output duplex angle information data, the ADC circuit completes A/D conversion, the single chip microcomputer completes data operation, in the end, the results of the position and the deflection angle are displayed on LCD screen. Simulation results show that the preamplifier circuit performance and single chip microcomputer sampling of  $10^{-2}$  mrad level precision both meet the system requirements.

**Key words:** small angle detection; photoelectric position detector (PSD); auto collimation.

### 1 系统测量原理

角度测量是现代计量的一个重要分支,测量手段多样化,测量技术主要有机械式、电磁式的、光电式三种。其中,光电式测量精度好、数字化。光电自准直测量能适用于多种环境,广泛应用在生产制造、精密加工、航空航天等领域,测量导轨的直线度、平面的垂直度、工件的尺寸等<sup>[1]</sup>。

光电自准直小角度测量技术主要利用光学成像的自准校正原理,光学系统将反射镜上的角度偏

移转换为光电位置探测器(PSD)上的线性位置偏移<sup>[2]</sup>。PSD输出光电电流进行放大后,单片机采样显示。其工作原理如图1所示。

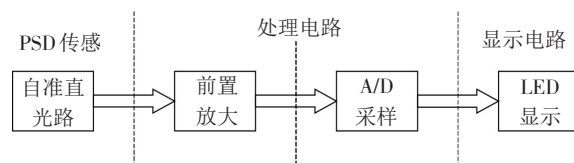


图1 光电自准直小角度测量系统原理框图

## 2 基于矢量运算的激光自准直光路数学模型

根据光电自准直的原理,建立出射点  $X_{AP}$  位于聚光镜、物镜公共焦点的理想激光自准直系统模型<sup>[3-6]</sup>。将光电自准直系统的 PSD 光路变换到物镜前方  $f$  处,使光轴在一条直线上,等效光路如图 2 所示。按右手法则建立坐标系。 $OXYZ$  为物镜坐标系, $Z$  轴和主光轴重合, $O$  为物镜中心; $O_m X_m Y_m Z_m$  为平面镜坐标系,由于平面镜的偏转, $O_m X_m Y_m$  始终在平面镜平面内, $Z_m$  为平面镜法线; $O_p X_p Y_p Z_p$  为 PSD 探测器坐标系, $O_p$  为物镜中心, $Z_p$  轴和主光轴重合。

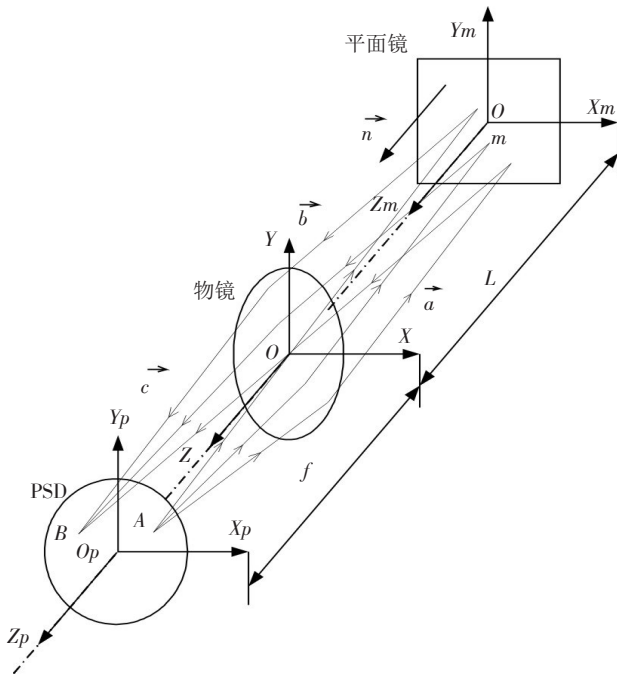


图2 自准直部分等效光路图

初始时,  $O_p Z_p = f$  ( $f$  为透镜焦距),  $O_m Z_m = L$  ( $L$  为任意值), 点光源在  $A$  点射出的光线经过物镜聚焦成平行光束向  $a$  (矢量  $a$ ) 射出, 经平面镜反射, 方向为  $b$  的平行光束经物镜聚焦在 PSD 探测器上汇聚成一点  $B$ 。当平面镜绕  $X_m$  轴转动  $\alpha$  角, 绕  $Y_m$  轴转动  $\beta$  角。经推导得出  $B$  点坐标  $(X_{CP}, Y_{CP}, 0)$ , 有下式

$$\{X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP}\} = \{c_x, c_y, c_z\} = \left\{ f \frac{b_x}{b_z}, f \frac{b_y}{b_z}, 0 \right\} \quad (1)$$

该式给出了任意位置的点光源、相应像点和平面镜空间角之间的相互关系。则利用该模型可以求出偏转角对应的像点的位置, 也可由像点求解对应的平面镜的转角大小和方向。对理想自准直光电系统, 由 Matlab 符号解析函数 solve 编程求解  $B$  点坐标的二元一次方程组, 同时也可以设定物镜焦距

和 PSD 像点位置的二维初始值, 求解出反射镜的二维偏转角为

$$\begin{cases} X_{CP} = -\frac{2f \cos^2 \alpha \cos \beta \sin \beta}{1 - 2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta} \\ Y_{CP} = -\frac{2f \cos \alpha \cos \beta \sin \beta}{1 - 2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta} \end{cases} \quad (2)$$

## 3 信号处理电路的设计与仿真

PSD 小角度测量系统中, 信号处理电路由前置放大器和单片机控制部分两部分组成。前置放大电路的设计主要包括 I-V 转换电路设计、一阶滤波电路设计及反向比例放大电路设计。PSD 两路输出信号经放大后, 输入模数转换器 ADC0808 进行模数转换, 由单片机进行数据运算, 并驱动 LCD 显示<sup>[7-9]</sup>。

I-V 转换电路采用反向电阻直接转换型, PSD 作为电流源, 内阻不大,  $20 \text{ k}\Omega$  阻值保证转换电压的幅值和电路的信噪比。为了改善运算放大器的相位滞后情况,  $100 \text{ pF}$  电容与  $20 \text{ k}\Omega$  电阻并联可起到相位超前的作用, 能提高电路的稳定性。采用 Multisim 仿真方法得到电路仿真结果如图 3 所示<sup>[10]</sup>。由此设计的信号放大电路如图 4 所示。

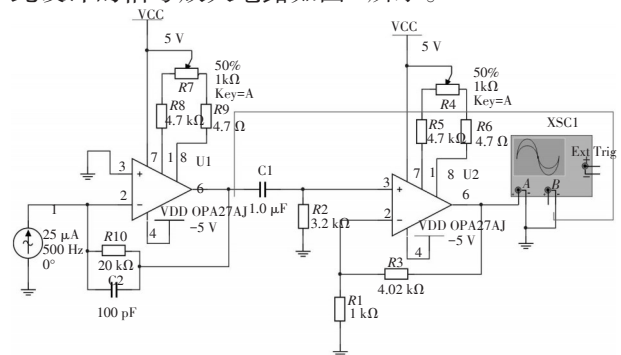


图3 信号放大电路仿真图(单端)

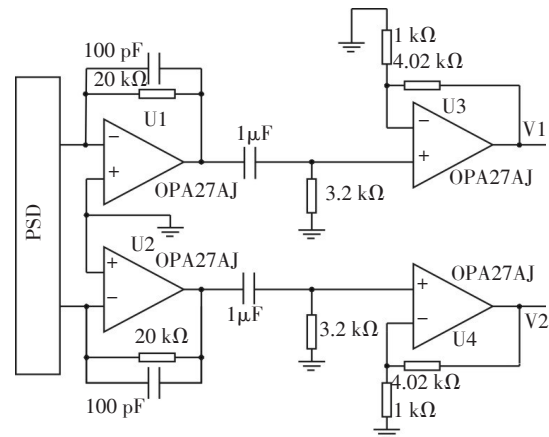


图4 信号放大电路图

单片机处理电路对 ADC0808 进行数据采样,数据被处理后送入液晶屏 AMPIRE128X64 显示,如图 5 所示。

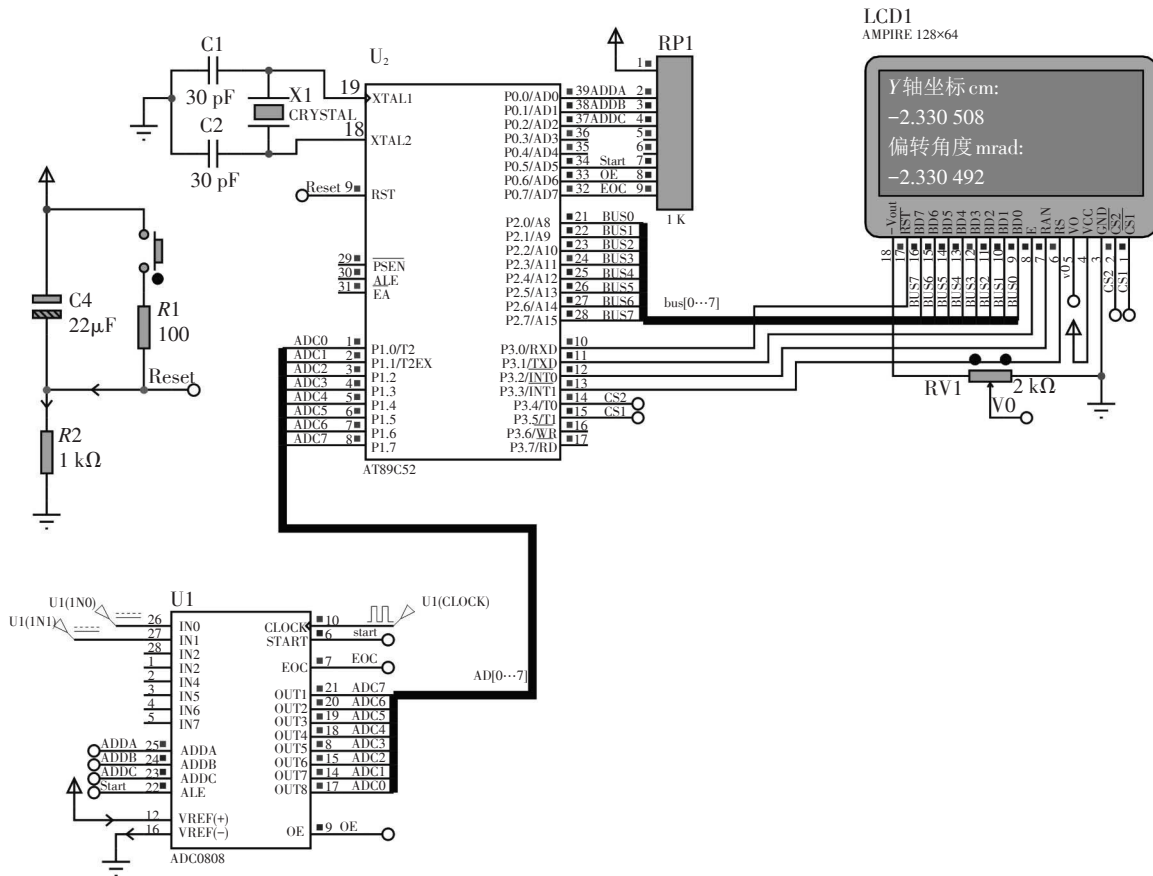


图5 单片机处理电路 Proteus 仿真图

ADC0808 的两路数据分别来自信号处理 V1、V2 两路输出,通过下式

$$Y = 5 \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} (\text{cm}) \quad (3)$$

读取一维探测器上的位置。将该点的位置显示在液晶屏,根据光路的光电自准直简化模型,判断绕 X 轴偏转,将角度值显示在液晶屏,计算公式为

$$\alpha = \arctan(Y/f) \cdot 500 \text{ mrad} \quad (4)$$

#### 4 系统误差分析

表 1 中列出了 8 组输入对应的输出,表格中  $Y_m$  和偏转角  $\alpha$  直接通过液晶屏读数而来,  $Y_m$  理论值根据式(2)计算而来。

表 1 系统误差分析表

[V1,V2]	$Y_m$	偏转角 $\alpha$
[3.4,1.23]	-2.330 508	-2.330 492
[1.222,2.3]	1.536 313	1.536 308
[0.356 4,3.986 2]	4.185 520	4.185 422
[2.1,2.748]	0.668 016	0.668 016
[1.505,3.35]	1.895 161	1.895 152
[2.895,2.5]	-0.362 319	-0.362 319
[3,1.55]	-1.594 828	-1.594 822
[1.665,2.144]	0.618 557	0.618 556
$Y_m$ 理论值	精度	平均误差
-2.343 412 5	0.012 904 5	
1.530 380 47	0.005 932 5	
4.179 293 51	0.006 226 5	
0.668 316 83	-0.000 300 8	0.005 713 2
1.900 102 99	-0.004 942 0	
-0.366 079 7	0.003 760 7	
-1.593 406 6	-0.001 421 4	
0.628 773 96	-0.010 217 0	

表格数据分析可推断,位置探测装置精度达到了 $10^{-2}$  cm量级,而角度测量误差 $10^{-2}$  mrad量级,用于平面镜偏转的小角度( $>10^{-2}$  mrad)测量达到了系统要求。

## 5 结 论

设计了一种小角度测量的设计方案以及实现方式。最终结果显示,matlab建模仿真效果、前置放大电路性能指标、单片机采样 $10^{-2}$  mrad量级精度达到了系统的要求。基于PSD的小角度测量系统具有非接触测量、准确度和灵敏度高的特点,可广泛应用于精密加工、航空航天和军事等领域。

## 参考文献

- [1] 安毓英. 光电探测与信号处理[M]. 北京:科学出版社, 2010:67-72.
- [2] 万德安,杨银国,徐志江. 激光基准高精度小角度的测量研究[J]. 航天制造技术,2001(4):23-26.
- [3] 黄银国,林玉池. 基于矢量运算的光电自准直系统建模研究[J]. 激光与红外,2009(10):1086-1090.
- [4] 刘良清. Matlab辅助激光光学分析与应用. 武汉凌云光电科技有限公司,2008:18-24.
- [5] 郑德锋,王向朝,唐锋. 一种基于PSD器件的改进型角度测量方法[J]. 中国光学快报,2007(7):403-406.
- [6] 廉孟冬,金伟锋,居冰峰. 二维光学自准直微角度传感器[J]. 机电工程,2010(12):23-26,35.
- [7] 宋晓梅. 现代电子系统设计教程[M]. 北京:北京大学出版社,2011:81-91.
- [8] Toyomi Fujita, Masanori Idesawa. New types of semiconductor image position sensitive device[J]. Optical Engineering, 2009, 48(9):093602.
- [9] 潘勇. 微控制器原理实验教程[M]. 天津:南开大学出版社,2011:201-217.
- [10] 许维葢,郑荣焕. Proteus 电子电路设计及仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2014.

## 《光电技术应用》期刊收录情况介绍

《光电技术应用》期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。期刊的影响因子连续几年上升,2015年入选《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊。

已与万方数据库签订合同,可以同步查询论文内容,更新及时。

因主办单位搬迁,从即日起期刊编辑部通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号,邮编为300308。电话:022-59067938。投稿邮箱:aoe-cetc@vip.163.com。原投稿邮箱nloe@vip.163.com继续使用至2016年12月31日。竭诚欢迎广大读者踊跃投稿。