

文章编号: 1003-501X(1999)03-0042-05

# 红外主动式 PSD 测距系统

冯华君, 徐之海, 李 奇

(浙江大学光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

**摘要:**主动式 PSD 测距系统是一种无运动机构、结构简单、精度较高的实用型测距系统。介绍了该系统原理, 给出了测距系统的计算公式及计算结果。讨论了控制电路原理和电路设计中的关键问题, 并应用此电路进行了测距实验, 得出了实验数据和结论。

**关键词:**测距系统, 位置敏感器件, 红外测距, 控制电路。

**中图分类号:**TH76

**文献标识码:**A

## An Infrared Active Position Sensitive Device Range Finding System

FENG Hua-jun, XU Zhi-hai, LI Qi

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrument,  
Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** An infrared active Position Sensitive Device(PSD) range finding system is a practical, simple and high-accuracy range finding system without moving mechanism. The operating principle of the system is introduced in the paper and the calculating equations for the range finding system are given. The principle of the control circuit and the key problems in circuit design are discussed. The range finding experiments are carried out with this circuit. The experimental data and the conclusions are obtained.

**Key words:** Range-finding optical systems, Position sensitive devices, Infrared ranging, Control circuits.

收稿日期: 1997-07-31; 收到修改稿日期: 1998-08-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69775020)

作者简介: 冯华君(1963-), 男(汉族), 浙江杭州人, 浙江大学教授, 硕士导师, 中国光学学会光电技术专业委员会委员, 《光电工程》编委, 主要从事光学仪器研究; 徐之海(1964-), 男(汉族), 浙江杭州人, 副教授, 工博士, 硕士导师, 主要从事光学仪器研究; 李奇(1973-), 男(汉族), 黑龙江牡丹江市人, 工硕士, 从事光学仪器研究。

CLC number:TH76

引言

对某一特定物体距离的测量是光学仪器领域的热门课题之一。在机器人视觉方面,快速精确的测距系统使机器人迅速准确地判断目标与机器人的距离,以便使机器人迅速做出相应的判断和动作。在照相机或其它成象仪器中,精确地获得目标距离信息,可使仪器成象清晰,获得满意的效果。

测距方法很多,目前应用较多的主要有反射能量法、超声时间法、带运动机构的双象比较法和 PSD 测距法<sup>[1,2]</sup>。反射能量法中仪器发射一束光(通常是近红外光)照射到被测物体表面,仪器同时接收被测物体的反射光能量,根据接收到的反射光能量来判断被测物体的距离;超声时间法测量一束超声波从发射到反射回仪器的时间来判断被测距离;带运动机构的双象比较法则比较复杂,系统中有二套光路对被测物体成象,其中一套光路是经过可运动的反光镜获得的,接收系统及时比较二套光路来的图象,当二者一致时,就可根据可运动反光镜的位置来获得物体的距离信息;PSD 测距法利用三角测距原理,用一种称之为位置敏感器件( Position Sensitive Device) 的 PSD 元件来获得二路输出信号,根据这二路信号来获得物体的距离量值。本文将对此作一介绍,并给出部分实验结果。

1 PSD 测距原理

位置敏感器件 PSD 是在表面层能产生光电效应的 PN 结上,分别引出相对应的二组电极和公共极,如图 1 所示。

在 PSD 元件上,电极 A 到电极 B 的距离为  $D$ ,其内阻为  $R_D$ 。当接收入射光线后,光束位置到电极 A 的距离为  $x$ ,相应电阻值为  $R_x$ 。由于光线入射后产生光电子,使电阻层内的光电流与入射光强成正比,并与入射光束到各电极间的距离成正比。当入射光点一定后,则在电极 A 与电极 B 处,产生与入射点到相应电极的间距有关的对应电流。例如,光束激发后的总光电流为  $I_0$ ,相应电极 A 与电极 B 端产生的电流分别为  $I_A$  和  $I_B$ ,各量值符号的意义如图 1 所示,测距系统几何关系如图 2。为使测距范围更宽、灵敏度更高,PSD 的中心并不对准无限远,而是对准中间距离  $l_0$  处。由几何关系可知,这时的 PSD 实际上已经移位了一个偏移量  $\Delta x_0$ :

$$\Delta x_0 = l_b f' / l_0 \tag{1}$$

式中  $f'$  为测距接收透镜焦距,  $l_b$  为接收透镜与发射透镜距离。根据 PSD 特性,当被测物距为  $l$  时,有

$$I_A \propto \frac{D}{2} + \Delta x = \frac{D}{2} + \left\{ \frac{l_b f'}{l} - \Delta x_0 \right\} \tag{2}$$

$$I_B \propto \frac{D}{2} - \Delta x = \frac{D}{2} - \left\{ \frac{l_b f'}{l} - \Delta x_0 \right\} \tag{3}$$

输出信号的比值  $P_1$  与距离  $l$  有关;

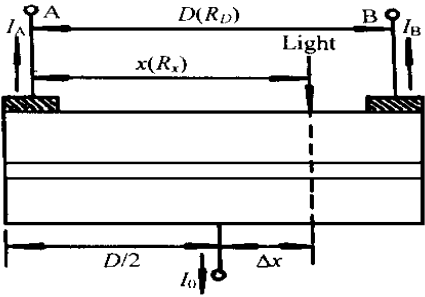


图 1 PSD 元件结构  
Fig. 1 Constitution of position sensitive device

$$P_l = \frac{I_A}{I_B} = \frac{\frac{D}{2} + \left\langle \frac{l_b f'}{l} - \Delta_{x_0} \right\rangle}{\frac{D}{2} - \left\langle \frac{l_b f'}{l} - \Delta_{x_0} \right\rangle} \quad (4)$$

$$\frac{1}{l} - \frac{1}{l_0} = \frac{D}{2l_{bf}}, \quad \frac{P_l - 1}{P_l + 1} \quad (5)$$

当测距系统结构确定后,  $l_b, f', D$  为常数, 设

$$M = D/2l_{bf} \quad (6)$$

则  $\frac{1}{l} - \frac{1}{l_0} = M \frac{P_l - 1}{P_l + 1}$

上式表示输出电流的比值  $P_l$  与物距  $l$  的相互关系, 所以不需确定各点电流值, 完全可由比值  $P_l$  获得相应于被测物距  $l$  的参数值。这种方式可降低对控制电路的要求, 测距变得比较容易。如系统结构选  $l_b = 34\text{mm}$ ,  $f' = 15\text{mm}$ ,  $D = 3\text{mm}$ , 中间基准物距取  $l_0 = 2\text{m}$  时,  $P_l$  值与物距  $l$  的关系如表 1。

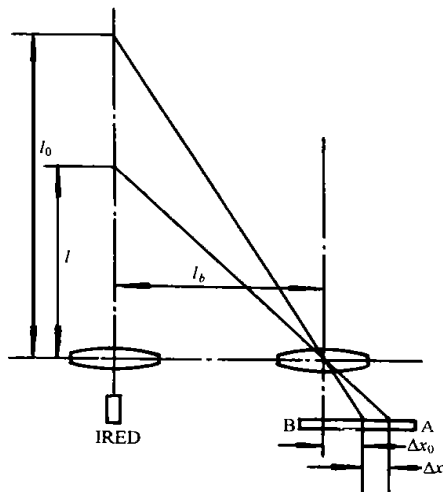


图 2 测距系统结构

Fig. 2 Constitution of the range finding system

表 1  $\Delta V_{AB}, P_l$  与  $l$  的关系Table 1 Relations of  $\Delta V_{AB}$ ,  $P_l$  and  $l$ 

Distance $l$ (mm)	$\frac{1}{l} - \frac{1}{l_0}$ (mm $^{-1}$ )	$P_l$	$\Delta V_{AB}$ (mV)	$V_{out}$ (V)
1000	$5.0 \times 10^{-4}$	1.410	8.68	4.34
1100	$4.09 \times 10^{-4}$	1.323	7.08	3.54
1200	$3.33 \times 10^{-4}$	1.256	5.76	2.88
1400	$2.14 \times 10^{-4}$	1.157	3.68	1.84
1600	$1.25 \times 10^{-4}$	1.089	2.15	1.08
1800	$0.56 \times 10^{-4}$	1.039	0.97	0.48
2000	0	1	0	0
2500	$1.0 \times 10^{-4}$	0.934	-1.72	-0.86
3000	$1.67 \times 10^{-4}$	0.893	-2.86	-1.43
4000	$2.50 \times 10^{-4}$	0.843	-4.58	-2.29
5000	$3.0 \times 10^{-4}$	0.815	-5.16	-2.58
10000	$4.0 \times 10^{-4}$	0.760	-6.93	-3.47

$P_I$  是 A、B 二路电流的比值, 实际电路中要做除法运算是很困难的, 可把  $I_A, I_B$  进行对数压缩, 也可先把  $I_A, I_B$  分别以相同放大倍率放大和隔直选频后再进行对数压缩, 以  $V_A$  和  $V_B$  表示(见本文第二部分控制电路), 再进行减法运算和放大处理。设对数压缩前的放大隔直选频电路放大倍率为  $\beta$ , 则有:

$$V_A = \frac{kT}{e} \ln \frac{\beta I_A}{I_0} \quad (8)$$

$$V_B = \frac{kT}{e} \ln \frac{\beta_{IB}}{I_0} \quad (9)$$

$$\Delta V_{AB} = V_A - V_B = \frac{kT}{e} \ln \frac{\beta I_A}{\beta I_B} = \frac{kT}{e} \ln P_l \quad (10)$$

式中玻尔兹曼常数  $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ; 电子电量  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ; 室温下  $T = 293 \text{ K}$ 。由式(10)可见, 减法器输出值与预放大倍率  $\beta$  无关, 仅与  $P_i$  值有关。设减法电路后的放大电路的放大倍率为  $\beta$ , 其输出电压为

$$V_{\text{out}} = \beta \Delta V_{\text{AB}} = \beta \frac{kT}{e} \ln P_i \tag{11}$$

本系统取  $\beta = 500$ , 则不同物距时所对应的  $\Delta V_{\text{AB}}, V_{\text{out}}$  值也可计算得到, 列于表 1 内。

## 2 控制电路

控制电路原理如图 3, 包括发射电路(a)和接收电路(b)两大部分。发射电路采用选频调制系统。根据 IRED 发射管与 PSD 接收器件的选频特性, 采用约 700Hz 频率的调制系统, 由 IRED 管发射一个  $f \approx 700 \text{ Hz}$  的延续约 100ms 的脉冲光信号。采用脉冲信号的主要目的是: 1) 与干扰信号区别开, 易于消除噪声; 2) 将有用信号与自然界中的自然光产生的直流信号相隔离; 3) 在发光二极管 IRED 允许的情况下, 提高瞬间发光功率。

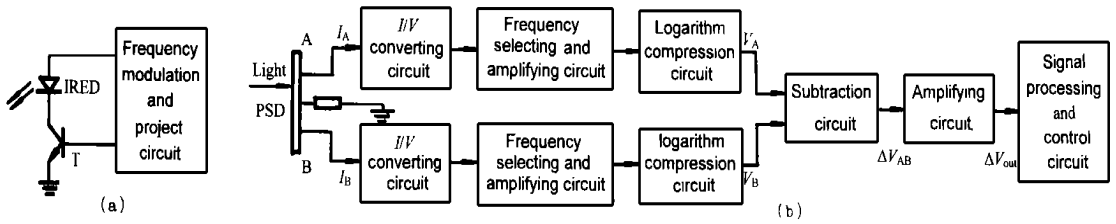


图 3 控制电路原理图

Fig-3 Schematic diagram of the control circuit

接收部分电路中, 当有红外光束照射在 PSD 上时, A, B 二端均有光电流输出。二端的光电流分别经完全相同的二套电路进行电流电压转换、选频放大和对数压缩, 然后作减法运算, 再经放大, 即得到一个与比值  $P_i$  有关的输出信号。

在本电路中有几点值得指出: 1) 由于发射部分发出的是一个振荡信号, 因而发射部分对接收部分的干扰十分严重, 如果不去掉这种干扰, 那么在远距离时, 干扰信号将大于有用信号, 使电路不能正常工作, 为此而采取的主要措施有: ①空间隔离; ②电路屏蔽; ③电容稳定电源。2) 虽然对数压缩前的放大倍率对电路输出结果无影响, 但仍应以电路不饱和、工作在最佳状态为原则。由于自然光照明物体部分的光线进入 PSD 后产生的光电流较大, 为防止饱和, 选频放大前的放大倍率  $\beta$  不宜过大。3) 对数压缩电路采用二极管压缩, 二极管的温度特性对于输出结果有较大影响。本系统二套电路对数压缩后的输出作减法运算, 因此二只对数管宜采用制造工艺一致的对管, 以互相抵消温度漂移的影响。

## 3 实验结果及讨论

上述电路完成后, 把目标置于 2m 处, 对 PSD 位置及电路进行定标固定, 使物距为 2m 时电路输出为零。定标以后, 移动目标, 测出不同物距时的输出电压  $V_{\text{out}}$ , 然后根据实测  $V_{\text{out}}$  值由

公式(11) 计算  $P_l$  值,再由(5) 式计算得到测量结果  $l'$ ,列于表 2 中。实际物距  $l$  与测量结果  $l'$  的关系曲线如图 4 所示,坐标以  $1/l$  和  $1/l'$  表示,图中 45° 斜线即为无误差时的理想情况。由图可见,实测结果与理想曲线比较接近,完全能满足类似于照相机、摄像机等一般光学仪器的测距需要。

表 2 距离测试结果

Table 2 Range finding results

Dirtance $l$ ( mm )	$V_{out}$ ( V )	$P_l$	Result $l'$ ( mm )
1000	4.81	1.464	949
1100	4.25	1.400	1010
1200	3.55	1.325	1098
1400	2.02	1.174	1360
1600	1.08	1.089	1599
1800	0.77	1.063	1696
2000	0	1	2000
2500	-0.76	0.942	2426
3000	-1.25	0.906	2817
4000	-1.43	0.893	2996
5000	-2.37	0.829	4444
10000	-2.99	0.789	6531

距离测量结果  $l'$  的精度与 PSD 的位置分辨误差  $\Delta x$ 、基线长度  $l_b$  和接收透镜焦距  $f$  以及控制电路精度有关。参见图 2,距离测量误差  $\Delta = l_0 - l$  与 PSD 位置分辨误差  $\Delta x$  相对应:

$$\Delta x = \frac{l_b f'}{l} - \frac{l_b f'}{l_0} = \frac{\Delta l_b f'}{(\Delta + l) l} \tag{12}$$

得

$$\Delta = l^2 / \left[ \frac{l_b f'}{\Delta x} - l \right] \tag{13}$$

由上式可见,增大基线长度  $l_b$  和接收透镜焦距  $f$  将有利于提高任何物距  $l$  时的测距精度。在系统结构尺寸固定后,PSD 位置分辨误差  $\Delta x$  是影响精度的主要因素,因此选用优质 PSD 以提高控制电路精度非常重要。式(13) 还表明,  $\Delta$  与  $l^2$  成正比,因此,该系统较适合于近距离、中距离物体的测距。

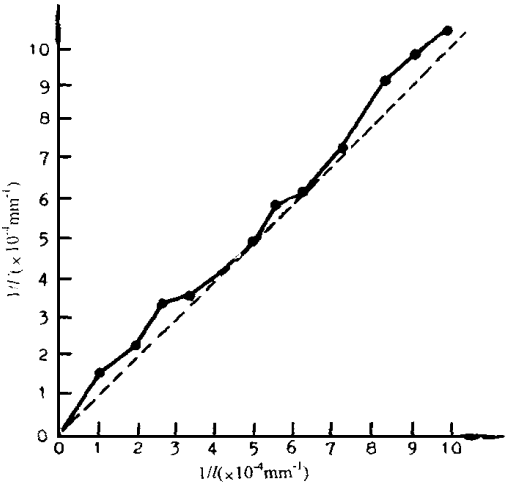


图 4 距离测试结果

Fig.4 Range finding results

参考文献:

[1]王兆远.照相机原理结构设计基础[M].北京:机械工业出版社,1991.293-306.  
[2]冯华君.反射能量法测距对焦系统及其重叠设计法[J].光电工程,1998,25(2):48-53.  
[3]Geng Z J. Rainbow 3 dimensional camera:new concept of high-speed three-dimensional vision systems [J].Opt.Eng.,1996,35(2):376-383.