

高精度二维四边形结构 PSD 信号调理电路设计

施隆照¹, 杨琦²

(1. 福州大学物理与信息工程学院, 福建 福州 350002; 2. 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 分析了二维四边形结构 PSD 的特性, 介绍一种基于单片机的数字式二维 PSD 信号调理电路的设计方法, 包括硬件设计、软件非线性校正、背景光和暗电流消除方法等. 测试结果表明, 用该方法设计的四边形结构 PSD 具有相当高的线性度和位置测量精度.

关键词: 电路; 二维 PSD; 信号调理; 非线性校正; 高精度

中图分类号: TP212

文献标识码: A

A design of signal processing circuit for high precision two dimensional tetra - lateral PSD

SHI Long - zhao¹, YANG Qi²

(1. College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. College of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: The characteristic of PSD with two dimensional tetra - lateral is analyzed. A design method of signal processing circuit based on single - chip microcomputer for two dimensional PSD is introduced. This method includes hardware design, nonlinear correction by software, elimination of background light and dark current, etc. Testing result shows that the 2D tetra - lateral PSD with this processing circuit is of high linearity and precision.

Keywords: circuit; two dimensional PSD; signal processing; nonlinear correction; high precision

PSD (Position Sensitive Detector) 是一种基于横向光电效应的、对入射光的重心位置敏感的非分割型光电器件, 与 CCD 等其它光电器件相比, 具有分辨率高、响应速度快、灵敏度高和配置电路简单等优点, 广泛应用于光电位置测量、激光准直、方向探测、光学边界判别、航空对接、形位误差测量以及机器人视觉等方面^[1, 2].

1 二维四边形结构 PSD 原理

二维四边形结构 PSD 如图 1 所示, $I_1 \sim I_4$ 表示 4 个信号电极 1 ~ 4 的输出电流, 以光敏面中心为坐标原点, 设器件有效光敏面长度为 l , 四边形结构位置坐标 X 、 Y 与输出信号之间的关系如式 (1) 所示.

$$X = \frac{l}{2} \frac{I_2 - I_1}{I_1 + I_2}, \quad Y = \frac{l}{2} \frac{I_4 - I_3}{I_3 + I_4} \quad (1)$$

直接从 PSD 电极输出的电流信号 $I_1 \sim I_4$ 很微弱, 通常先通过电流 - 电压变换器将电流信号转变成电压信号, 再进行处理和运算才能得到相应的位置坐标.

PSD 制造商开发的 PSD 信号处理器是模拟式的, 由运算放大器实现和差运算、模拟除法器实现除法运算, 最终得到与位置信号成比例的电压信号. 由于加法器、减法器、除法器模拟器件本身存在一定的噪声干扰信号和温漂, 会产生测量误差, 造成运算精度不

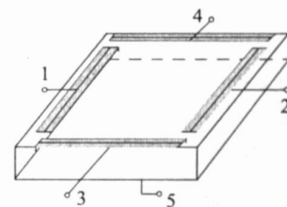


图 1 二维四边形结构 PSD

Fig 1 The structure of 2D tetra - lateral PSD

收稿日期: 2007 - 08 - 03

作者简介: 施隆照 (1968 -), 男, 副教授.

基金项目: 福建省教育厅科研资助项目 (JB05066)

够高,结果也不直观. 因此,系统采用软件法,即 PSD 输出信号通过电流 - 电压转换与放大后直接进行 A/D 转换,加减法和除法运算由单片机软件处理,大大提高了测量的精度. 另外,根据文献 [3], 四边形结构二维 PSD 按式 (1) 计算得到的位置与电流信号关系非线性严重,为此,可利用单片机对二维 PSD 信号进行非线性校正,使得该结构 PSD 具有较高的线性度和测量精度.

2 系统设计

图 2 是二维 PSD 信号处理器的硬件框图, PSD 输出的 4 个微弱电信号,经 I/V 转化、前置放大器 A 放大后,由 4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 IC17135 转化为数字信号,送到 AT89C55 的端口,供 CPU 采集. 利用 8279 键盘显示专用芯片设置了 12 个 LED 显示器和 16 个按键, 12 个显示器分 2 组, 每组 6 个, 分别显示入射光点的坐标值 (一位符号, 五位数值); 16 个键盘分为 10 个数字键, 6 个功能键, 用于设定 I 值以及启动 A/D 转换与查询测量结果等, 并设置了串行接口, 可以与上位机联接, 实时输出测量的坐标位置等.

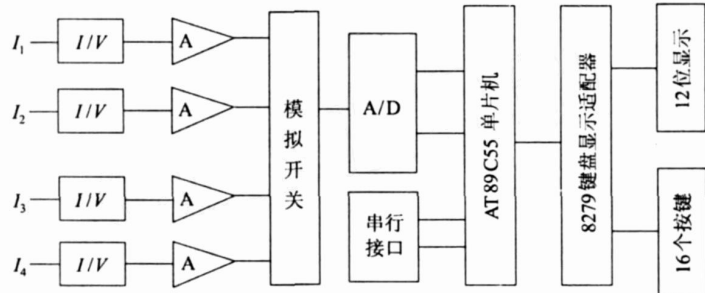


图 2 PSD 信号调理电路方框图

Fig 2 Block diagram of PSD signal processing circuit

2.1 硬件设计

PSD 作为高阻抗传感器, 输出电流很小 (μA 级), 要求 I/V 转化电路中的运算放大器不仅要有较低的偏置电流特性, 而且要有较小的输入噪声电压和零漂电压. 系统选择 AD 公司 AD823, 这种 Bi-FET 运算放大器在芯片工艺中采用了激光微调技术, 以将失调电压和失调电压漂移减至最小. 它的失调电压在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时最大为 $25\ \mu\text{V}$, 失调电压漂移最大为 $3\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, 输入偏流在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时最大为 $1\ \text{pA}$, 电压噪声在 100 Hz 处为 $10\ \text{nV}/10\ \text{Hz}$. 同时, 为了获取最大的信噪比 (SNR), 可采用 T 型电阻网络代替运算放大器中的反馈电阻, 这样既可以获得较高的灵敏度, 又能避免采用高值电阻^[4], 如图 3 所示. PSD

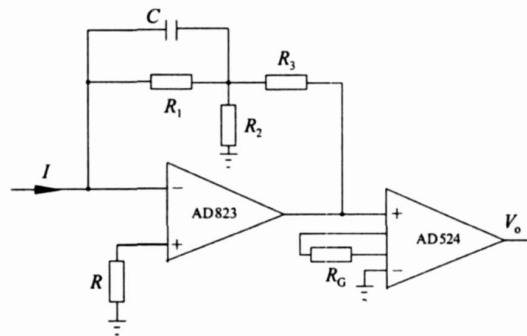


图 3 I/V 转换电路

Fig 3 The I/V converse circuit

信号经 I/V 转换成电压信号后, 再由前置放大器放大至 $0\sim 2\ \text{V}$, 以便与后续的 A/D 转换器接口. 为了保证放大电路具有较高的输入阻抗和精度、较低的输入失调电压和漂移, 选用 AD524 精密仪表放大器构成前置放大电路, 如图 3 所示, 其中 R_G 为精密线绕电阻, 用于调整回路的增益.

2.2 软件非线性校正方法

用式 (1) 计算的测量结果是非线性的, 可以证明 PSD 器件在中心位置 $2/3$ 处, 其线性度较好, 可控制在 3% 以内, 在其它位置则线性较差, 越靠边, 线性越差^[3].

要对用式 (1) 计算的测量结果进行非线性校正, 首先得建立非线性修正表格, 用同一步长测定二维 PSD 器件各网格点的电压值, 绘制出相应的曲线图, 可发现此曲线图是关于 x 轴、 y 轴、原点及 45° 线相对称的^[5]. 所以只要做出 $1/2$ 象限的网络点对应坐标数据就可以对四象限进行非线性校正. 修正表格可采取如下方式建立: 将二维 PSD 器件固定在可二维移动的基座上, 先找出 $I_1 = I_2$ 、 $I_3 = I_4$ 的中心点, 按一定步长移动 PSD, 根据公式 (1) 计算出二维各网格点的测量数据, 将这些数据按一定的规律绘制成表格. 在进行非线性校正时, 就可以根据当前光斑坐标的计算值 (X_C , Y_C) 查出光斑所在网格的四邻点坐标, 再用

线性插值法就可求出光斑的实际坐标 (x, y) , 其修正流程图如图 4 所示.

此外, 为了在整个有效测量区域内有相同的测量高精度, 并尽可能地缩短数据表格的长度, 以便于用单片机处理, 可用不同步长的网格点进行修正, 越靠近电极边界, 步长越小. 这样的修正表格可以得到更好的修正效果, 不过修正软件将增加较大的难度.

2.3 背景光和暗电流消除

PSD 测量过程中, 普遍存在背景光干扰、暗电流影响现象, 造成位置误差较大. 消除背景光和暗电流通常有 2 种方法. 第一种是加干涉滤波片, 只使被测量的光通过, 滤去大部分的背景光, 这种方法比较简单易行, 但它不能消除暗电流; 第二种是采用交流调制频率来分离背景光和暗电流, 这种方法可以很有效地消除背景光和暗电流, 但是设计、调试过程比较麻烦^[6].

在 PSD 实际应用时, 一般情况下温度不会发生突变, 所以暗电流不会有突变的情况, 只要没有急剧变化的背景光, 则在短时间内噪声电流的变化比较小, 因此, 在采集 PSD 信号时, 可在微处理器的控制下短时间内 (100 ms 数量级) 连续 2 次采集 PSD 的输出, 一次光源发射光束, 一次不发射, 用两次采集 PSD 输出信号的差值来计算光点的位置, 这种方法可以获得较高的精度.

3 测试结果

利用本文所述的 PSD 信号调理电路对四边形结构二维 PSD (s1200 型, 有效光敏面 13 mm × 13 mm) 进行测试, 测试之前对激光光斑漂移情况、微动平台的精确性等进行过检测, 扫描测量步距 1 000 μm, 光斑直径约 200 μm, 测得未经非线性校正的位置如图 5, 经过非线性校正的位置如图 6.

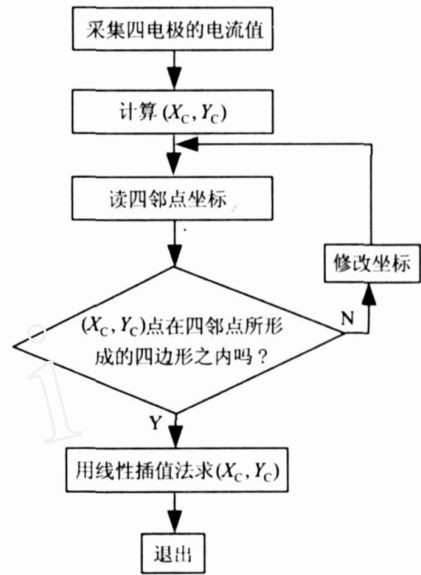


图 4 非线性修正流程图

Fig 4 Structure diagram of nonlinear correction

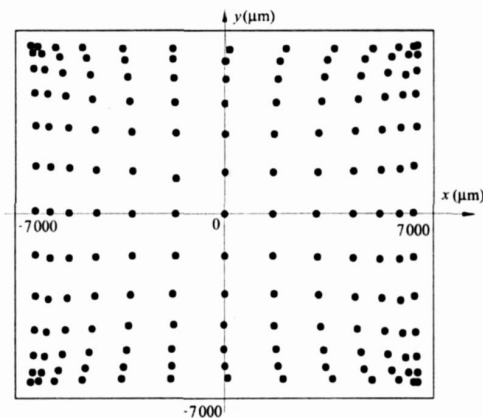


图 5 未经非线性修正程序测得的位置
Fig. 5 The position before non-linear corrected

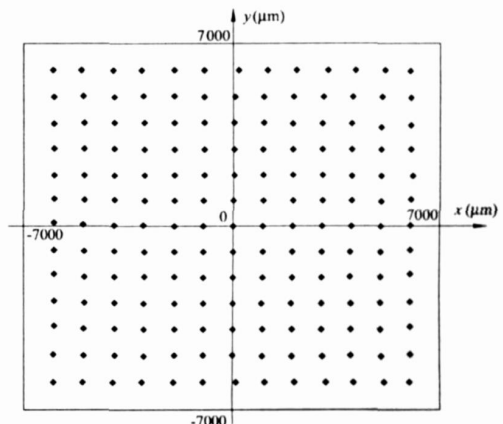


图 6 经过非线性修正程序后测得的位置
Fig. 6 The position after non-linear corrected

图 5、图 6 表明: 按式 (1) 计算得到的未经非线性校正的位置非线性严重, 不但边缘位置误差大, 就连中间偏差也很大, 这与厂家提供的结果是吻合的. 而按公式 (1) 计算后经非线性修正的位置线性很好, 从 -5 000 μm ~ +5 000 μm 范围 (覆盖器件有效光敏面的 60% 面积), 位置均方根误差 ±20 μm, 均方根非线性误差 0.15%.

参考文献:

- [1] 金泰义, 李胜利, 徐育, 等. PSD 激光测微仪的研制与精度分析 [J]. 中国科学技术大学学报, 1992, 22(3): 348 - 353.
- [2] Sohn Y J, Kwon J H, Choel O S. Portable autocollimators using the laser diode and the position sensitive detector[J]. Rev Sci Instru, 1998, 69(2): 402 - 405.
- [3] 黄梅珍, 林斌, 唐九耀, 等. 四边形电极结构二维 PSD 非线性及失真分析 [J]. 半导体光电, 2000, 21(4): 269 - 271.
- [4] 景洁, 戴曙光, 穆平安, 等. 生物检测仪中数据采集模块的设计 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 154 - 155.
- [5] 黄梅珍, 施隆照, 陈钰清, 等. 四边形结构 PSD 的输出特性研究 [J]. 光电子·激光, 2003, 14(7): 690 - 693.
- [6] 裴先登, 罗春, 黄浩. PSD 高精度位置测量系统的研究与设计 [J]. 华中科技大学学报, 2004, 32(2): 7 - 9.

(责任编辑: 王阿军)

福州大学筹备建设福建省超级计算中心项目

福建省超级计算中心(简称:省超算中心)是继福建省集成电路设计中心(福建 ICC)之后省政府委托福州大学建设的又一个投资经费超千万元的公共服务平台。2008年1月14日,该建设项目的可研报告暨初步设计方案顺利通过了福建省数字办组织的专家评审。

该项目面向卫星图象处理、环保与气象、汽车制造、国防工业、水利水电、建筑桥梁、药物设计、生物信息等公益事业、产业发展以及科研等相关领域开展高性能计算服务。项目建设地点在福州大学旗山校区第三学科群(即电子信息学科群)8号楼,总建筑面积约 3 600 m²。项目投资经费 1 517.5 万元。项目机群系统计算能力达 13.58 万亿次/秒。

省数字办、科技厅领导充分肯定了福州大学在项目筹建工作上的进展。要求省超算中心要尽快完善组织架构和运行机制,争取在 6·18 期间举行中心揭牌仪式,12 月中旬项目验收。

(科技处供稿)