

文章编号:1001-5078(2007)02-0108-03

基于线偏振激光主动成像的目标探测与识别

胡放荣,熊显名,董挺进
(桂林电子科技大学电子工程系,广西 桂林 541004)

摘要:在对偏振光进行 Stokes 参量法描述的基础上,用线偏振激光对六种不同材料的目标进行了主动成像实验。实验中,先分别用 CCD1 和 CCD2 接收水平偏振图像和竖直偏振图像,然后,根据两幅图像的平均灰度值 I_x 和 I_y ,算出了不同目标反射光的偏振度 P 。在此基础上,对绿色油漆覆盖的铁片和铜片进行目标识别实验,通过对偏振图像进行直方图均衡化处理,将两种不同材料的金属目标明显地识别出来。实验证明,偏振图像具有识别目标细节的能力,特别适合暗小目标的探测与识别。

关键词:激光技术;线偏振激光;主动成像;目标探测与识别;图像处理;灰度直方图

中图分类号:TN249 文献标识码:A

Target Detection and Identification Based on Linear Polarization Laser Active Imaging

HU Fang-rong, XIONG Xian-ming, DONG Ting-jin
(Electronic Engineering Department of Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on description of polarization laser with stokes parameter, active imaging experiment is taken on six targets of different stuff. In the course of experiment, level polarization image and vertical polarization image are incepted with two CCDs, then polarization degree of different targets using average grey of two images is calculated. At the same time, target identification experiment is carried out on iron and copper, which all covered with green paint, and identifies them from each other through equilibrium of grey histogram of polarization image. Polarization image can identify details of target and especially fit for detection and identification of dark and small objects is proved.

Key words: laser technology; linear polarization laser; active imaging; target detection and identification; image processing; grey histogram

1 引言^[1-4]

目标探测与识别是现代战争中进行有效打击的前提。基于偏振激光主动成像的目标探测与识别,是用偏振激光照射目标,然后根据不同材料目标反射光的偏振度差异和偏振图像来进行探测与识别一种新技术。20世纪90年代初,美国CREOL学院研制的偏振激光主动成像仪能够成功地将金属目标从非金属中探测与识别出来;美国麻省理工学院(MIT)林肯实验室研制的小型主动式超光谱成像系统中,也使用偏振信息来进行地形和植被特征的描述。

2 偏振光的 Stokes 参量法描述^[1,4-8]

偏振光的数学描述通常有两种方法:一种是

Jones 矢量法,一种是斯托克斯(Stokes-Muller)参量法,在目标识别过程中一般使用 Stokes-Muller 体系解释光在光路中传播以及在目标表面反射时发生的偏振态的变化。

Stokes 参量法使用四个相互独立的参量 I, Q, U, V 来完全描述一束光线的偏振状态,各参量定义如下:

$$I = \langle E_x E_x^* + E_y E_y^* \rangle \quad (1)$$

基金项目:广西壮族自治区科技厅基金资助(No. 0639059)。

作者简介:胡放荣(1973-),男,讲师,硕士,研究方向为激光技术及其应用,光电子器件及光电测量等。E-mail: hufangrong02@126.com

收稿日期:2006-06-21;修订日期:2006-09-12

$$Q = \langle E_x E_x^* - E_y E_y^* \rangle \quad (2)$$

$$U = \langle E_x E_y^* + E_y E_x^* \rangle \quad (3)$$

$$V = j \langle E_x E_y^* - E_y E_x^* \rangle \quad (4)$$

式中, E_x 和 E_y 分别表示电场在 X 轴方向或 Y 轴方向的分量, 光波是沿着 Z 轴方向传播。其中 I 表示光波的总强度, 因而总是正的。 Q 表示 X 方向与 Y 方向上的线偏振光的强度差, 根据 X 方向占优势、 Y 方向占优势或是一样, Q 取值正、负或零。 U 表示 $+45^\circ$ 方向与 -45° 方向上的线偏振光的强度差, 根据 $+45^\circ$ 方向占优势、 -45° 方向占优势或是一样, U 取值正、负或零。 V 表示右旋还是左旋圆偏振分量占优势, 根据右旋方向占优势、左旋方向占优势或是一样, V 取值正、负或零。由于圆偏振分量很小, 相对于仪器的误差可以忽略, 故通常取为零。

因此, 要完全确定一束光的偏振态, 需要三个独立数据来建立方程组求解 I 、 Q 、 U 。由 I 的表达式易知, 在与 X 轴的夹角为 α 的方向上, 观测到的光强为:

$$I(\alpha) = \frac{1}{2}(I + Q\cos 2\alpha + U\sin 2\alpha) \quad (5)$$

只要测出三个不同角度处的线偏振分量光强, 即可解得参量 I 、 Q 、 U 。当 α 分别为 0° 、 60° 、 120° 三个不同角度时, 以下关系成立:

$$\begin{cases} I = \frac{2}{3}[I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)] \\ Q = \frac{4}{3}[I(0^\circ) - \frac{1}{2}I(60^\circ) - \frac{1}{2}I(120^\circ)] \\ U = \frac{2}{\sqrt{3}}[I(60^\circ) - I(120^\circ)] \end{cases} \quad (6)$$

如果参量 I 、 Q 、 U 确定了, 那么整束光的偏振状态就完全确定了。因此, 若测出光线在三个不同角度的线偏振分量的光强, 就可以定量确定整束光的偏振状态。

另一个描述偏振状态的参量是偏振度 P , 可以用下式定义:

$$P = \sqrt{Q^2 + U^2}/I \quad (7)$$

若探测器的光强增加到 k 倍, 由式(7)可知 I 、 Q 、 U 也增加到 k 倍, 此时偏振度 $P' = P$, 仍保持不变。由此可知, 当外界光强变化时, 偏振图像的偏振度保持不变, 而强度图像的清晰度和对比度则会发生变化, 因此, 偏振图像与偏振度便成为目标探测与识别的重要信息。

3 材料偏振特性的实验研究

为了研究不同材料在线偏振光作用下反射光的偏振特性, 我们进行了如图 1 所示的主动成像实验。

激光通过偏振片后, 变成线偏振光, 经扩束后照射目标。目标反射光被望远镜接收, 经偏振分束器 (PSB) 后, 其水平偏振分量和竖直偏振分量发生分离并分别在 CCD1 和 CCD2 上成像。两个 CCD 上图像的采集和存储可通过与脉冲激光器同步的控制信号来实现。利用 MATLAB 软件作出两幅偏振图像的灰度直方图, 并算出其平均灰度值, 根据进入 CCD 的光子数与平均灰度值成正比, 光强又与光子数成正比, 可以用平均灰度值来衡量光强。由以下偏振度计算公式可以求出不同目标的偏振度:

$$P = \frac{I_x - I_y}{I_x + I_y} \quad (8)$$

式中, I_x 为 CCD1 采集到的水平偏振图像的平均灰度值; I_y 为 CCD2 采集到的竖直偏振图像的平均灰度值。实验目标分别采用铁片、铜片、铝片、塑料、树叶和白纸, 每一次实验时保证光斑小于目标表面积, 而且目标位置不变, 发射系统与接收系统的光路也不变。

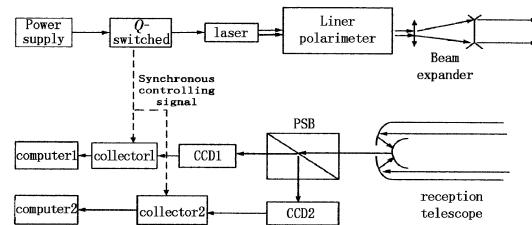


图 1 测量不同材料反射光偏振度的实验原理图
不同目标反射光的偏振度如图 2 和表 1 所示。

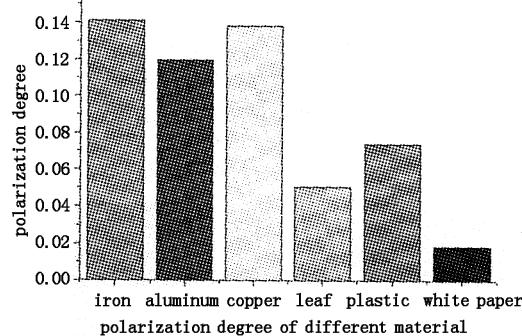


图 2 线偏振光照射下不同材料目标反射光的偏振度

表 1 不同目标的偏振度

目标	水平图像直方图 灰度平均值 I_x	竖直图像直方图 灰度平均值 I_y	偏振度 P
铁片	117.27	88.32	0.1408
铝片	127.32	100.18	0.1193
铜片	131.72	99.73	0.13822
树叶	53.30	48.16	0.05066
塑料	90.77	78.26	0.07401
白纸	193.34	200.68	0.01863

从图2可以分析得出,人工目标的偏振度普遍要高于自然目标的偏振度,金属目标可以明显地从自然目标中识别出来,其主要原因是自然目标表面起伏较大,其散射光基本已没有散射特性。在这里我们还发现,白纸的偏振度是最小的,这跟物体表面的粗糙度有关,表面粗糙的物体在线偏振光作用下反射光的偏振度往往比光滑物体更大。

4 目标探测与识别

为了验证偏振激光主动成像技术在实际目标识别中的效果,我们进行了外场实验,同时采集到了50m远处目标的偏振图像与强度图像,如图3所示。由图可知,偏振图像比强度图像清晰程度要高,灰度分布范围宽;而强度图像很模糊,灰度范围窄,而且更多地集中在低灰度值一边,所以偏振图像能更好地识别目标的细节。

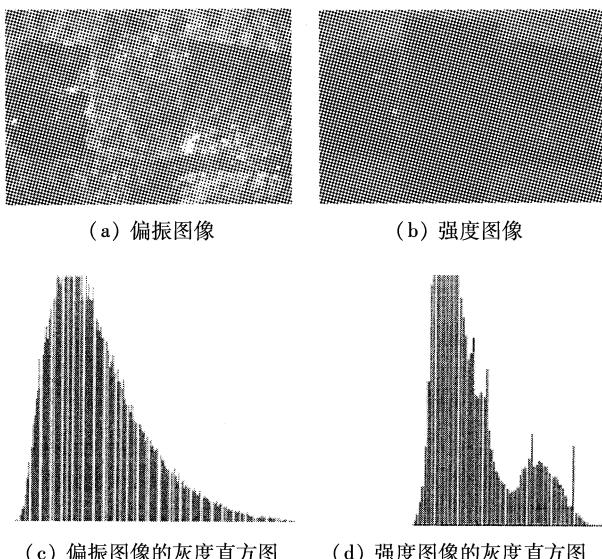


图3 目标的强度图像与偏振图像及其灰度直方图

为了进行目标识别,我们在铜片和铁片的表面均涂上厚度基本相同的绿色油漆,图4(a)和(c)分别为在同样光强和距离条件下采集到的偏振图像和强度图像,可以看到偏振图像整体上灰度较低,而强度图像由于反射光较强,所以灰度值较高。但是这两幅图像均不能明显地识别出两种不同的金属材料,主要是由于两幅图像灰度的动态范围较小。要想增强对图像细节的描述,应该对图像进行增强处理,我们采用直方图均衡化的方法来增加图像灰度的动态范围,增强对比度。图4(b)和(d)分别为经过直方图均衡化后的偏振图像和强度图像。由图4(b)可以清楚地将两种不同的材料分辨出来。

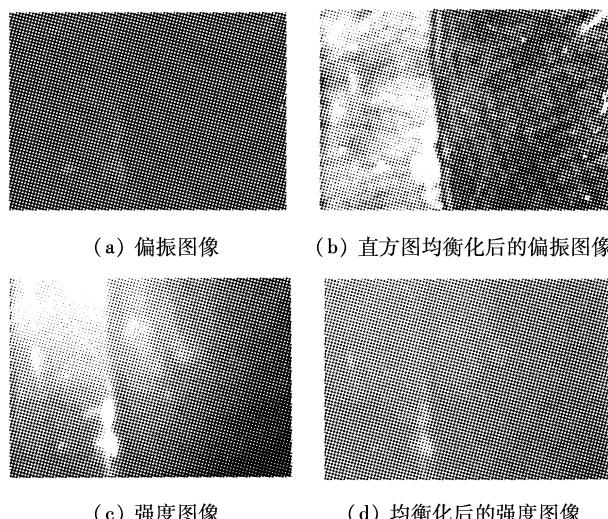


图4 两种金属材料的偏振图像和强度图像

5 结 论

偏振图像可以表征一些强度图像很难表征的信息,如目标表面的粗糙度,对于识别不同的地面目标具有潜在的价值。特别是在低照度条件下,偏振信息比强度信息具有更大的探测与识别能力,更适合森林搜救、军事侦察等领域的应用。尽管偏振光主动成像的理论研究还有待进一步深入研究,但可以预见,包含偏振信息的联合目标识别系统在未来战场上一定会有巨大的应用前景。

参考文献:

- [1] P Clémenceau, A Dogariu, J Stryewski. Polarization active imaging [C]. Proceedings of SPIE, 2000, 4035: 401 – 406.
- [2] P Clémenceau, S Breugriot, L Collot. Polarization Diversity Active Imaging [C]. SPIE Conference on Laser Radar Technology and Applications III, SPIE, 1998, 3380: 284 – 291.
- [3] Kevin J Snell, Andre Parent, Marc Levesque, et al. An Active, Range-Gated Near-IR TV System for All-Weather Surveillance [M]. SPIE, 1997, 2935: 171 – 181.
- [4] 于前洋,许武.主动成像与距离选通[Z].吉林:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所. 2002, 9: 120 – 147.
- [5] 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,2005,3:352 – 355.
- [6] 何毅,吴健,刘盛纲.粗糙表面激光散射特性的理论研究[J].光学学报,1997,17(9):1202 – 1208.
- [7] 孙晓兵,乔延利,洪津,等.人工目标偏振特征实验研究[J].高技术通讯,2003,8:23 – 27.
- [8] 陈延如,王家旺.圆偏振光和线偏振光散射特性分析与比较[J].量子电子学报,1997,14(6):551 – 557.