

文章编号:1002-2082(2007)01-0030-03

空间光通信 APT 探测技术中位置敏感器件(PSD)的研究

袁纵横^{1,2}, 张文涛²

(1. 贵州民族学院 贵阳 550025; 2. 桂林电子科技大学 广西 桂林 541004)

摘要: 鉴于空间光通信系统中分辨率在很大程度上影响着整个通信系统的性能,而 PSD (position sensitive detector) 作为 APT (acquisition, pointing and tracking) 子系统常用的探测器件,具有分辨率高,无盲区,响应速度较快的优点,分析了 PSD 的基本结构和定位原理,研究了使用 PSD 作为空间光通信 APT 子系统粗跟踪技术的位置分辨率,并指出了提高 PSD 分辨率的着手点。用实验方案对 PSD 的分辨率进行了具体的实验分析。通过对实验数据分析可知,PSD 的平均位置分辨率达到 $12.6 \mu\text{m}$,该值与理论分辨率吻合得较好。这说明 PSD 作为 APT 子系统精跟踪探测器的可行性。

关键词: 空间光通信;位置敏感探测器;分辨率

中图分类号:TN929.11

文献标志码:A

Position sensitive devices in APT detection technology used in optical communication

YUAN Zong-heng^{1,2}, ZHANG Wen-tao²

(1. Guizhou University for Nationalities, Guiyang 550025, China;

2. Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In free-space optical communication system, the resolution is a very important parameter, which affects the performance of the whole system. As a common detector in the sub-system of APT, PSD has some advantages, such as high resolution, no blind area, high-speed response, etc. The basic architecture of PSD and its detection theory are analyzed, the position resolution in spatial optical communication achieved with PSD is investigated, and the methods are presented to improve the position resolution of PSD. A set of experiment system was set up to analyze the resolution of PSD in sub-system of APT. Through the analysis of the data which we achieve, the average position resolution is up to $12.6 \mu\text{m}$ which agrees with theoretical resolution quite well. The feasibility of PSD as a fine tracking detector in the sub-system of APT is proved.

Key words: space optical communication; PSD; revolution

引言

与其光电探测器件的发展分不开的。当前已有很多

空间光通信技术之所以大有蓬勃发展之势,是

性能优越的通用或专用光电二极管,仅敏感探测器

收稿日期:2006-07-10; 修回日期:2006-11-08

基金项目:贵州省教育厅自然科学基金(黔科教2004122)

作者简介:袁纵横(1957-),男,贵州贵阳人,博士,主要从事光纤道路和大气光通信技术的研究。E-mail:yuanzongheng@sina.com

件就有位置敏感探测器件(PSD)、电荷耦合器件(CCD)、像限探测器件(QD)等多种。在光通信APT技术中,位置误差信号的提取是非常关键的一环,它在很大程度上影响着整个APT系统的精度,故在APT系统中,探测器件的选择非常重要。同时,对光电探测器件的性能,尤其是位置分辨率的分析和研究很有意义。

PSD器件具有光电输出线性良好、分辨率高、响应速度快,与CCD相比后续处理电路结构简单,没有探测器自身噪声电荷积累,与QD相比没有探测死区,可以获得连续的信号等特点,故在APT探测系统中常选用PSD作为探测器件。

1 PSD的工作原理和基本结构

PSD是以PN结的横向电阻特性来完成定位光电探测的,到20世纪70年代逐渐发展为以面硅光电池为主要类型。它是利用半导体PN结的横向电阻效应达到器件对光信号位置敏感的,核心部件是一个大面积光电二极管,通常是在半导体衬底表面扩散或注入杂质形成 p^-n^+ 层或 n^-p^+ 层。

图1是定位所用的双横向PSD结构图。图中电极A,B,C,D分别处在由PN结隔离的2个平面上,在理想情况下,上、下两层间没有电流流过,但在光照射处有光电流从上层流向下层,因此,两层上的电极都能独立地进行光信号定位检测。以PSD的中点为原点,入射光点H的坐标(x,y)可以表示为以PSD电极的输出电流为参数的表达式:

$$\begin{cases} x = \frac{L I_a - I_b}{2 I_a + I_b} \\ y = \frac{L I_c - I_d}{2 I_c + I_d} \end{cases} \quad (1)$$

式中: L 为PSD的边长; I_a, I_b, I_c 和 I_d 分别为PSD电极A,B,C,D输出的光电流(其中 $I_a + I_b = I_c + I_d = I_o$)。所以,由PSD电极流出的电流就能确定光点在PSD平面上的位置。

当PSD应用于定位系统时,经过对(1)式的简单推导,入射光点H的坐标可以表示为

$$\begin{cases} x = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right) \frac{V_a - V_b}{AR_L I_o} \\ y = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right) \frac{V_c - V_d}{AR_L I_o} \end{cases} \quad (2)$$

式中: A 为增益电路的放大倍数; R_L 是PSD的负载电阻; R 是PSD的极间电阻; V_a, V_b, V_c 和 V_d 分别是A/D转换器的输入电压。由PSD的基本工

作原理及相关结构可以看出,PSD非常适合于空间光通信的APT系统。

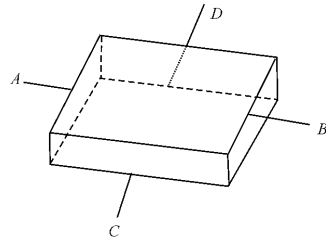


图1 双横向PSD结构图

Fig.1 Configuration frame of bi-transverse PSD

2 PSD的分辨率

在空间光通信技术中,为了使跟瞄系统能准确、实时地对准目标,并使通信能稳定地进行,要求探测器的分辨率应尽量高。当不考虑系统噪声时,由(2)式可以得到使用PSD时的粗跟踪对准系统的理论分辨率公式

$$\begin{cases} \Delta x = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right) \frac{2V_{\min}}{AR_L I_o} \\ \Delta y = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right) \frac{2V_{\min}}{AR_L I_o} \end{cases} \quad (3)$$

式中 V_{\min} 是A/D转换器的分辨率。由(3)式可以看出,当使用PSD作为系统的光电探测器件时,要提高系统的分辨率,应提高放大器的增益,使用位数较多的A/D转换器,并选用极间电阻较大的PSD。另外,由(3)式还可以看出,PSD用于系统时其分辨率与光强有关,当照射在PSD光敏元上的光功率增大时,光电流 I_o 增大,从而使系统的分辨率也随之提高。

若误差信号处理电路的增益 A 为300,PSD的边长 $L=10$ mm,负载电阻 $R_L=10$ k Ω ,极间电阻 $R=20$ k Ω ,PSD的边长 $L=10$ mm,12位A/D转换器AD574的分辨率 $V_{\min}=2.44$ mV, $I_o=1.5 \times 10^3$ mA,则由(3)式可以估算出系统的位置分辨率:

$$\Delta x = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{2R_L}{R}\right) \frac{2V_{\min}}{AR_L I_o} = 10\,000 \times \left(1 + \frac{2 \times 10\,000}{3\,000}\right) \times \left(\frac{2.44}{200 \times 10\,000 \times 1.5 \times 10^3}\right) = 10.9 \mu\text{m}$$

3 实验及结果分析

当入射信号光功率约为3 μW ,背景光功率小于1 μW ,入射光斑在PSD中心位置时,以PSD的中心为坐标原点,用螺旋测微仪沿 x 轴方向移动PSD,使

光斑向边沿移动, PSD 每移动 100 μm 后,将 PSD 的电极 A 与 B 的输出信号经过 A/D 转换器送入计算机中进行处理,实验装置方框图如图 2 所示。

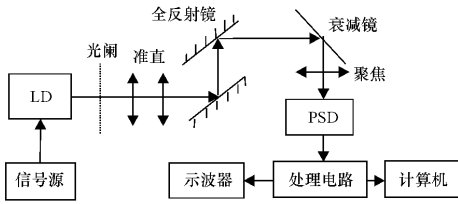


图 2 实验系统方框图

Fig. 2 The block diagram of experiment system

实验中,入射信号光功率约为 3 μW ,背景光功率小于 1 μW 。根据测试数据绘制的电路输出与光点坐标曲线如图 3 所示。

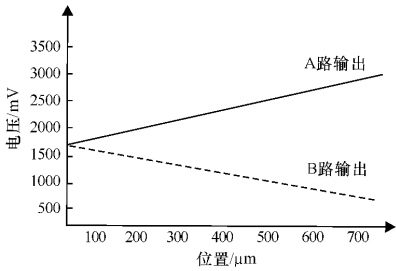


图 3 电路电压输出与光点位置坐标图

Fig. 3 The coordinate diagram of circuit voltage output and light point position

由实验数据计算可知,一般情况下 PSD 的平均位置分辨率可达 12.6 μm ,与(3)式的估算吻合较好。

4 结束语

通过上面的理论和实验数据的分析可以看出: PSD 的分辨率可以达到十几个微米,该值可完全满足空间光通信 APT 子系统中的探测精度要求。另外, PSD 的响应速度快,没有探测盲区的特点也使得它在空间光通信系统中具有广泛的应用。

参考文献:

[1] NIELSEN T T. Pointing acquisition and tracking system for the free space laser communication system[J]. SPIE,1995,2381:194-205.

[2] KAZOVSKY L G. Theory of tracking accuracy of laser systems[J]. Optical Engineering,1983,22(3): 339-346.

[3] 李睿,赵洪利,曾德贤. 空间激光通信及其关键技术[J]. 应用光学,2006,27(2):152-154.
LI Rui, ZHAO Hong-li, ZENG De-xian. Free-space laser communication and its key technology [J]. Journal of Applied Optics, 2006,27(2):152-154. (in Chinese)

[4] 李晓峰,胡渝. 空间光通信 ATP 系统设计中的基本概念及关键参数探讨[J]. 应用光学,2003,24(3):11-13.
LI Xiao-feng, HU Yu. The analysis of some major parameters in ATP system design [J]. Journal of Applied Optics, 2003,24(3):11-13. (in Chinese)

[5] 陈根祥,秦玉文,赵玉成,等. 光通信技术与应用[M]. 北京:电子工业出版社,1998:203-228.
CHEN Gen-xiang, QIN Yu-wen, ZHAO Yu-cheng, et al. Optical communication and its application[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998, 203-228. (in Chinese)

(上接第 19 页)

microchannel plate. U S,5015909[P]. 1991-05-14.

[11] GIRPIN M. Significantly extended life of image intensifiers using Litton's high performance MCP [J]. SPIE,1992,1655:179-187.

[12] RICHARD Lehman. Lead ion stability in soda-lime lead silicate glasses [J]. Journal of American Ceramic Society. 1992,75(8):2194-2198.

[13] WHITE P L, LAPRADE B N. Electron multipliers with reduced ion feedback; US, 4978855 [P]. 1990-11-18.

[14] ESTRERA J P, BENDER E J, GIORDANA A,

et al. Long lifetime Generation IV image intensifiers with unfilmed microchannel plates[J]. SPIE. 2000, 4128:46-53.

[15] IOSUE M J. Night vision device and method; US, 6198090 [P]. B12001-03-06.

[16] 潘京生. 三代像增强器用微通道板的改进与发展 [J]. 应用光学, 2006,27(3): 211-215.
PAN Jing-sheng. Development of microchannel plate used for 3rd generation image intensifier[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(3): 211-215. (in Chinese)