

文章编号: 1001-3806(2008)02-0140-03

日盲型紫外探测系统中目标定位的研究

杨 承^{1,2}, 曾钦勇^{1,2}, 朱大勇^{1*}, 甘春泉²

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054; 2. 西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 为了研究日盲型紫外探测中的目标定位, 设计了 1 套紫外探测实验系统。提出了 1 种基于目标图像的定位算法, 通过确定目标在像平面上的位置, 计算目标方位角。对系统及算法进行了理论分析和实验验证。以氙灯为目标的紫外光源, 探测系统在 30m 处取得了 0.5° 的方位角测量精度。结果表明, 该定位算法是可行的。这一结果对进一步开展远距离实验、完善系统是有帮助的。

关键词: 成像系统; 目标方位角测量; 形心跟踪; 日盲; 紫外探测

中图分类号: TN23; TN911.73 **文献标识码:** A

Study on the target location in solar blind ultraviolet detecting system

YANG Cheng^{1,2}, ZENG Qin-yong^{1,2}, ZHU Da-yong¹, GAN Chun-quan²

(1. College of Photoelectric Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract A set of ultraviolet detecting experiment system was designed to study the target location in solar blind ultraviolet detecting. A kind of location algorithm based on the target image was brought forward. Target azimuth was calculated by the location of target on the image plane. The detecting system and algorithm were analyzed and validated in experiment. With 30m between the deuterium lamp and the detecting system, the measure precision of target azimuth angle can reach 0.5°. The result shows that the location algorithm is feasible. The result helps to carry out farther distance experiment and improve the system.

Key words imaging systems; target azimuth measurement; center tracking; solar blind ultraviolet detecting

引 言

自然界中, 太阳是最强烈的紫外光辐射源。当太阳的紫外光通过大气时, 由于大气中的臭氧层对 0.24μm~0.28μm 波段的紫外光强烈地吸收, 使得该波段的紫外辐射难以到达地球, 形成太阳紫外辐射在近地表面的盲区, 通常称之为“日盲区”^[1]。日盲特性为近地表面工作于“日盲区”波段的系统提供了天然的“保护伞”, 当系统进行对空目标探测时, 避开了最强大的自然光源, 系统在背景极其简单的条件下工作^[2], 降低了信号处理的难度, 为紫外信息高速采集提供了方便。目前, 日盲型紫外探测已成功运用于导弹告警、森林防火及电晕监测等实用系统中^[3-6], 紫外目标的定位精度也成为衡量紫外探测系统的一个重要指标。作者设计了一套日盲型紫外探测系统, 对目标方位角的测量进行了研究和实验, 以氙灯为目标的紫

外光源, 在 30m 处达到 0.5° 的角度测量精度。

1 紫外探测技术

紫外线由于具有频率高、单位光子能量大和“粒子性”等特点, 其探测区别于可见光和红外线, 有自身的独特性。紫外探测方法大致可分为 3 类: 荧光转换法、分光光度法和卫星遥感法。影响紫外探测技术实现的因素可归纳为 3 个方面: (1) 紫外线大气传输理论、散射模型和仿真系统的建立; (2) 高灵敏度、低噪声紫外探测器件以及透紫外光学系统的研制; (3) 弱信号接收、处理系统的开发^[7]。

对紫外探测系统而言, 紫外探测器件直接影响系统的性能。紫外探测器应满足以下几个条件: 对紫外波段以外的光线不敏感, 具有较高的量子效率、较大的动态范围、较低的噪声和较强的放大能力。目前常见的紫外探测器件可分为真空器件和固体器件两大类, 经过科研工作者的不懈努力, 器件的性能指标不断提高, 尤其是近年来微通道板 (micro-channel plate, MCP) 及紫外 CCD 技术的日趋成熟, 将紫外探测技术推向新的发展阶段。

作者简介: 杨 承 (1980-), 男, 博士研究生, 现主要从事光电和光信息处理方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: dyzhu@uestc.edu.cn

收稿日期: 2007-01-05; 收到修改稿日期: 2007-03-13

2 日盲型紫外探测系统

探测系统按其探测器件可分为单元型和成像型两种,前者的探测器件为光电倍增管,后者为 CCD 等成像器件,本文中主要讨论成像型探测系统。

成像型紫外探测系统基于摄影成像原理,通常由探测成像单元、信息处理单元和结果输出单元 3 部分组成。其工作过程大致为:光学系统以大视场、大孔径对空间紫外信息进行接收,由紫外探测器将视场空间内特定波长紫外辐射光子(包括目标和背景)进行光电转换以形成可见光图像,然后经视频采集卡将可见光图像送入计算机进行处理,最后按系统的需要输出处理结果^[8]。

成像型紫外探测系统的探测成像单元主要由物镜、紫外滤光片、像增强器和可见光 CCD 组成。图 1 为紫外探测系统探测成像单元原理示意图,目标的紫



Fig 1 Principle of the detecting imaging unit in ultraviolet detecting system
外辐射经物镜、紫外滤光片会聚到像增强器上产生可见光图像,再由光纤光锥将可见光图像耦合到可见光 CCD 靶面上,最后经 CCD 读出电路输出图像信号。图 2 为根据此原理设计的探测成像单元实景图。



Fig 2 Image of the detecting imaging unit in ultraviolet detecting system

日盲波段紫外信号有别于可见光和红外信号,这对系统的探测成像单元器件有特殊的要求。系统中的物镜采用特殊光学材料,在日盲波段透过率大于 0.6 而像增强器的光电阴极在日盲波段具有较高的灵敏度,像增强器内部的 3 级连 MCP 结构提供了高的信号增益。此外,日盲滤光片、高效率的光纤光锥耦合技术以及高灵敏度 CCD 的配合运用,确保了系统能采集到低噪声、高信噪比的目标紫外图像,为信息处理单元提供了良好的素材。

3 目标定位的算法理论

对被动成像探测系统而言,目标方位角是表征其定位性能的一个重要参数。由几何光学理论,入射光线通过镜头光心时不发生折射^[9],以此为基础,可以推导目标方位角的测量算法。

如图 3 所示,将物镜和紫外滤光片整体视为焦距

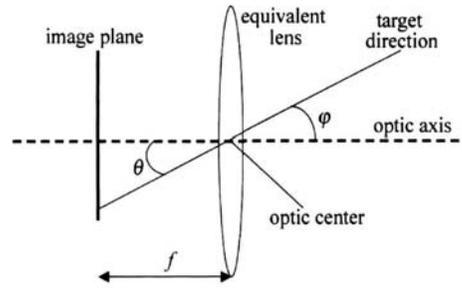


Fig 3 Measurement of target azimuth

为 f 的等效透镜,通过等效透镜光心的光线在物方和像方与光轴的夹角分别为 φ 和 θ 显然 φ 和 θ 是相等的。当目标在像平面上成像尺寸较小时,可以用 φ 来表示目标偏离光轴的角度,在水平平面和竖直平面里该角度就可以用来描述方位角。而根据目标在靶面上成像的位置和焦距 f ,可以计算出 θ 值。本文中所讨论的探测成像单元中,由于光纤光锥的几何放大率 $m = 1$,可以利用 CCD 读出的目标图像来确定目标在像增强器靶面上成像的位置。

为确定目标的成像位置,以 CCD 靶面中心为原点建立坐标系,如图 4 所示,其中 x 轴和 y 轴分别平行于 CCD 靶面的横向和纵向,其坐标表示像点的实际位置。

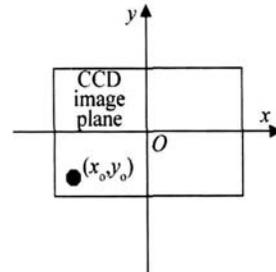


Fig 4 Axes of CCD image plane

从 CCD 中读出图像,利用形心提取技术,可以得到目标像中心的像素坐标 (x_{cp}, y_{cp}) ,设 CCD 靶面中心的像素坐标为 (x_{cp}, y_{cp}) ,根据图像像素坐标系与 CCD 靶面坐标系的关系,可以求得靶面目标像中心的位置坐标 (x_o, y_o) 为:

$$x_o = (x_{cp} - x_{cp}) \times d_h, y_o = (y_{cp} - y_{cp}) \times d_v \quad (1)$$

式中, d_h, d_v 分别表示 CCD 像元在水平和垂直方向的尺寸。其计算公式为:

$$d_h = \frac{l_h}{n_h}, d_v = \frac{l_v}{n_v} \quad (2)$$

式中, l_h, l_v 分别表示 CCD 靶面的横向和纵向尺寸, n_h, n_v 分别表示 CCD 在横向和纵向的像素总数。

本文中所讨论的探测系统使用长焦距镜头,镜头畸变可以忽略不计,由几何关系得到:

$$\varphi_h = \arctan \frac{x_o}{f}, \varphi_v = \arctan \frac{y_o}{f} \quad (3)$$

式中, φ_h, φ_v 分别表示以系统光轴为参照物的水平方

位角和垂直方位角,其角度正负值的意义由图 4 中坐标系确定。

4 目标方位角计算程序

依据前述的算法,编制了计算目标方位角的程序,其流程框图如图 5 所示。

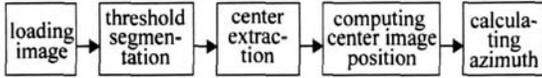


Fig 5 Flow chart for the measurement of target azimuth

程序的主体在阈值分割和形心坐标的提取。为了获得目标与背景的最大差异,程序需要对载入的图像进行二值化处理,即设定一个阈值,以灰度高于或低于该阈值分别重新赋予 1 或 0 的灰度值。阈值的确定可以根据灰度直方图,采用峰值-谷值法^[10]获得。

阈值确定以后,则可以利用下式得到二值化图像:

$$F(x_p, y_p) = \begin{cases} 0 & f(x_p, y_p) \leq T \\ 1 & f(x_p, y_p) > T \end{cases} \quad (4)$$

式中, $F(x_p, y_p)$ 为分割后 (x_p, y_p) 像素的值,而 $f(x_p, y_p)$ 为分割前的值,目标像素的 $F(x_p, y_p) = 1$ 。

形心的计算^[11]分为两步:首先,对目标在 x, y 两个方向进行统计投影,其中 m, n 为波门的长和宽(即搜索图像目标的空间):

$$S(x_p) = \sum_{y_p=0}^{n-1} F(x_p, y_p), S(y_p) = \sum_{x_p=0}^{m-1} F(x_p, y_p) \quad (5)$$

为了运算的准确性,可以对 $S(x_p)$ 和 $S(y_p)$ 进行平均,计算出图像目标总的像素数:

$$N = \frac{S(x_p) + S(y_p)}{2} \quad (6)$$

然后用下面两个算式计算出图像目标的形心坐标 (x_{op}, y_{op}) :

$$x_{op} = \frac{1}{N} \sum_{x_p=0}^{m-1} S(x_p) \cdot x_p, y_{op} = \frac{1}{N} \sum_{y_p=0}^{n-1} S(y_p) \cdot y_p \quad (7)$$

5 测量实验、结果及误差分析

运用作者设计的紫外探测系统,以氙灯为目标的紫外光源,进行了方位角测量实验。实验中用到的设备如图 6 和图 7 所示。

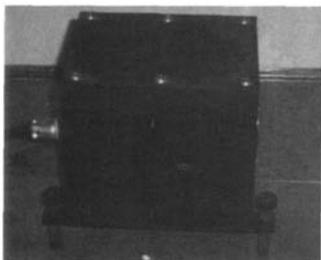


Fig 6 Deuterium lamp



Fig 7 Digital rotation flat

实验时,将氙灯固定在数字旋转平台上,调整旋转平台,使氙灯经过系统成像的中心与 CCD 的靶面中心重合,并将此处设为旋转平台的记数零点。任意调整旋转平台,记录旋转平台上数显角度变化值,利用前面编制的程序计算出角度,将两组数据列表并比较,如表 1 所示。

Table 1 The experimental data and error

number	actual angle/(°)	calculated angle/(°)	error/(°)
1	5.000	4.756	-0.244
2	10.000	10.295	0.295
3	15.000	15.301	0.301
4	20.000	19.559	-0.441
5	-5.000	-5.148	-0.148
6	-10.000	-9.724	0.276
7	-15.000	-15.343	-0.343
8	-20.000	-19.615	0.385

由表 1 可以看出,在氙灯距系统 30m 处,最大测量误差不超过 0.5°。

实验中误差主要来自于 4 个方面:(1)等效透镜焦距 f 的精确确定;(2)镜头的成像畸变^[12];(3)由光纤光锥的耦合引起的图像质量下降;(4)CCD 相机像素识别误差。通过提高系统硬件性能,准确标定参数,同时辅以软件矫正和补偿,可以减小测量误差。

6 结束语

日盲区的存在,给近地探测 0.24μm~0.28μm 范围的紫外辐射提供了良好的背景,日盲型紫外探测系统因此在军事和民用上都拥有较好的应用前景。作者设计了 1 套实验系统,研究了目标定位算法,并以氙灯为目标的紫外光源进行了实验,在 30m 处获得了最大误差不超过 0.5° 的较高方位角测量精度,为进一步开展远距离实验,提供了重要的理论和实验基础。

参 考 文 献

[1] MALKA L, SHMON E, PNHAS L. Solar blind and bispectral imaging with CCD, BCCD and EBCCD cameras [J]. SPE, 1998 3434 22-31.

(下转第 146 页)

$$Q = \frac{\lambda_{FSR}}{\Delta\Omega_{FWHM}} \quad (8)$$

式中, λ_{FSR} 为自由光谱范围对应的波长, $\Delta\Omega_{FWHM}$ 为滤波器的 3dB 带宽。以图 3 为例, 该滤波器的 Q 值约为 1.8, Q 越大, 滤波器的响应率就越高, Q 和抽头的数目 N 有关, 当 N 比较大 (大于 10) 时, $Q \approx N$, 增加抽头数目可以实现微波滤波器的高响应。

温度特性: 温度变化会使滤波器的谱线产生漂移。为了解决这个问题, 可以用温控的激光光源, 如单向的安捷伦位相固体光源; 或对非平衡 M-Z 进行合适的包装和温控的非平衡 M-Z。

增益: 增益主要分为电光转化调制增益、全光处理增益和光电转化增益 3 个阶段, 表示为:

$$G_{RF} = \frac{P_{RF\ out}}{P_{RF\ in}} = \left[\frac{\pi P_{opt} T_{opt} Z_0}{2V_{\pi}} \mathcal{R} \right]^2 \quad (9)$$

式中, Z_0 指的是输入的有效阻抗; V_{π} 是调制模块位相发生 π 变化的电压; \mathcal{R} 是探测器的响应率, P_{opt} 输入的光功率值; T_{opt} 是光功率传输参数。

噪声指数: N_{NF} 定义为整个输出噪声 N_{out} 功率谱密度和参考温度下的热噪声功率谱密度的比值:

$$N_{NF} \text{ (dB)} = 10 \log \left[\frac{N_{out}}{\frac{4kT_0 G_{RF}}{R}} \right] = 10 \log \left[\frac{N_{RN} + N_{shot} + N_{sigASE} + N_{PIN} + N_{th}}{\frac{4kT_0 G_{RF}}{R}} \right] \quad (10)$$

式中, k 是玻尔兹曼常数; $T_0 = 298K$; R 是入射的附载阻抗。从 (10) 式中, 可以看到系统噪声是由不同的噪声源产生的。其中, N_{RN} 是入射光载波产生的相对强度噪声; N_{shot} 是由探测器产生的噪声, 这是一个主要的噪声; 为了补偿滤波器的损耗而增加的放大器, 此放大

器引入了新的噪声, 称为放大器自发辐射噪声, 用 N_{sigASE} 表示; N_{PIN} 是位相强度噪声, 它是由输入光载波的位相发生随机变化形成的; N_{th} 指热噪声, 是滤波器中最主要的噪声。

4 结 论

本方案对微波信号的处理都在光域中, 系统不再受限于电子取样速率瓶颈, 不需要进行电-光和光-电的转换, 系统透明化; 该全光微波滤波器还有尺寸小、重量轻、可调范围大和功率损耗小等优点。

参 考 文 献

- [1] CAPMANY J ORTEGA B, PASTOR D. A tutorial on microwave photonic filters [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology 2006, 24 (1): 201-229.
- [2] SALES S, CAPMANY J, MARTI J, *et al*. Experimental demonstration of fibre optic delay line filters with negative coefficients [J]. Electron Lett 1995, 31(13): 1095-1096.
- [3] YOST T, HERZFELD P, ROSEN A, *et al*. Hybrid transversal filter utilizing MMIC and optical fiber delay lines [J]. IEEE Microwave Guided Wave Letters 1995, 5(9): 287-289.
- [4] COPPINGER, YEGNANARAYANAN S, TRINH PD, *et al*. All optical RF filter using amplitude inversion in a SOA [J]. IEEE Transaction Microwave Theory & Tech 1997, 45(8): 1473-1477.
- [5] LI S, CHANG S, GAMBLING W A, *et al*. A novel tunable all-optical incoherent negative tap fiber-optic transversal filter based on aDFB laser diode and fiber Bragg gratings [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2000, 12(9): 1207-1209.
- [6] CAPMANY J, PASTOR D, MARTINEZA, *et al*. Microwave photonic filters with negative coefficients based on phase inversion in an electro-optic modulator [J]. Opt Lett 2003, 28(16): 1415-1417.
- [7] ZENG F, YAO J P. Investigation of phase-modulator-based all-optical bandpass microwave filter [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology 2005, 23(4): 1721-1728.
- [8] AGRAWAL G P. Nonlinear fiber optics & application of nonlinear fiber optics [M]. 3rd ed Beijing Publishing House of Electronics Industry 2003, 363-365 (in Chinese).
- [9] HU SH, LENG F, LU F. Summarization of ultraviolet waming technology [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2005, 28(1): 12-15 (in Chinese).
- [10] YU D Y, TAN H Y. Engineering optics [M]. 2nd ed Beijing China Machine Press 2006: 17-20 (in Chinese).
- [11] YANG H. Research on thresholding methods for image segmentation [J]. Journal of Liaoning University Natural Sciences Edition 2006, 33(2): 135-137 (in Chinese).
- [12] DIAO Y Y. Research of center extraction of non-coded mark point [J]. Design and Research 2006, 33(5): 10-11 (in Chinese).
- [13] ZHANG J, ZHU D Y, JIA X D. Camera lens distortion calibration with corline points [J]. Laser Technology, 2006, 30(2): 221-224 (in Chinese).
- [14] MAIKA L, SHIMON E, JOSEPH W. Solar blind bandpass filters for UV imaging devices [J]. SPIE, 1998, 3302: 176-183.
- [15] RYAN M, PETER S, KAN M, *et al*. AlGaIn materials and device technology for solar blind ultraviolet photodetector applications [J]. SPIE, 2001, 4288: 221-229.
- [16] ALREZA Y, RYAN M, SHABAN D, *et al*. Future of AlGaIn materials and device technology for ultraviolet photodetectors [J]. SPIE, 2002, 4650: 199-206.
- [17] HUANG Y M. Applications of ultraviolet detecting technology [J]. Infrared 2005, 26(4): 9-15 (in Chinese).
- [18] ZHANG Ch Q. Developing tendency of electro-optical counting techniques [J]. Laser Technology, 2006, 30(3): 238-240 (in Chinese).
- [19] ZHANG Z L, LIU L D. Application of ultraviolet in military engineering [J]. Optical Technique, 2000, 26(4): 289-293, 296 (in Chinese).

(上接第 142 页)