

文章编号: 1007-5461(2002)04-0373-06

## 偏振遥感图像特性表征及分析

曹汉军, 乔延利, 杨伟锋, 王乐意, 洪津, 罗睿智, 原育凯

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031)

**摘 要** 本文基于实验型偏振 CCD 相机, 在自然光照条件下, 进行了自然目标和人工目标的偏振图像数据获取实验。结果显示: 偏振图像信息与强度图像相比, 低照度(阴影等)部分, 特别是边缘信息得到了增强。从模拟目标样品的实验结果看, 偏振信息对纹理探测效果十分明显, 结合边缘信息的增强作用, 偏振探测在军事侦察及伪装检测等方面有着广阔的应用前景。

**关键词** 偏振图像; 遥感应用

**中图分类号**: P407.4      **文献标识码**: A

### 1 引 言

一般说来, 电磁波经物体表面反射辐射后, 根据表面的结构、纹理以及入射的角度, 其偏振状态将发生改变, 会使物体表面某些信息得到增强, 从而可以更有效地鉴别物体。利用这种方法可以观测到物体更多的细节和现象。偏振图像代表着景物偏振的空间变化, 人们可以把这种变化同真实的纹理、表面结构以及材料的类型联系起来。

许多自然物体表面的反射特性已在实验室中研究, 发现反射辐射的偏振特性将取决于观测时的几何条件和照明条件以及目标的本征特性等。户外的情形将更加复杂, 因为辐射源是太阳光、天空散射光和反射辐射光的综合。但是, 在观测反射辐射的偏振时, 仍然存在一些常规的模式。

(1) 到达观测者的反射主要是单次散射时, 偏振度值会很大。因为, 对于完全光滑的表面, 电磁理论预言: 在入射角等于布儒斯特角时, 偏振度将达到最大, 等于 100%。人工表面大体上是一种非自然的光滑, 因而与自然表面相比, 它将产生较大的偏振度; 较黑暗的表面也表现出较大的偏振度, 这是因为黑暗表面中单次散射所占比例较大; 而在较亮的表面中, 多次散射占有较大优势<sup>[1]</sup>。

(2) 当到达观测者的辐射主要是多次反射时, 偏振度将趋于很小, 因为偏振方向是杂乱无章的。因此, 光亮的粗糙表面表现出较小的偏振度。

(3) 反射太阳光的偏振度是土壤湿度的敏感指示器。因为随着土壤湿度的增加, 土壤将会发生从粗糙表面向光滑表面的转变。

(4) 在观测晴朗的天空时, 由于瑞利散射的作用, 当位相角接近 90 度时, 天空具有较大偏振度。

偏振信息在遥感领域的重要性已被 NASA 认可<sup>[2]</sup>, 本文的目的是说明利用 3 个偏振方向(0°、60°、120°)的原始图像可以得到具有偏振信息的图像, 这些图像具有较高的分辨率, 并能增强某些特殊的信息, 从而更好地鉴别物体。

### 2 偏振参数表征

量化地给出偏振光的偏振信息, 有两种表示方法: 一种是 Jones 矢量表示法<sup>[3]</sup>, 另一种是 Stokes 矢量表示法, 在遥感探测过程中多用 Stokes 矢量表示法。通常把 Stokes 矢量  $(S_0, S_1, S_2, S_3)^T$  写成另一种形式

$(I, Q, U, V)^T$ , 其中  $I$  为非偏振光强,  $Q, U$  分别代表两个方向上的线偏振光,  $V$  代表圆偏振光, 在遥感探测中通常假定  $V = 0$ :

$$\begin{cases} I = S_0 = \langle E_x^2 \rangle + \langle E_y^2 \rangle \\ Q = S_1 = \langle E_x^2 \rangle - \langle E_y^2 \rangle \\ U = S_2 = 2\langle E_x E_y \cos \varphi \rangle. \end{cases} \quad (1)$$

上式中,  $\langle E \rangle$  表示时间平均的效果, 在任一  $xoy$  平面, 在与  $X$  轴的夹角为  $\alpha$  的方向上进行观测所得到的光强可以用下式表述:

$$I(\alpha) = \langle E_x^2 \rangle \cos^2 \alpha + \langle E_y^2 \rangle \sin^2 \alpha + \langle E_x E_y \rangle \sin 2\alpha, \quad (2)$$

$$\text{或: } I(\alpha) = \frac{1}{2}(I + Q \cos 2\alpha + U \sin 2\alpha). \quad (3)$$

通常, 我们只要测出三个不同角度的线偏振光的光强  $I(\alpha_i)$ , 就可以联立求出 Stokes 四个参量的前三个  $I, Q, U$ , 并可以求出偏振光的偏振度  $P$  和偏振角  $\theta^\circ$  分别取  $\alpha$  等于  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $120^\circ$  三个观测方向, 得到的联立方程如:

$$\begin{cases} I = \frac{2}{3}(I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)) \\ Q = \frac{2}{3}(2I(0^\circ) - I(60^\circ) - I(120^\circ)) \\ U = \frac{2}{\sqrt{3}}(I(60^\circ) - I(120^\circ)). \end{cases} \quad (4)$$

由此, 对应的偏振度和偏振角分别为:

$$\begin{cases} P = \sqrt{Q^2 + U^2}/I \\ \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1}(U/Q). \end{cases} \quad (5)$$

如果探测器接收的光强 (能量) 有变化, 则:

$$\begin{cases} I' = \frac{2}{3}(kI(0^\circ) + kI(60^\circ) + kI(120^\circ)) \\ Q' = \frac{2}{3}(2kI(0^\circ) - kI(60^\circ) + kI(120^\circ)) \\ U' = \frac{2}{\sqrt{3}}(kI(60^\circ) - kI(120^\circ)). \end{cases} \quad (6)$$

由此对应的偏振度和偏振角分别为:

$$\begin{cases} P' = \frac{\sqrt{(Q')^2 + (U')^2}}{I'} = \frac{\sqrt{((kQ)^2 + (kU)^2)}}{(kI)^2} = \frac{\sqrt{(Q^2 + U^2)}}{I^2} = P \\ \theta' = \frac{1}{2} \tan^{-1}(U'/Q') = \frac{1}{2} \tan^{-1}((kU)/(kQ)) = \theta. \end{cases} \quad (7)$$

因而, 当外界光强变化时, 偏振图像对应的偏振度和偏振角的值不变。为了对偏振成像 CCD 在遥感方面的能力做一正确的透视, 我们利用自行研制的可调多波段偏振 CCD 原理样机对目标进行多次测量, 并对所得图像进行了处理和分析。

### 3 试验样机系统

在 863-308 组长基金支持下, 在研制可调波段成像光谱试验系统的基础上, 进行了可调波段偏振 CCD 相机地面试验样机的研制。此系统采用单路对地物目标偏振探测, 进行分时采集, 具有偏振、光谱和高空间

分辨等特点, 为进一步发展无人机载或星载轻型光谱偏振 CCD 相机奠定了基础。可调波段偏振 CCD 相机地面试验样机由偏振片、光学系统、滤光片、CCD 相机、图像采集卡、计算机以及系统软件等几部分组成。

表 1 偏振 CCD 相机的主要技术指标

波段	665 nm/865 nm/555 nm/443 nm (中心波长)
系统焦距	200 mm
相对孔径	F#~2.8
光谱带宽	30~50 nm
偏振方向	3, (0°, 60°, 120°)
CCD 面阵	1024x1024 元
瞬时视场	0.06 mrad
照相速率	10 幅/s(max)
曝光时间	6~40 ms
量化精度	12bit
数据率	15 MB/s(max)

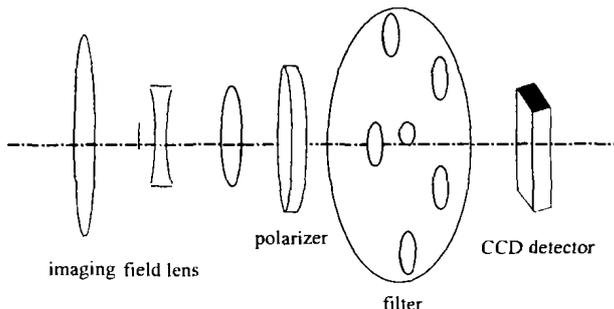
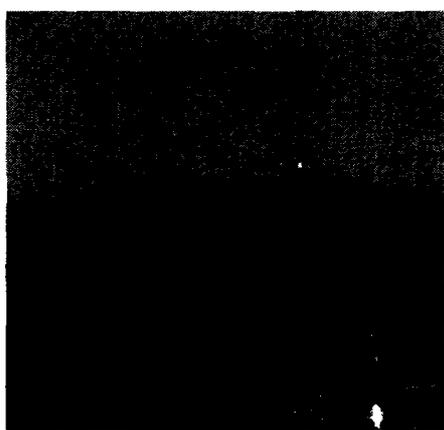


Fig.1 Optical design of the ground instrument

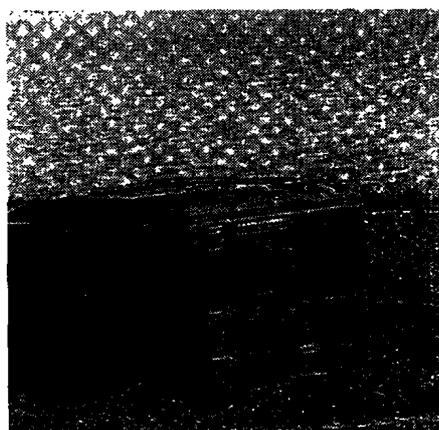
#### 4 实验模拟分析

下面我们给出了实验中一些图像(几种自然场景各自的强度、偏振度的图像), 以说明偏振信息的独特性和它的应用价值。

图 2 中给出的是一个伪装房, 房子的右侧在太阳的直射下, 左侧处于背阴状态。在偏振度图中, 太阳直射面及背阴面房子的表面结构基本上可以看清楚, 两侧没有多大差别; 而在强度图中, 背阴面的结构特征几乎无法识别。可以推论, 同种目标, 处于太阳直射和背阴状态下的偏振图像应相同。处于图像上部的是水体目标, 在强度图中水体是暗灰色, 而在偏振度图中变成了光亮色, 并且水体随风吹动的波浪在偏振度图中清晰可见。在偏振度图中, 可以发现目标更多的细节。



(a) Intensity image



(b) Polarization image

Fig.2 The camouflage building at 0.443 micrometers

事实上, 在偏振度图像中发现的这些细节, 在强度图像也是同样存在的。我们可以对图 2(a) 进行增强、

锐化、拉伸等处理,图 3(a) 是对整幅图像的处理结果。图中发现:在强度图中也会出现和偏振度图中差不多的效果,处于背影面的房子结构特征也能看清;但此时房子的侧面,顶面及图像上部的水体已经饱和,失去了原有的特征,无法说明问题;如果我们仅对图像中的部分区域进行上述处理,那么在处理的区域也出现了类似于偏振度图像的效果,图 3(b) 是对背影面的局部处理结果,它与偏振图像基本类似。

但是对于整幅图像来说,一开始我们并不知道某些隐藏的信息具体在哪些区域,因而盲目地处理也很难挖掘到隐藏的信息。如果对整幅图像处理,就会出现图 3(a) 的情况,某些区域已经饱和,这也很难说明问题的本质;而偏振度图像既挖掘出了隐藏的信息,又没有使图像饱和。因而在不知道隐藏信息的具体位置时,用偏振度图像是很方便的,这也充分说明了偏振度图像的应用价值。

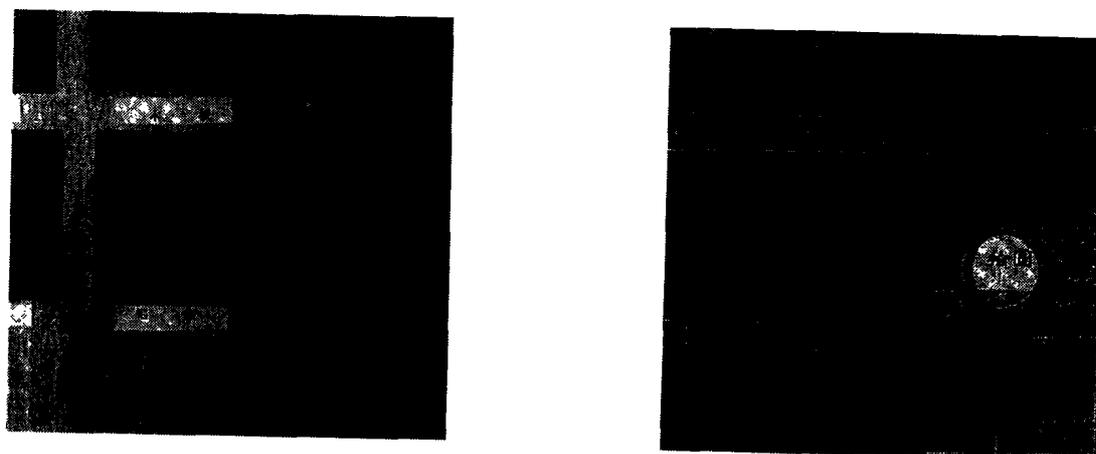


(a) Manipulation of the whole area

(b) Manipulation of the part area

Fig.3 The results of image manipulation

从上面图像看出,在两种不同类型的图像中,建筑物、草、树、路、天空、水的主要特征很容易被区分。但是,在所有的景物图像中,偏振度图像与强度图像相比还是有明显的差别。在强度图中,客观存在的微弱信息,在偏振图像中得到增强,使人们能看到物体的更多细节,更易区分物体。



(a) Intensity image

(b) Polarization image

Fig.4 The sample - board at 0.555 micron

图 4 中选取的样品是六块不同材料的板子,并把它们涂上了相同颜色的油漆,由于表面的偏振特性与偏

振观测的相位角有关, 即入射与出射光束有关, 同时, 由于偏振面总是与观察平面平行或垂直, 因此在实验中选取观察方向始终与入射方向在同一平面。

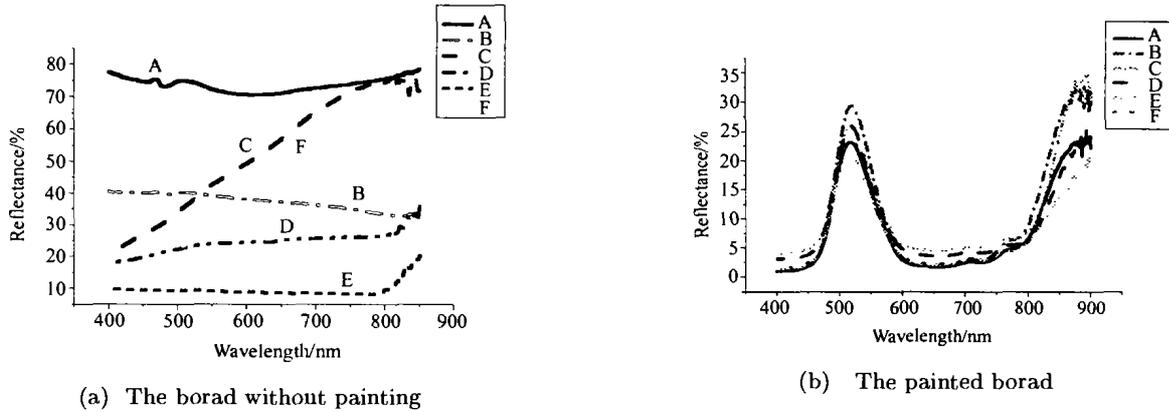


Fig.5 The reflectance of sample - board

A. armor plate, B. aluminum plate, C. wood plate, D. cement, E. organic glass, F. paper plate

从图中可以看出, 涂漆后的样品板的反射比相似, 在强度图中很难分辨, 但在偏振度中能够区分, 这与当初地面模拟器所做的结果很相符, 也再一次验证了偏振效应。偏振图像揭示了物体的真实纹理, 代表了目标偏振的空间变化。从图 4(b) 中, 各块板子的纹理被揭示出来, 单从纹理上就能鉴别, 并且板子的边缘在偏振度图像中显示得很清晰, 这些特点在强度中都不能充分体现。

下面, 我们给出了其中两块样品在不同观测角下的偏振度曲线。从这两块样品的偏振度变化可以看出, 偏振度随着观测角的增加而减小, 并且对波长具有选择性。

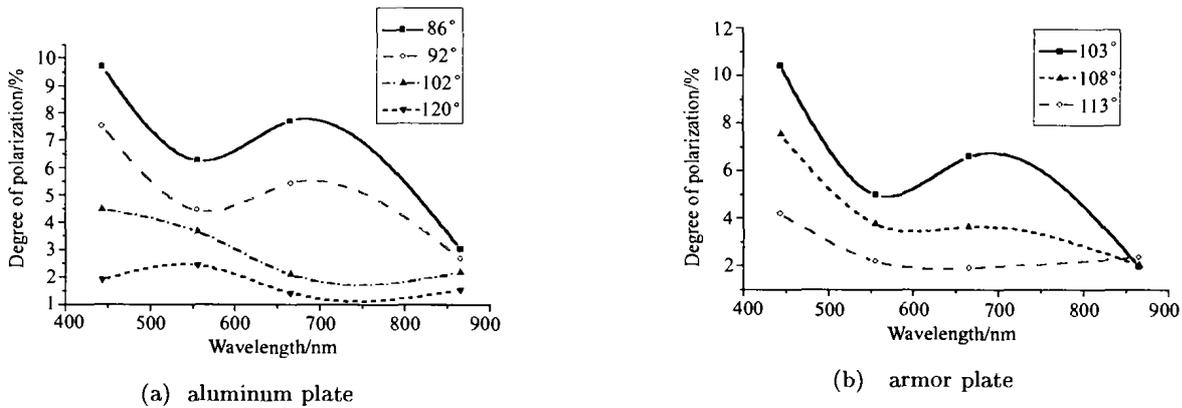


Fig.6 Degree of polarization vs wavelength for different viewing zenith angles

## 4 结 语

虽然, 偏振图像的可视性没有强度图像好, 但偏振图像挖掘出了强度图像中许多隐藏的信息, 同时:

- \* 偏振探测有助于辨别具有同样涂层不同质地的目标;
- \* 偏振图像与通常光强度图像相比, 对比度提高;
- \* 偏振图像对置于在背景之上物体的边缘增强效果明显;
- \* 偏振图像与波段有依赖关系;
- \* 偏振度与物体表面粗糙度、观测角等依赖关系较强。

总之, 在提取景物的真实纹理结构方面, 偏振图像可以更有效地鉴别物体, 偏振探测在军事侦察及伪装检测等方面有着广阔的应用前景。

## 参 考 文 献

- 1 Walraven R. Polarization imagery [J]. *Opt. Eng.*, 1981, 20(1): 014-018
- 2 Curran Paul J. Polarized visible light as an aid to vegetation classification [J]. *Remote Sens. Environ*, 1982, 12: 491-499
- 3 阿查姆 R M A. 圆偏振测量术和偏振光 [M]. 科学出版社, 1986. 44-47
- 4 Egan W G . Proposed design of an imaging spectropolarimeter/photometer for remote sensing of earth resources [J]. *Opt. Eng.*, 1986, 25(10): 1155-1159
- 5 Breugnot Sebastien . Modeling and performances of a polarization active imager at  $\lambda=806$  nm [J]. *Opt. Eng.*, 2000, 39(10): 2681-2688
- 6 Egan W G. Terrestrial polarization imagery obtained from the Space Shuttle: characterization and interpretation [J]. *App. Opt.*, 1991, 30(4): 435-442

## Characterization and Analysis of the Polarization Images in Remote Sensing

Cao Hanjun, Qiao Yanli, Yang Weifeng, Wang Leyi, Hong Jin, Luo Ruizhi, Yuan Yukai  
( Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics , Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031 China )

**Abstract** This article is based on a experimental polarization CCD camera. In the sunlight, we obtain some polarization images of natural objects and manmade objects. As a result, compared with intensity images, low illuminance (shadow etc.), especially information of edge is enhanced. The experimental results show that it is useful to detect texture by polarization information. Combined with the enhancement of edges' information , polarization detecting has wide application in military detecting and camouflage recognition.

**Key words** polarization image; application in remote sensing

曹汉军 ( 1976 - ), 男, 1999 年于安徽师范大学物理系获理学学士学位, 现在中国科学院安徽光机所攻读硕士学位。