

# LDSR 激光测距传感器的研制及其 用于工业检测的若干问题

葛运建 朱尚明<sup>✓</sup> 邢武 王国泰 朱永亮 王理丽

(中国科学院合肥智能机械研究所 230031)

**摘要** 本文介绍了中科院合肥智能所研制的 LDSR 激光测距传感器, 其主要性能指标达到目前国际上同类产品的先进水平, 且配备与计算机通讯的标准接口, 可直接输出对应于检测距离的数字量值和模拟量值. 本文还讨论了将激光测距传感器用于工业检测领域的若干问题.

**关键词** 激光测距传感器, PSD, 工业检测

## 1 引言

接近距离传感器是智能机器人最重要的传感器之一, 它能提供在小范围内 (一般在 200mm 以内), 机器人接近目标物体时准确的距离信息, 能帮助机器人实现对目标物体的精确定位、跟踪、夹持物体, 以及避开障碍物等操作. 激光测距传感器是目前唯一用于机器人的接近距离传感器. 本文介绍中国科学院合肥智能机械研究所研制的 LDSR 激光测距传感器.

## 2 激光测距传感器测试原理

接近距离激光测距传感器一般采用三角法测距. 其原理是, 激光器发射光束经过透镜照射到目标物体表面发生漫反射, 反射光线经透镜汇聚到光位置检测器件上, 经过解调, 产生对应于不同距离物体的电信号, 再经过算术运算电路和数据处理电路得到准确的对应被测物体的距离值.

根据激光光束照射目标物体的方向, 三角法测距可分为直射光三角法和斜射光三角法. 直射法和斜射法相比, 光斑较小, 光强集中, 不会因激光器和被测物体表面的位置变化扩大光照面上的光斑, 因而当被测物体表面比较粗糙, 或处于振动或左右倾斜不稳定状态时, 引起的误差较小. 根据光位置检测器件和接收透镜光轴安放的角度, 三角法测距又可分为垂直接收方式和非垂直接收方式. 垂直接收方式适应的测量范围较小, 非垂直接收方式, 检测器件放置的角度需满足一定条件.

光位置检测器件主要有 CCD (电荷耦合器件) 和 PSD (位置敏感器件) 两种. 其中 PSD 是一种新型半导体光电敏感器件, 它属于非离散型器件, 输出的电流随光点位置不同而连续变化, 有体积小, 灵敏度高, 分辨率高, 响应速度快, 噪音低等特点.

PSD 是 PIN 二级管结构, 见图 1 PSD 结构示意图. 图中 P 和 N 是表面层, I 是中间层, 表面层 P 的阻抗均匀一致, 在二端有输出电极. 当一束光入射到 P 表面层上时, 形成光斑, 在光斑位置上产生与光能量成正比的光生电荷, 在 PSD 公共端加电压的条件下, 形成光电流  $I_0$ .  $I_0$  被 P 层分成  $I_1, I_2$  两部分输出, 也就是  $I_1$  和  $I_2$  与光斑中心位置到电极间的距离成反比. 假设

PSD 中心位置为零点,  $X$  为光斑中心位置对零点的偏移,  $L$  为两电极间的距离, 则有

$$I_1 = [(1 - 2X/L)I_0]/2 \quad (1)$$

$$I_2 = [(1 + 2X/L)I_0]/2 \quad (2)$$

$$I_0 = I_1 + I_2 \quad (3)$$

解以上方程可得

$$X = L[(I_2 - I_1)/(I_1 + I_2)]/2 \quad (4)$$

可见, 位置偏移  $X$  的值与入射电流强度无关。

### 3 LDSR 激光测距传感器的设计与实现

#### 3.1 系统结构

LDSR 激光测距传感器采用直射光三角法工作原理, 非垂直接收方式, 它主要由激光器、激光器电源驱动电路、发射透镜、接收透镜、PSD 位置敏感器件、前置放大电路、以及信号和数据处理电路等几部分组成, 见图 2 传感器系统框图。

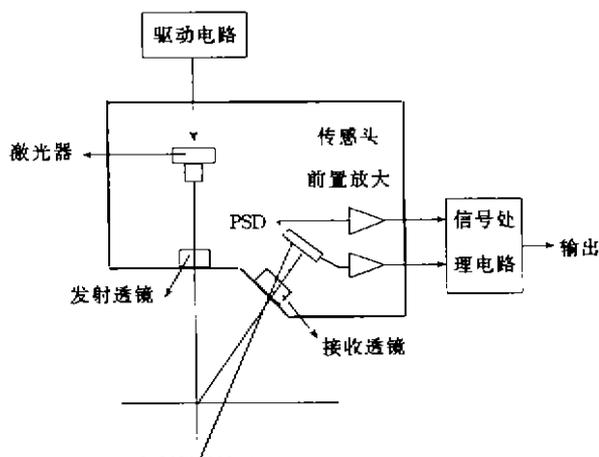


图2 传感器系统框图

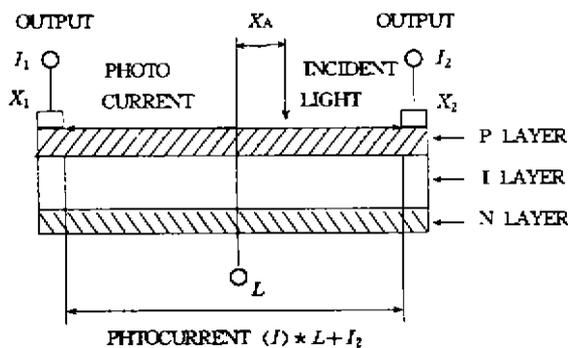


图1 PSD结构示意图

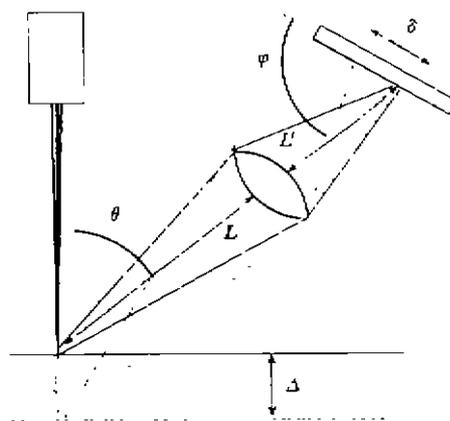


图3 光路系统设计示意图

#### 3.2 光路系统

为了提高测距传感器的测量精度和分辨率, 必须使被测物体(光斑)的轨迹在 PSD 受光面上精确聚焦。根据 schelmflug 条件, 光路系统中的像平面、物平面和接收透镜平面三者必须交于一条公共直线。在 LDSR 激光测距传感器中, 也就是激光光束、接收透镜和 PSD 受光面必须交于一点, 见图 3 光路系统设计示意图。如果以传感器检测目标物体的距离增加的方向为正

方向,与它相应的光斑像点在 PSD 上位移的方向亦为正方向,则光斑像点在 PSD 上的位移  $\delta$  和被测目标物体的距离变化  $\Delta$  可有如下关系:

$$\delta = D_2 \times [1 - D_1/(\Delta + D_1)] \quad (5)$$

$$\Delta = -D_1 \times [1 + D_2/(\delta - D_2)] \quad (6)$$

其中

$$D_1 = L \times \sin\varphi/\sin(\Delta + \varphi) \quad (7)$$

$$D_2 = L' \times \sin\theta/\sin(\Delta + \varphi) \quad (8)$$

$\varphi$  为光斑像点直线轨迹与接收透镜光轴之间的夹角; $\theta$  为激光光束与接收透镜光轴之间的夹角; $L_1$  为物距, $L'$  为像距.

根据  $\Delta$  和  $\delta$  的关系式,我们可以合理地选择三角法测距传感器接收光路的 5 个设计参数: $L, L', \delta, \theta$  和  $\varphi$ . 例如:假定接收透镜的物距为  $L$ , 焦距为  $f$ , 激光束与接收透镜光轴之间的夹角为  $\theta$ , 则 PSD 放置的角度

$$\varphi = \arctan[(L - f)/f \times \tan\theta] \quad (9)$$

发射光路要选择的设计参数是,激光器到发射部分平凸透镜间的距离  $h$  和透镜焦距  $f$ , 以及透镜的孔径  $r$ . 透镜孔径  $r$  越小,则像差越小,测试系统的精度和分辨率就会越高,但太小了,在 PSD 产生的光产生的电流  $I_0$  也小,使噪音相对增加.

### 3.3 信号和数据处理系统

信号和数据处理系统由前置放大电路、脉冲解调电路、算术运算电路、调整电路、自动控制电路、监测指示电路、以及 8097 单片机系统组成.

由 PSD 输出的电流讯号为微安级,经过前置放大并转变为相应的电压信号,再经过脉冲解调后变换为含有光斑位置(距离)信息的直流电压信号  $U_1$  和  $U_2$ .

令信号处理电路的最终输出为  $U$ , 则有

$$U = K_0[I_1/(K_1 \times I_1 + I_2) - K_2] \quad (10)$$

若令

$$U' = I_1(K_1 \times I_1 + I_2) \quad (11)$$

即

$$U' = U_1(K_1 \times U_1 + U_2) \quad (11')$$

则有

$$U = K_0(U' - K_2) \quad (12)$$

其中(11)式可用除法电路实现,调整电路主要包括零点调整,量程范围调整和放大输出 3 部分.

8097 单片机系统是在信号处理电路输出的对应于测试距离的模拟量的基础上,作 A/D 转换,进行非线性校正和由目标物体表面性质不同引起的误差的校正,并通过多种软件功能方便地实现人机交互,以及和计算机的通讯.

## 4 实验结果

我们对 LDSR 激光测距传感器的精度、分辨率、稳定性、重复性等几个方面进行了实验测试,下面给出以白纸为目标作测试的一组数据.

本项研究是 863-512 主题“8→5”期间下达的基础研究课题,完成的 LDSR 激光测距传感

器产品样机已于 1994 年 9 月通过了 863 智能机器人主题专家组专家验收, 验收意见认为: 传感器的主要性能指标: 操作距离 120mm, 测量范围  $\pm 50\text{mm}$ , 非线性误差  $\leq 0.5\% \text{F.S.}$ , 不重复性误差  $\leq 0.5\% \text{F.S.}$ , 滞后误差  $\leq 0.1\% \text{F.S.}$ , 分辨力 0.1mm, …… , 达到目前国际上同类产品技术指标的先进水平。

表 1 以白纸为目标时, 激光测距传感器的测试结果

测试距离(mm) 次数	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
第一次正向	0.00	10.00	19.90	30.09	40.00	50.00	60.11	69.68	80.53	90.70	100.70
第一次反向	0.00	10.20	20.37	30.00	40.09	49.71	60.00	69.88	80.13	90.70	100.90
第二次正向	0.14	10.30	20.22	30.26	40.18	50.10	60.11	70.42	80.53	90.70	101.00
第二次反向	0.14	10.40	20.22	30.18	40.54	50.10	59.90	70.42	80.78	91.05	100.70

## 5 激光测距传感器应用于工业检测的若干问题

在现代工业中, 有许多场合需要现场在线检测距目标物体的距离、目标物体的厚度、及外部几何尺寸等, 特别是在机械加工业、钢铁工业、橡胶制品和造纸等行业中, 如何能更快、更好、更广泛地在线检测被加工物体的外部形状和尺寸, 钢板、橡胶、纸张等的厚度及平整度等, 日益成为国内外工业检测领域中的热门话题。为了配合 863 要在国民经济主战场上作贡献的战略转移, 我们对将激光测距传感器应用于工业现场检测的问题进行了研究和探讨。

首先从传感器本身的问题看将其应用于工业检测领域的问题。在实验中我们发现, 被测物体表面的特性会对激光测距传感器的输出结果有一定影响, 它主要表现在如下两方面。

1) 被测物体表面特性不同, 对入射其上的激光光束的散射能力也不同, 因而位敏器件 PSD 接收到的散射光斑也有强有弱, 产生的光生电流也有强有弱。从理论上讲光生电流的大小和检测的距离无关, 但是考虑到输出电流的信噪比变化, 则影响了传感器输出精度。

2) 被测物体表面特性的变化, 将使散射光斑的中心位置发生偏移。例如目标物体表面的粗糙程度, 几何形状及颜色等不一致时, 除了会使 PSD 接收的散射光斑强度发生变化外, 还会使散射光斑的几何形状和能量分布发生变化, 从而使光斑中心位置发生偏移, 使传感器测试精度下降。

实验表明, 散射能力强的物体(如白纸、铝板等)和具有均匀漫反射特性的物体(如白纸等)作为检测对象时, 传感器精度较高; 而散射能力弱的物体(如橡胶)和表面特性非均匀的物体(如锈钢板等)作为检测对象时, 精度将降低。

其次, 由于工业检测现场的条件和要求有别于实验室而引起的将传感器应用于工业现场的困难, 它表现在以下方面。

(a) 工业现场环境一般都比较恶劣, 强烈的震动、噪声、粉尘以及水、油蒸气等都会给目前的激光测距传感器正常工作带来困难。

(b) 工业现场检测的目标物体一般本身温度都较高, 有较强的红外辐射, 因此有较强的干扰信号, 这将降低测距传感器的输出精度。

(c) 工业在线检测一般都需要长时间连续作业, 因此对测距传感器的时漂、温漂, 以及工作可靠性指标都有很高的要求。

由此可见,将激光测距传感器应用于工业现场检测还有大量的工作要做,其中主要的问题有以下两点.

- (1) 增加激光器的发射功率,减少材料表面特性对传感器输出精度的影响;
- (2) 增加保护防护措施,使传感器能在恶劣的环境下工作.

### 参 考 文 献

- 1 Michael T Breen. Laser Distance Measuring Method and Apparatus. United States Patent, No 485693, Aug 15, 1989
- 2 Tokujji Okada (Japan). Development of an Optical Distane Sensor for Robots. The International Journal of Robotics Research, 1982, 1(4), 3~14
- 3 井上右一. 用位置检测元件的激光位移计. 国外计量, 1990, (4)
- 4 周学才, 郑时雄. PSD位置测试系统的研究. 第2届机器人学术会议论文集, 1989
- 5 祝杰, 戴立铭等. 激光三角法测量检测. 仪表技术与传感器, 1992, 1, 18~20
- 6 王国泰, 朱尚明, 王杰高. 激光测距传感器应用特性的分析与研究. 中国仪器仪表学会过程检测控制协会光电检测专题讨论会论文集, 1992
- 7 朱尚明, 葛运建. 机器人接近距离传感器发展方向综述. 机器人情报, 1993, 4, 19~21
- 8 董再勋, 韦穗, 葛运建. 工业自动检测技术的现状与发展. 机器人, 1994, 16(增)

## DEVELOPMENT OF LDSR LASER DISPLACEMENT SENSOR AND STUDY OF THOSE PROBLEMS RELATED TO IT IN INDUSTRY

GE Yunjian ZHU Sangming XING Wu WANG Guotai ZHU Yongliang WAN Lili  
(Hefei Institute of Intelligent Machines, Academia Sinica 230031)

**Abstract** The laser displacement sensor developed by Hefei Institute of Intelligent Machines has specifications reached an advanced level of international products. It has standard interface in serial for communication with computer, digit and analog signal output correspond to the distance detected. A discussion of other problemes related to the laser displacement sensors used in industrial applications is also included.

**Key words** Laser displacement sensor. PSD. industrial measurement

### 作者简介

- 葛运建: 男, 49岁, 博士, 副研究员. 研究领域: 计算机应用、传感技术.  
朱尚明: 男, 29岁, 讲师, 硕士. 研究领域: 智能仪表、测试技术.  
邢武: 男, 33岁, 助研, 硕士. 研究领域: 传感技术, 智能仪器.