

多光谱目标偏振信息探测系统设计*

高永,高隽,范之国,徐少罕

(合肥工业大学 计算机与信息学院,安徽 合肥 230009)

摘要: 针对目标偏振探测的应用研究,将多光谱分析方法与偏振信息测量技术相结合,设计了一种多光谱目标偏振信息探测系统。该系统采用滤光片和偏振片独立切换协同工作方式,从可见光至近红外的 450 nm、550 nm、650 nm、850 nm 和 950 nm 等多个波段,实现了对目标偏振信息的有效获取。利用该探测系统在室外雾天环境下进行了目标偏振信息探测实验,获得了目标场景的多光谱偏振信息,验证了系统的有效性。

关键词: 多光谱;偏振成像;偏振探测;目标探测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)10-0092-03

Design of multi-spectral target polarization information detection system

Gao Yong, Gao Jun, Fan Zhiguo, Xu Shaohan

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: For the applied research of target detection, a multi-spectral target polarization information detection system has been designed, using the multi-spectral analysis method and polarization information measurement technology. It works from visible to near-infrared bands such as 450 nm, 550 nm, 650 nm, 850 nm and 950 nm. The target polarization information has been obtained by detection experiments in outdoor fog environment. The result indicates that the system has the ability to obtain the multi-spectral polarization information of the target.

Key words: multi-spectrum; polarization imaging; polarization detection; target detection

偏振是光的固有属性,大气粒子等传输介质的散射作用、目标表面的反射都会改变光的偏振状态。因此,光的偏振特性蕴含环境与目标的重要信息,充分挖掘和利用光的偏振信息,在目标探测、遥感等领域具有重要的研究意义和应用价值。由于环境和目标的多样性,地球表面及大气中的目标在反射、吸收和散射光线的过程中,表现出明显的偏振特性差异,而且不同的目标具有不同的偏振敏感波段。因此,对目标进行偏振探测需要考虑不同光谱波段的影响。

目前,常用的偏振成像探测系统采用的是旋转偏振片的方式。荷兰的 CREMER F 和 SCHWERING P B W 等人通过红外偏振成像设备在红外波段研究了海洋环境中目标和背景的偏振特性^[1]。PUST N J 和 SHAW J A 设计了可见光波段的多光谱双视场偏振成像仪,分别用

来测量地面目标以及天空散射光的偏振特性^[2]。美国的 HOOPER B A、BAXTER B 等人设计研制了 AROSS-MSP 多光谱偏振测量装置,用于河流、海洋沉积物的偏振信息测量^[3]。中科院安徽光机所的乔延利等研制了无人机载偏振 CCD 相机光机系统,用于对地面目标的偏振探测^[4]。这些研究表明,多光谱偏振信息获取方法已成为目标探测的重要研究方向。

本文针对目标偏振信息的探测应用研究,根据偏振探测原理与多光谱成像技术,设计了一种从可见光至近红外的多光谱目标偏振信息探测系统,能够获取目标在不同光谱波段的偏振信息,可应用于目标发现与识别。

1 基本原理

目标的偏振特性可以通过斯托克斯(Stokes)矢量进行完整的描述^[5]。Stokes 矢量可以表示为 $(I, Q, U, V)^T$, I 表示光的总辐射强度, Q 表示 x 方向与 y 方向的线偏振光的强度差, U 表示 $\pm 45^\circ$ 方向上的线偏振光的强度差, V 表示左旋偏振光与右旋偏振光的强度差。在自然界

* 基金项目:国家自然科学基金(61102153, 61271121);安徽省自然科学基金(11040606Q41)

应用奇葩

Example of Application

中,由于目标的圆偏振分量很小,通常认为 $V=0$ 。通过偏振片可以将目标偏振信息测量转化为 Stokes 矢量元素的测量。通过偏振片后的辐射强度为:

$$I'(\theta) = \frac{1}{2}(I + Q\cos 2\theta + U\sin 2\theta) \quad (1)$$

其中, θ 是偏振片的透光轴相对于水平方向的夹角, I 、 Q 、 U 分别为入射光 Stokes 矢量的分量, $I'(\theta)$ 为经过偏振片后的出射光强度分量。通过测量 3 个不同方向上的线偏振光的强度, 可以计算得到目标光学辐射的 Stokes 矢量, 从而得到线偏振度和线偏振角信息。本文测量所用的偏振片角度为 0° 、 60° 和 120° , 可计算得到入射光的 Stokes 矢量为:

$$\begin{cases} I = \frac{2}{3}(I'(0^\circ) + I'(60^\circ) + I'(120^\circ)) \\ Q = \frac{2}{3}(2I'(0^\circ) - I'(60^\circ) - I'(120^\circ)) \\ U = \frac{2}{\sqrt{3}}(I'(60^\circ) - I'(120^\circ)) \end{cases} \quad (2)$$

再根据式(3)计算得到目标的线偏振度 DoLP 和线偏振角 AoLP。

$$\begin{cases} \text{DoLP} = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \\ \text{AoLP} = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{U}{Q}\right) \end{cases} \quad (3)$$

2 系统设计

2.1 系统总体方案

为了获得目标在多光谱下的偏振信息, 多光谱目标偏振信息探测系统需要从多个谱段对目标进行偏振成像。系统主要由长焦镜头、滤光片组、偏振片组和成像器组成。长焦镜头可对远距离目标信息进行获取, 滤光片组与偏振片组相协同, 实现对目标多光谱偏振信息的检测。系统组成结构如图 1 所示。

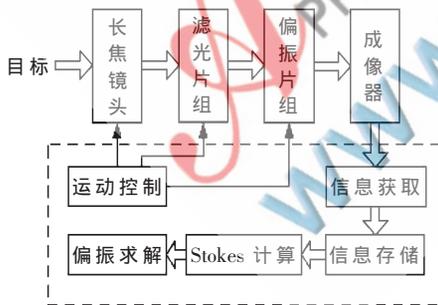


图 1 多光谱偏振信息探测系统结构

系统通过软件控制光学镜头的调整以及不同波段滤光片、不同偏振化方向偏振片的转换, 并采集成像器获取的偏振图像信息, 进行信息存储、Stokes 矢量计算和偏振度、偏振角求解。

2.2 光学结构

光学结构是探测系统的关键部分, 主要包括光学镜头、滤光片组和偏振片组, 将目标在不同波段、不同偏振

方向的偏振辐射聚集到成像器上, 再由成像器将接收到的光能量转变为电信号, 供系统进行信息获取, 光学结构设计图如图 2 所示。

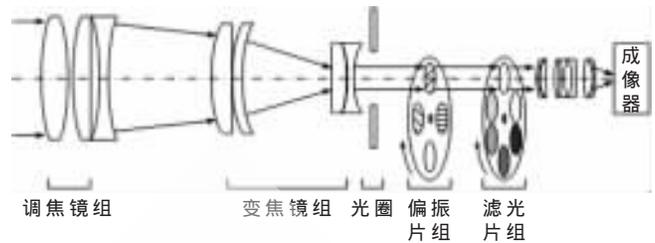


图 2 光学结构设计图

为了获取较远距离的目标偏振信息, 光学通道设计为变焦长焦镜组, 焦距为 750 mm。其中, 变焦镜组调整光学通道的焦距, 调焦镜组调整成像清晰度, 以实现不同距离目标的成像需求。偏振片、滤光片分别安装于两个独立可控的圆形旋转轮片上, 由步进电机精确控制旋转位置。

偏振片组有 0° 、 60° 、 120° 共 3 个偏振通道及 1 个非偏振通道, 以测量不同光谱的偏振以及非偏振辐射强度。滤光片组设计有 6 个插槽, 其中有一个插槽为空, 即为全波段通道, 其他 5 个插槽对应滤光片的中心波长分别为 450 nm、550 nm、650 nm、850 nm 和 950 nm。滤光片、偏振片中心与光学通道光心位置一致, 两者协同工作检测不同波段的偏振光信息。系统关键参数如表 1 所示。

表 1 系统关键参数

探测系统关键参数	数值
光谱波段/nm	450, 550, 650, 850, 950
光学系统焦距/mm	750
光学系统 F 参数/#	3.8
CCD 像素分辨率	1 392(H)×1 040(V)
偏振片角度/ $^\circ$	0, 60, 120
偏振片消光比	100:1
偏振片通光孔径/mm	$\phi 50$

2.3 系统定标

为了准确解析目标的光谱偏振信息, 需要对探测系统进行定标。由于探测系统使用同一个成像器, 系统定标主要包括光谱定标、偏振方向非一致性定标和不同偏振方向相对辐射响应度定标。

光谱定标通过波长已知的标准光源和光谱分析仪完成, 偏振方向非一致性定标通过旋转偏振片与已知固定角度的偏振片进行消光来实现。本文主要介绍不同偏振方向相对辐射响应度定标。在探测系统中, 每个偏振波段对应的偏振片以及滤光片存在一定的差异性, 从而影响到探测器的成像^[6]。通过积分球对系统进行相对辐射响应度定标, 获取不同波段方向下的相对辐射响应。以 0° 偏振方向为基准, 通过式(4)分别计算 60° 、 120° 偏振方向的相对辐射响应度, 解决不同偏振方向的辐射响应差异问题。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 97

$$\begin{cases} K_{i,j}^{\lambda,0} = 1 \\ K_{i,j}^{\lambda,60} = I_{i,j}^{\lambda,60} / I_{i,j}^{\lambda,0} \\ K_{i,j}^{\lambda,120} = I_{i,j}^{\lambda,120} / I_{i,j}^{\lambda,0} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $I_{i,j}^{\lambda,0}$ 、 $I_{i,j}^{\lambda,60}$ 、 $I_{i,j}^{\lambda,120}$ 分别表示在 λ 波段, 像元 (i,j) 在 0° 、 60° 、 120° 偏振方向上的辐射响应, $K_{i,j}^{\lambda,0}$ 、

$K_{i,j}^{\lambda,60}$ 、 $K_{i,j}^{\lambda,120}$ 分别表示在 λ 波段, 像元 (i,j) 在 0° 、 60° 、 120° 偏振方向上的相对辐射响应度。

3 实验与分析

2012年10月17日,利用多光谱目标偏振信息探测系统进行了室外目标偏振信息探测实验,实验时为雾天环境,目标为雾中的建筑,目标到探测系统距离为1.8 km。图3为探测系统获取的目标非偏振强度图像以及在450 nm、550 nm、650 nm、850 nm和950 nm波段获得的 0° 偏振图像。受实验环境下雾的影响,原图的远处建筑物目标轮廓模糊。除了450 nm外,其他各波段偏振图像在清晰度上都有不同程度的提升。其中,850 nm波段的偏振图像清晰度效果最好,建筑物轮廓以及窗户等细节信息清晰可见。

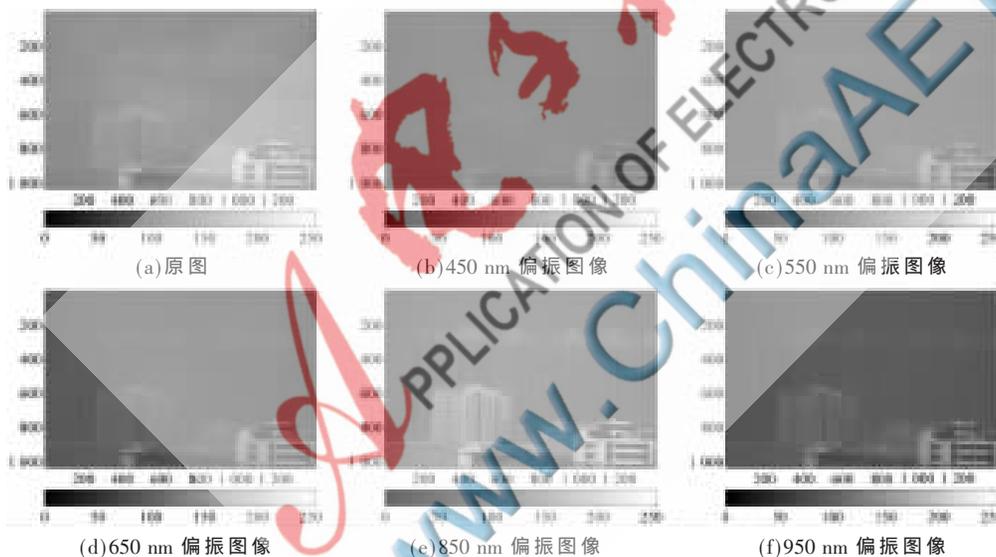


图3 原图与各波段下的偏振图像

图4所示为目标在850 nm下的 0° 偏振图像和偏振度、偏振角图像。整体场景的偏振度较低,最小为0,最大为0.45,平均为0.25,这是由于雾天环境中的微粒对目标反射光的多次散射作用,导致偏振度降低。天空和建筑物目标的偏振角也表现出了明显的区别,尤其是在建筑物轮廓线上,偏振角变化明显,这是轮廓两侧在材料构成以及反射面角度等方面的不同导致的。

本文针对目标偏振信息探测的应用研究,将多光谱分析与偏振信息测量原理相结合,设计了一种多光谱目标偏振信息探测系统,并对系统进行了定标。在雾天环

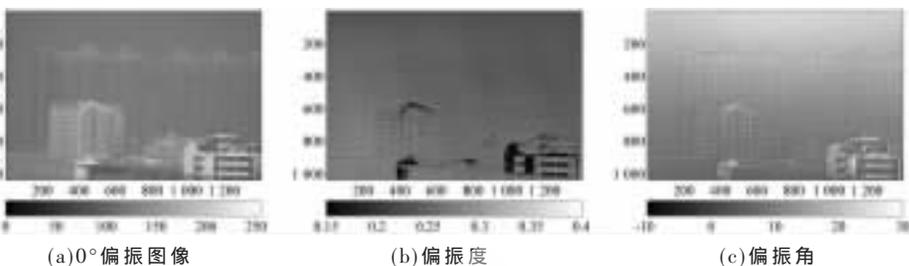


图4 850 nm波段的 0° 偏振图像及偏振度、偏振角结果

境下的目标偏振探测实验表明,该系统能从可见光到近红外多个波段对目标偏振信息进行有效探测,获得各波段的偏振信息。相对其他波段,在850 nm波段的雾天目标偏振信息探测具有较好的效果,在目标发现与识别领域具有重要的意义。

参考文献

- [1] CREMER F, SCHWERING P B W, JONG W D, et al. Infrared polarisation measurements of targets and backgrounds in a marine environment[C]. SPIE, 2001.
 - [2] PUST N J, SHAW J A. Dual-field imaging polarimeter for studying the effect of clouds on sky and target polarization[C]. Polarization Science and Remote Sensing II, 2005.
 - [3] HOOPER B A, BAXTER B, PIOTROWSKI C, et al. An airborne imaging multispectral polarimeter (AROSS-MSP)[C]. OCEANS 2009, MTS/IEEE Conference, 2009.
 - [4] 杨伟锋, 洪津, 乔延利, 等. 无人机载偏振 CCD 相机光机系统设计[J]. 光学技术, 2008, 34(3): 469-472.
 - [5] 廖延彪. 偏振光学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 51-57.
 - [6] 陈立刚, 孟凡刚, 袁银麟. 偏振相机的光学定标方案研究[J]. 大气与环境光学学报, 2010, 5(3): 227-231.
- (收稿日期: 2013-01-26)

作者简介:

高永,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:人工智能及其应用。