

文章编号:1001-5078(2007)03-0200-04

偏振探测技术在空间目标识别中的应用

谭佐军^{1,2}, 李俊², 陈海清²

(1. 华中农业大学理学院应用物理系; 2. 华中科技大学光电科学与工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:介绍了目前偏振探测技术识别目标的几种方法,分析了国内外偏振探测技术的研究概况、水平和发展趋势,并指出目前国内外偏振探测技术的研究方向。

关键词:偏振; 目标识别; Stokes 参数; 偏振探测

中图分类号: O433.59

文献标识码: A

Application of Polarization Measurement in the Identification of the Space Targets

TAN Zuo-jun^{1,2}, LI Jun², CHEN Hai-qing²

(1. College of Science, Huazhong Agriculture University; 2. Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: A few of ways to measure polarization to distinguish the targets were introduced, research survey, level and the recent progress in polarization measurement were analyzed. The research direction in polarization measurement in the world was pointed out.

Key words: polarization; target identification; Stokes parameters; polarimetric probing

1 引言

地球表面和大气中的任何目标,在反射、散射和电磁辐射的过程中,会产生由其自身性质决定的特征偏振。太阳光波是电磁波,是具有偏振性的横波。自然界中,光滑的植物叶片,江河湖海的水面,冰雪、沙漠、云、鱼鳞和皮革等物体都充当着天然反射起偏器的作用。自然光照射后,反射光中电矢量垂直分量和平行分量的振幅发生变化,因此反射光不再是各向同性的自然光,而成为部分偏振光或线偏振光。人造军事目标表面较光滑,也起到同样的作用,它的反射偏振度与背景不同。物体表面结构、纹理、光入射角度的不同,都会影响反射光波的偏振状态,从而增强物体表面的某些信息。此外,物体的热辐射也有偏振效应。蕴涵着目标多种信息的偏振特性,能为目标识别提供大量新的资料,具有很高的利用价值。

偏振探测技术是近几年发展起来的新型遥感探测技术,偏振成像可以增加目标物的信息量,在某种程度上能大大提高目标探测和地物识别的准确度,是其他探测手段无法替代的新型对地探测技术。与其他传统光度学和辐射度学的方法相比,偏振探测有许多独特之处,通过测量目标辐射和反光的偏振强度值、偏振度、偏振角、偏振椭率和辐射率,它可以解决传统光度学探测无法解决的一些问题,具有比辐射测量更高的精度^[1],在取得高精度偏振测量结果的同时,还能够提供辐射量的测量数据。NASA已经认可了遥感中偏振信息的重要性^[2]。如在军事探测中,由于目标一般是人造的,具有较光滑表

基金项目: 华中农业大学科技创新基金资助项目。

作者简介: 谭佐军(1977-),男,土家族,华中科技大学在读博士,华中农业大学理学院应用物理系讲师,主要研究方向为光电检测技术,引信光学,图像处理。E-mail: tzj@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2006-07-01; **修订日期:** 2006-08-15

面,因而其辐射或是反射光中的线偏振较强,一般目标所处的背景(如泥土、植被)都是相对很粗糙的,其辐射或反射光偏振度相对较低。基于偏振光进行空间目标的识别的研究可以开拓空间目标探测识别技术的方向,具有很高的军事意义和科学意义。

2 几种偏振光探测的方法

2.1 单一的线偏振探测的方法

它主要由相机系统、偏振片、滤光片、CCD 组成。物体散射的光信号经过偏振片之后,直接在 CCD 上成像。该方法原理简单、比较容易实现。与传统相机输出强度图类似,直接输出的偏振图像可供人眼直接观察、辨识,但是可以比传统相机输出强度图提供更多的细节信息。线偏振成像 CCD 相机主要用于目标光强于杂散光的情况,图 1 是线偏振成像 CCD 相机示意图。

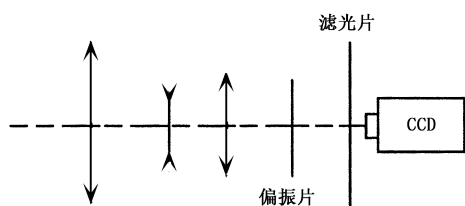


图1 线偏振成像 CCD 相机示意图

2.2 基于 Stokes 矢量参数测量的方法

表示光的偏振态有两种方法,一种是 Jones 矢量法,主要用来表示完全偏振光;另一种是 Stokes 于 1852 年使用都具有光强度量纲的参量构成 Stokes 矢量 $S = (I, Q, U, V)^T$ 表征光的偏振态,这种方法参数都是实数,计算较为简便。可以使用如图 2 所示的装置测量偏振光的 Stokes 矢量。

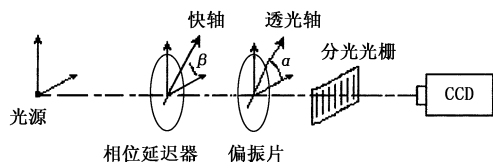


图2 Stokes 参数测量示意图

CCD 探测面的光强值是:

$$I_z(\alpha, \beta, \delta) = \frac{1}{2} \{ I + (Q \cos 2\beta + U \sin 2\beta) \cos^2(\alpha - \beta) + [(U \cos 2\beta - Q \sin 2\beta) \cos \delta + V \sin \delta] \sin^2(\alpha - \beta) \}$$

其中,相位延迟片相位延迟为 δ ;快轴与参考轴的夹角为 β ;偏振片透光轴和参考轴的夹角为 α 。可见,通过旋转相位延迟器和偏振片,测量不同的 I_z 值,就可以确定 Stokes 参数 I, Q, U, V 。测量中如果使

用滤光片或者光栅分光,就能够得到不同波长的偏振度数值,建立偏振光谱数据库。偏振光的偏振度、偏振角以及偏振椭圆率都可以使用 Stokes 参数直接计算,所以偏振探测逐渐从单一的线偏振探测发展到 Stokes 矢量参数测量。

2.3 基于偏振光干涉的方法

和上面两种偏振探测方式不同,偏振光干涉成像相机(如图 3 所示)通过光学器件将偏振光分束后干涉,因此 CCD 上接收的是干涉图样,不能直接反应目标的偏振光信息。假设入射偏振光光强是 I_0 ,那么根据干涉原理,在 CCD 上接收的干涉图样的强度分布是:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\sin N \delta}{\sin \delta} \right)^2$$

其中, $\alpha = \frac{ka}{2} \sin \theta = \frac{2\pi a}{2\lambda} \cdot \frac{x}{f} = \frac{\pi a}{\lambda} \cdot \frac{x}{f}$; $\delta = \frac{kd}{2} \sin \theta = \frac{2\pi d}{2\lambda} \cdot \frac{x}{f} = \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \frac{x}{f}$; k 为波数; a 为光栅狭缝的宽度; d 为光栅狭缝的间距; N 为光栅的狭缝数目; λ 为光波长; f 为成像透镜的焦距。可见,条纹的光强度值在 CCD 上沿 x 方向(平行于两个干涉光源连线的方向)变化,主极大亮条纹的光强值是单缝衍射强度的 N^2 倍,提高了成像的对比度,在探测弱信号情况下比其他偏振 CCD 相机具有优势。

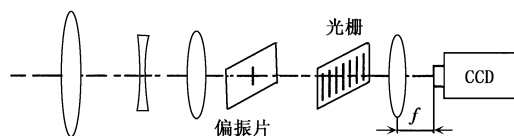


图3 干涉成像偏振 CCD 相机示意图

3 国内外研究概况、水平和发展趋势

在国内,偏振成像技术的研究起步晚、研究少,目前在我国还处于开始阶段。1995 年,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所金锡锋在中科院长春净月潭遥感实验站的资助下,开展了偏振光的三维测量仪器研究,并申请专利^[3]。东北师范大学的赵云升、宋开山、赵虎教授等进行了植物单叶、土壤、植被、岩石等地物偏振特性的研究^[4-10]。1998 ~ 2001 年,赵云升教授从事国家自然科学基金资助项目——“典型地面目标偏振反射特性研究”,进行了大量的野外与室内工作以及仪器的改进、制造工作,建立了典型地物偏振反射数据数据库^[11-12]。中国科学院安徽光学仪器研究所完成了地面偏振成像光谱仪器样机的研究^[13],并研制了可调波段偏振 CCD

相机机载原理样机。利用偏振信息提取物体特征、识别物体的研究也有展开^[14-17]。但总的看来,我国在偏振成像技术、偏振光物体识别方面还处于发展阶段,有很多理论与实验的问题需要进一步地研究。

在国外,由于偏振光成像技术目前属于目标探测识别中的一个新的研究方向,并具有很大的应用和发展潜力,因此很多大学和研究机构都在从事这方面的研究和探索。在利用偏振特性进行行星探测方面比较早,如前苏联的 VPW-73 和美国的 PPS 均使用了偏振光进行探测。20 世纪 60 年代, Lyot 使用偏振技术检测地表和大气构成^[18]。Walraven 对当时的偏振成像技术进行了系统总结^[19],对当今的研究仍有指导意义。研究人员在 20 世纪 80 年代末期就已经使用航天飞机作为偏振观测的平台,使用偏振摄影手段遥感地球以取得地球表面的偏振照片,对不同的植被、矿物进行地面偏振度的测量工作:比如 Curran 使用偏振光区分蔬菜种类^[20]; JoÅzsef GaÅl 等研究了太阳光照环境下的水面偏振模式识别^[21]; Talmage 等使用部分偏振光对地面进行遥感,获得更多的地面物体细节信息^[22]。哥伦比亚大学的 Walter 分析利用航天飞机获取的偏振图像后指出,不需要精确的校准,通过偏振光遥感技术能够很好表现云层的演化过程,显示了偏振光遥感的优势^[23]。为了计算机三维重建、虚拟现实和物体识别的需要, Daisuke 等通过偏振角确定物体的表面法线方向,因为可见光谱段的偏振信息可能产生二义性,该研究使用了红外波段的偏振信息^[24],显然该技术也可以用于导弹的制导,提高导弹的命中杀伤力。在偏振图像分析、目标识别的算法,偏振光探测器件设计等方面也有相关研究报道^[25-31]。

此外,在军事应用上,与主动雷达扫描方式不同,偏振成像设备体积较小、功耗低,探测对象可以是物体主动发射或者反射的电磁波中的偏振部分,便于自身的隐蔽。因此,偏振光应用的研究也倍受重视,在 20 世纪 80 年代就开始了初期探索。Egan 对 C-130 和 B-52 飞机进行线偏振光特性研究,实验数据表明飞机不同位置的偏振光的光谱分布不一样,机身亮处在绿光波长上偏振度最大,暗处偏振度最大出现在红外谱段,机身偏振度远远大于天空,因此可以将二者区分^[32-33]。因为水下目标有特殊的偏振现象,所以美国海军也研究利用偏振信息探

测水下目标的方法。Egan 对伪装隐蔽在沙滩和树木背景下的士兵及军用车辆进行偏振和光度测量,美国海军研究室的 Priest、Goldstein 等人对有不同颜色、反射率和表面涂料的面板材料做测量和分析,研究表明在这种环境下使用偏振检测相对光度检测具备优势,如果同时使用偏振探测和传统辐照探测,能够识别大多数军事目标^[34-35]。

目前,国内外运用偏振成像技术多限于植被、矿物、建筑等静态地物的探测,主要对目标垂直采集数据,并假定目标的光谱在 2π 空间内的分布是一致的(即朗伯体),但是这样的人为假设条件会导致与实际有较大的差异,随着研究深入,研究者逐渐认识到目标三维信息的重要作用^[36]。

4 结 论

偏振探测现在已经成为目标识别领域的一个十分重要的技术。目前各国科学家将精力主要集中在两个方面,其一是研制更高分辨率、更高精度、更高信噪比且工作稳定的偏振仪器,其中定标是一项关键技术。由于标准定标源的获得难度较大,国外已有不用已知偏振度的标准源的定标方案;其二是在更宽的波段收集不同目标的偏振特性数据,对其进行分析并最终了解偏振度随目标、天气、地点、太阳高度角等因素的变化规律。

参考文献:

- [1] 姜景山. 空间科学与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] National Aeronautics and Space Administration. Earth Observing Scanning Polarimeter (EOSP) [R]. Phase-B Final Report(Contract No. NASS-30756) December, 1990.
- [3] 金锡峰, 乔德林, 周素香. 漫反射体三维空间光分布的测量装置: 中国, 96239489. 0[P]. 1998. 3. 4. (中国科学院长春光学精密机械研究所).
- [4] 赵云升, 等. 植物单叶偏振反射特征研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 131-135.
- [5] 宋开山, 张柏, 赵云升. 东北主要高大落叶乔木单叶的偏振特性研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2004, 36(1): 88-94.
- [6] 宋开山, 赵云升, 等. 土壤偏振反射特性研究[J]. 地理科学, 2004, 24(3): 352-357.
- [7] 赵虎, 晏磊, 赵云升. 玄武岩的多角度偏振反射光谱研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(4): 81-85.
- [8] 赵虎, 晏磊, 赵云升. 土壤的多角度偏振反射光谱研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 476-479.

- [9] 赵云升,宋开山. 液体表面偏振反射特征研究[J]. 东北师大学报(自然科学版),2000,32(4):103-106.
- [10] 赵云升,金锡锋,金伦,等. 偏振光遥感[C]//张柏,禹秉熙,苏阳. 遥感信息系统研究. 北京:科学出版社,2000.
- [11] 金伦,赵云升. 典型地物偏振反射数据的采集与偏振反射数据库的建立[J]. 长春科技大学学报,2000,30(9):46-48.
- [12] 金伦,张洪波,赵云升. 地物偏振反射数据的获取与数据库的建立[J]. 东北师大学报(自然科学版),2000,32(4):98-102.
- [13] 乔延利,杨世植,罗睿智,等. 对地遥感中的光谱偏振探测方法研究[J]. 高技术通讯,2001,11(7):36-39.
- [14] 孙晓兵,洪津,乔延利. 一种基于偏振角参数图像的特征提取方法研究[J]. 遥感技术与应用,2005,20(2):256-261.
- [15] 黎全,刘泽金,舒柏宏,等. 利用表面散射光偏振差异的目标识别技术[J]. 强激光与粒子束,2005,17(3):251-355.
- [16] 孙玮,刘政凯,单列. 利用偏振技术识别人造目标[J]. 光学技术,2004,30(3):267-273.
- [17] 金伦,赵云升. 地物偏振测量装置中控制处理系统功能设计[J]. 东北师大学报(自然科学版),2000,32(4):17-21.
- [18] B Lyot. Research on the polarization of light from planets and some substances[A]. Ann. Observatoire de Paris, Section de Meudon, VIII, No. 1 (1929); NASA Tech. [C]. Transl. TTF-187, 1964.
- [19] Walraven R. Polarization imagery[J]. Opt. Eng., 1981, 20(1):014-018.
- [20] Curran Paul J. Polarized visible light as an aid to vegetation classification[J]. Remote Sens. Environ, 1982, 12:491-499.
- [21] Gaâl J, HorvaAth G, Meyer-Rochow V B. Measurement of the reflection-polarization pattern of the flat water surface under a clear sky at sunset[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76:103-111.
- [22] Talmage D A, Curran P J. Review article:remote sensing using partially polarized light[J]. Int. J Remote Sensing, 1986,7(1):47-64.
- [23] Egan W G. Terrestrial polarization imagery obtained from the space shuttle: characterization and interpretation[J]. App. Opt. 1991, 30(4):435-442.
- [24] Daisuke Miyazaki, Megumi Saito, Yoichi Sato, et al. Determining surface orientations of transparent objects based on polarization degrees in visible and infrared wavelengths[J]. JOSA A,2002,19(4):687-694.
- [25] Nickolay A Krotkov, Alexander P Vasilkov. Reduction of skylight reflection effects in the above-water measurement of diffuse marine reflectance: comment[J]. Applied Optics, 2000,39(9):1379-1381.
- [26] Donghyun Kim, Cardinal Warde, Kenneth Vaccaro, et al. Imaging multispectral polarimetric sensor: single-pixel design, fabrication, and characterization[J]. Applied Optics, 2003,42(19):3756-3764.
- [27] Songxin Tan, Ram M Narayanan. Design and performance of a multiwavelength airborne polarimetric lidar for vegetation remote sensing[J]. Applied Optics, 2004,43(11):2360-2368.
- [28] Breugnot Sebastien. Modeling and performances of a polarization active imager at $\lambda = 806\text{nm}$ [J]. Opt. Eng., 2000,39(10):2681-2688.
- [29] James D Howe, Maranda A Miller, et al. Polarization sensing for target acquisition and mine detection[A]. Proc. SPIE, 2000,4133:202-213.
- [30] Manjunath B S, Shin H, Deng Y. Color image segmentation[A]. Computer vision and pattern recognition[C]. IEEE Computer Society Conference on, 1999(2):451.
- [31] Philippe Réfrégier, Muriel Roche, Francois Goudail. Invariant polarimetric contrast parameters of light with Gaussian fluctuations in three dimensions[J]. Opt. 2006, 23(1):124-133.
- [32] Egan W G, Duggln M J. Optical enhancement of aircraft detection using polarazation[A]. Proc. SPIE, 2000, 4133:172-178.
- [33] Egan W G, Duggin M J. Synthesis of optical polarization signatures of military aircraft[A]. Proc. SPIE, 2002, 4481:188-194.
- [34] Priest R G, Meier S R. Polarimetric microfacet scattering theory with applications to absorptive and reflective surfaces[J]. Opt. Eng., 2002, 41(5):988-993.
- [35] Goldstein D H. Polarimetric Characterization of Federal Standard Paints[A]. Proc. SPIE, 2000,4133:112-123.
- [36] Li Xiaowen, Strahler. Geometric optical modeling of a coniferous forest canopy[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 1985, 23:207-221.
- [37] 吴鹏,陈海清. 基于纳米光栅的可见光波段偏振干涉成像技术[C]//航天部空间对地观测载荷技术研讨会,北京:2005.10.