

日光对 532 nm 激光成像性能影响实验分析

周鑫¹, 孙剑峰¹, 姜鹏², 王海虹¹, 王骐¹

(1. 哈尔滨工业大学 光电子技术研究所 可调谐(气体)激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 北京机电工程研究所, 北京 100074)

摘要: 532 nm 激光成像雷达在成像过程中容易受到日光干扰而降低图像信噪比。利用 532 nm 条纹管激光雷达对复杂场景(建筑物群)进行昼夜成像实验, 并采用直方图统计法分析同一场景分别在白昼和夜晚的激光强度像和距离像的像素值分布, 进而分析日光对激光成像性能影响。实验结果表明: 日照光会提高激光强度像的亮度以及背景/目标的对比度, 同时也增加了距离像的空天背景噪声; 夜晚激光距离像信噪比高, 但目标强度像对比度不佳。

关键词: 目标特性; 532 nm 激光; 激光成像; 日照光

中图分类号: TN249 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)05-1432-06

Experimental analysis of the effect of sunlight on 532 nm laser imaging properties

Zhou Xin¹, Sun Jianfeng¹, Jiang Peng², Wang Haihong¹, Wang Qi¹

(1. National Key Laboratory of Science and Technology on Tunable Laser, Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Beijing Electro-Mechanical Engineering Institute, Beijing 100074, China)

Abstract: 532 nm laser imaging radar can be easily interfered by the sunlight in the imaging process and then it reduces the image SNR. The 532 nm streak tube laser radar was used to carry on the imaging experiment of the multiple scene (groups of buildings) respectively in the day time and night, and the histogram statistics method was used to analyze the distribution of pixel values of laser intensity image and laser range image in the day time and night of the same scene, then the effect of sunlight on the laser imaging properties was analyzed. The experiment results show that the sunlight can increase the brightness and the background/target contrast ratio of laser intensity image, at the same time it can also increase the sky background noise of the range image; and the laser range image has high signal-to-noise ratio at night, but target intensity image contrast ratio is poor.

Key words: target characteristics; 532 nm laser; laser imaging; sunlight

收稿日期: 2014-09-07; 修订日期: 2014-10-12

作者简介: 周鑫(1990-), 男, 硕士生, 主要从事激光图像处理、目标特性分析等方面的研究。Email: hit_szx@163.com

导师简介: 孙剑峰(1978-), 男, 副教授, 博士生导师, 博士, 主要从事激光图像处理及目标识别方面的研究。Email: sjf@hit.edu.cn

0 引言

在分析激光图像过程中,激光目标特性分析是十分重要的环节。目标特性分析所涉及的因素多、成因复杂,因此在此方面的研究一直比较少。现阶段,532 nm 波段对应的激光器和探测器都比较成熟,激光雷达种类也比较多,如条纹管激光雷达、APD 激光雷达和像增强器激光雷达等。研究该波段激光雷达的目标特性分析具有重要的实际应用意义。

近年来,研究激光目标特性主要集中在材质、散射截面、涂层和大气衰减等方面。孙礼民等采用样本比值法,实验测量了不同材质及涂层表面对激光束在整个半球空间内的双向反射分布函数,得出了所测几种样品在 650 nm 波长激光照射下的表面反射与散射特性^[1];蔡雷等利用 1.319 μm 激光测量了圆板、圆柱、圆锥等目标在不同涂层时目标反射截面随入射角度的变化关系^[2];张向东研究了复杂目标和海背景的红外与激光成像特性^[3];魏靖松等利用 532 nm 激光对几种材料的反射率随角度的变化进行了实验研究^[4];郭婧等研究了 532 nm 与 1 064 nm 激光在雨中的传输衰减特性^[5];周旭从 SAR 的成像原理出发,深入分析和探讨了影响 SAR 图像目标特性的主要因素;总结了点状目标、线状目标和面状目标的一些特性分析和特征提取技术^[6]。因 532 nm 波段属于可见光,则研究日照光对 532 nm 激光目标特性影响是十分重要的。

文中利用自制的条纹管激光成像雷达(STIL),对以建筑物群为主的复杂场景进行了成像实验,获得了在白昼和夜晚两组同一场景的激光强度像和距离像。利用直方图统计法,分析了日光对两组图像的影响。

1 条纹管激光成像雷达装置

条纹管激光成像雷达(Streak Tube Imaging Lidar, STIL) 是美国首先实验报道的一种新体制闪光式激光成像技术,具有成像帧频高、探测视场角大,高探测灵敏度,高距离分辨率等优点^[7-10]。

图 1 是条纹管激光成像雷达的成像原理图。激光器发出脉冲激光,经过光学系统整形为线状光斑后照射到目标上,其回波信号由接收镜头接收,聚焦

到条纹管的光电阴极上;当光电阴极上的狭缝部分被光脉冲照明时,将发射光电子,其瞬态发射密度正比于该时刻的光脉冲强度,因此光电阴极发出的电子脉冲在时空结构上是入射光脉冲的复制品。电子脉冲经静电聚焦系统聚焦后,进入偏转系统。偏转系统上加有随时间线性变化的斜坡电压,由于不同时刻进入偏转系统的电子受到不同偏转电压的作用,按照脉冲到达的时间先后顺序,经 MCP(微通道板)放大后到达荧光屏。在荧光屏上将沿垂直于狭缝的方向展开,这一方向对应于时间轴,可以得到沿狭缝每一点展开的时间信息,重构后便可以得到回波信号所对应的距离信息,即目标的距离像。

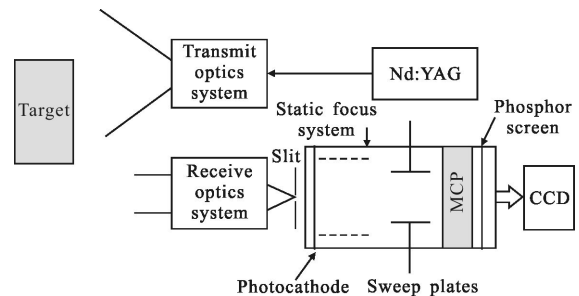


图 1 成像基本原理

Fig.1 Basic principle of imaging

笔者所在课题组自研的条纹管激光成像装置如图 2 所示。该系统主要包括:YAG 激光器、收发光学系统、条纹管探测器(包括 CCD 相机)、延时器、控制计算机和转台等部分。条纹管探测器内置 532 nm 窄带滤波片,主要用于滤除 532 nm \pm 10 nm 以外的杂散光,发射光的稳定性较高。

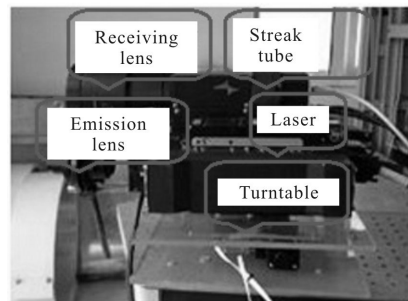


图 2 条纹管激光成像装置

Fig.2 Streak tube laser imaging device

2 成像实验结果

针对以建筑物群为主的复杂场景,完成了在日

光(高照度)和夜晚(低照度)不同照度下的复杂场景激光成像实验(能见度>10km)。复杂场景见图 3 所示,图中有 5 栋楼房,分别标注建筑物 I~V,所有楼房都涂有颜料,建筑物 I 为灰色,建筑物 II~V 以粉色涂料为主,建筑物 V 为粉白相间。

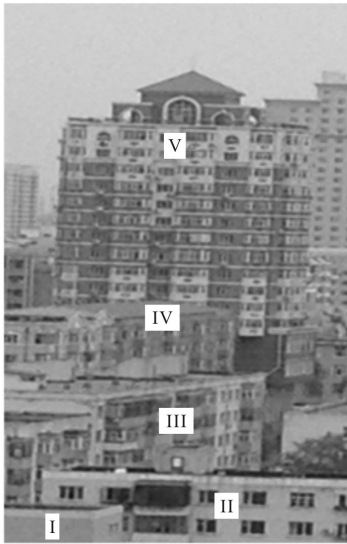
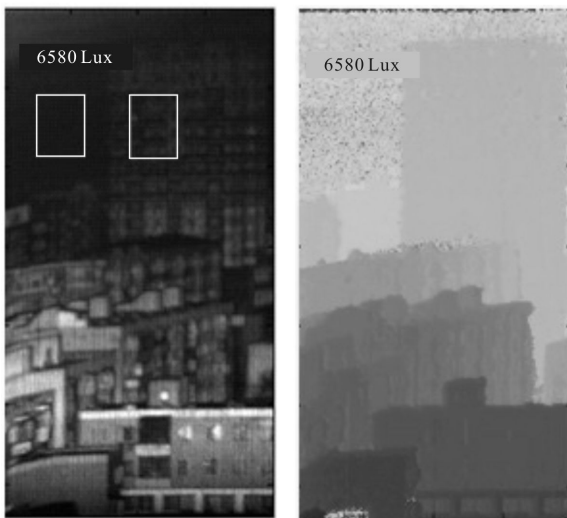


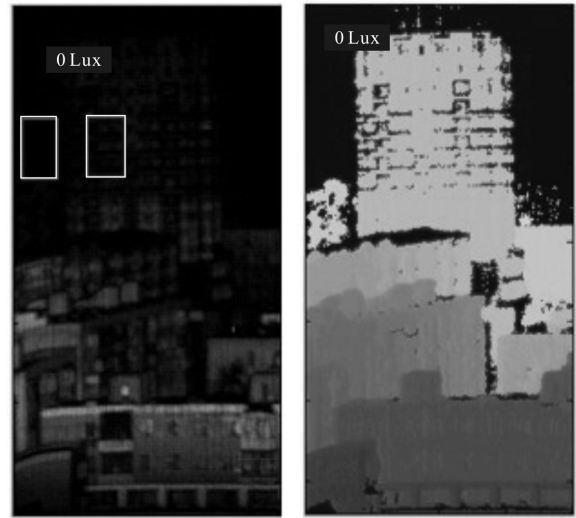
图 3 复杂场景实物照片

Fig.3 Picture of multiple buildings

使用照度计分别测量了白昼和夜晚的照度值,分别为 6580Lux 和 0Lux,并在此环境下获得了 532 nm 条纹管激光雷达的复杂场景多目标的激光强度像和距离像,成像结果见图 4 所示。



(a) 强度像 (a) Intensity image
(b) 距离像 (b) Range image

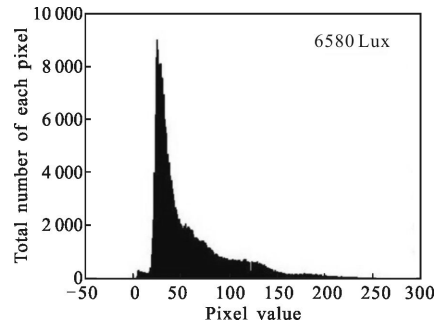


(c) 强度像 (c) Intensity image
(d) 距离像 (d) Range image

图 4 激光成像实验结果

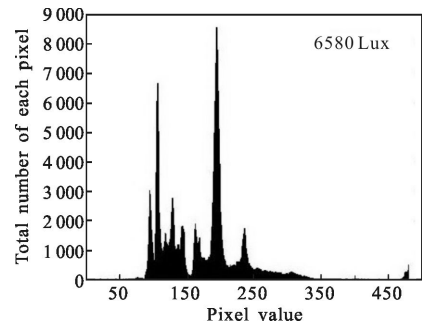
Fig.4 Experimental results of laser imaging

对上述两种照度条件下的激光强度像和距离像分别进行直方图统计分析,结果如图 5 所示。



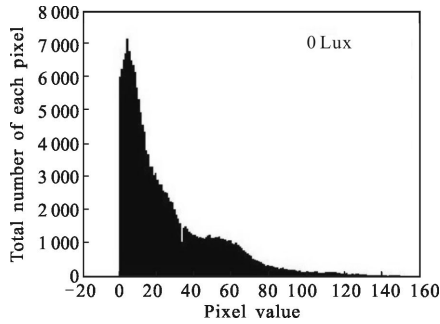
(a) 强度直方图

(a) Intensity histogram

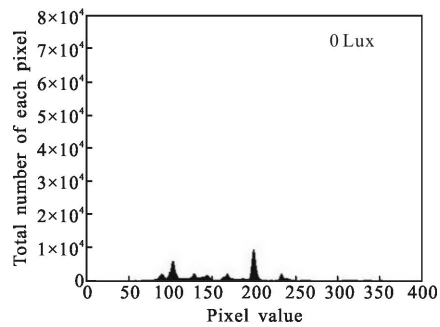


(b) 距离直方图

(b) Range histogram



(c) 强度直方图
(c) Intensity histogram



(d) 距离直方图
(d) Range histogram

图 5 直方图统计分析结果

Fig.5 Results of histogram statistical analysis

首先比较强度直方图:

对于文中将建筑物群当做目标,天空作为背景。将目标-背景对比度定义为^[11]:

$$C = \frac{|I_1 - I_2|}{\max(I_1, I_2)} \quad (1)$$

式中: I_1 为目标的反射强度; I_2 为背景的反射强度。

如图 4(a)、4(c), 选取天空的一定区域的强度平均值作为 I_2 , 选择相同区域大小的目标强度平均值作为 I_1 。可以得到 4(a) 的目标-背景对比度为 0.103, 而 4(c) 的对比度为 1。

从图 5(a) 和 5(c) 中可以看到, 日照条件下强度像的像素值最大值可达到 300 左右, 且峰值范围在 30~50 之间, 而夜晚条件下强度像的最大值才到 160 左右, 峰值范围在 0~20 范围内, 日光使得激光回波信号的强度波峰位置向右移动且强度的范围发生了展宽, 表明回波信号强度变大, 表现在强度像是图像的亮度增强, 然而理论计算说明目标-背景的对比度降低, 主要是大气后向散射造成的; 整体上有日光的强度像使得视觉效果增强, 若可以滤除大气产生

的噪声, 将有利于后期的图像处理和探测识别。

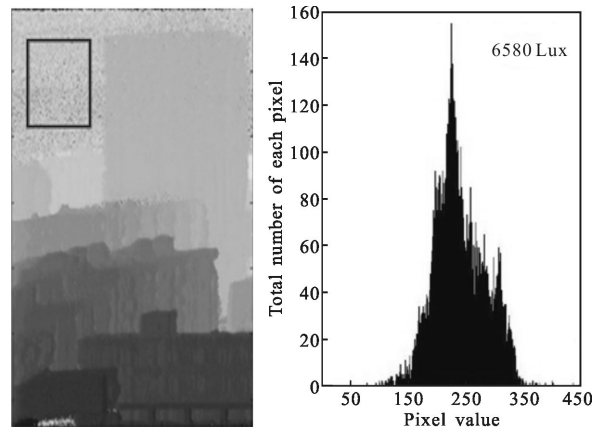
其次比较距离像直方图:

距离像每一点的像素值可以换算为实际每一点的距离值, 像素值代表的就是距离。

(1) 与强度像相比, 目标激光距离像不易受到照度变化影响, 在图 4(b) 和 (d) 可以看到, 各目标之间的相对距离是非常稳定的。两图的绝对距离是有些变化, 这主要受到雷达系统误差的影响, 诸如激光发射时间与激光器电源触发信号之间存在延时, 且延时偏差在微秒量级, 及电子元器件造成的时间延时不固定等, 不过这些变化可以忽略不计, 比较图 5(b) 和 (d) 举例说明, 可以看到: 图 5(b) 距离像在像素值处于 100、200、240 时到达峰值, 在 150 处达到谷值, 同样在图 5(d) 是同样的结果, 可见这些延时基本上不造成影响。

(2) 通过比较图 5(b) 和 (d), 首先, 夜晚图像距离像为 1 的像素值很大, 原因是夜晚提供光源的只有激光, 导致回波强度很小, 目标上有的点的回波强度小于探测器的最小接收强度, 从而认为这些点无回波; 其次, 日光展宽了距离值范围, 主要是日光增强了大气后向散射强度, 使得雷达接收到较强的大气后向散射光, 进而导致空天背景噪声增大; 再对比图 4 距离像的空天背景, 在高照度条件下, 天空背景有噪声, 而低照度条件下近似为零, 使得夜晚激光距离像信噪比较高, 表现在距离像是天空区域的图像比较均匀、干净, 成像质量更佳。

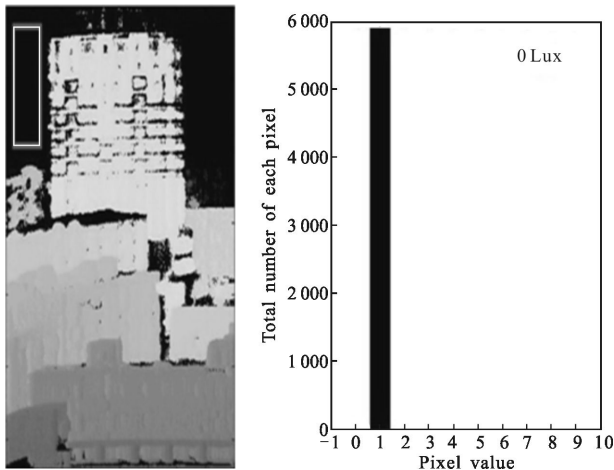
进一步对空天背景噪声进行直方图统计分析, 统计范围为左图方框标注区间, 结果如图 6 和图 7 所示。



(a) 距离像 (a) Range image
(b) 天空背景距离直方图 (b) Sky background range histogram

图 6 高照度条件下的空天背景噪声分析

Fig.6 Analysis of sky background noise in high illumination



(a) 距离像 (b) 天空背景距离直方图
(a) Range image (b) Sky background range histogram

图7 低照度条件下的空天背景噪声分析

Fig.7 Analysis of sky background in low illumination

通过比较图6(b)和图7(b)可以看出,由于日光的大气后向散射造成的噪声引起的空天背景距离值是距离选通范围的随机值,从图中来看,该随机分布不是均匀分布,近似于高斯分布,这与传统分析有差别,需再进一步深入研究。

整体上日光由于大气后向散射的原因使得距离像变得不清晰,对比度降低,成像效果不佳,提高了后期图像处理的难度。

对于下一步目标识别研究,将对比度的大小对目标识别的影响作为一方面工作,此外,滤噪工作将是一个重点,因为这将直接影响目标识别算法的复杂程度。作者所在课题组已进行了相关的工作^[7,12],从条纹图像入手进行滤波的方法,以及基于对比度调制的方法都达到了很好的滤波效果。

通过实验分析可知,在具体利用激光雷达过程中,要根据日光对532 nm激光图像质量影响,选择最佳策略进行图像处理及目标识别,从而有效体现激光雷达的“精准”优势。

3 结论

文中利用内置 532 ± 10 nm窄带滤波片的STIL对建筑物群在白昼和夜晚进行成像实验,分析了日光照射度变化对532 nm激光成像性能影响,照射度较高时,强度像整体亮度较高,距离像信噪比低;反之,强度像亮度较低,距离像信噪比高,因此在目标识别过

程中要充分考虑日光影响,进而选择最佳的图像处理及识别策略。此外,分析了空天背景噪声距离像的直方图分布,在高照度条件下,距离像噪声不是随机分布,而是近高斯分布,这对分析距离像噪声成因有借鉴意义。

参考文献:

- [1] Sun Limin, Zhao Jianlin, Ren Ju, et al. 3-D measurements of bidirectional reflectance distribution functions of target surfaces with different coats [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(12): 2529–2533. (in Chinese)
孙礼民, 赵建林, 任驹, 等. 具有不同涂层的样品表面双向反射分布函数的三维测量 [J]. 光子学报, 2008, 37(12): 2529–2533.
- [2] Cai Lei, Yao Dongsheng, Guan Xiaowei, et al. Target reflection section in 1.319 μm laser-illuminated condition [J]. *Laser and Infrared*, 2010, 40(5): 463–466. (in Chinese)
蔡雷, 姚东升, 关小伟, 等. 1.319 μm 激光照明条件下目标特性的实验研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40(5): 463–466.
- [3] Zhang Xiangdong. Researches on infrared and laser imaging properties of complex targets and background [D]. Xi'an: Xidian University, 1997. (in Chinese)
张向东. 复杂目标和背景的红外与激光成像特性研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 1997.
- [4] Wei Jingsong, Wang Qi, Sun Jianfeng, et al. Experimental study on object reflection of imaging laser radar [C]// *Optoelectronics and Microelectronics Technology (AISOMT)*, Harbin IEEE, 2011: 179–182.
- [5] Guo Jing, Zhang He, Wang Xiaofeng. Attenuation and transmission of laser radiation at 532 nm and 1064 nm through rain [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(1): 32–38. (in Chinese)
郭婧, 张合, 王晓锋. 降雨对532 nm和1064 nm激光传输的衰减特性研究 [J]. 光学学报, 2011, 31(1): 32–38.
- [6] Zhou Xu, Bao Zheng. Research on SAR target characteristics analysis [J]. *Computer Engineering and Science*, 2008, 30(7): 40–46. (in Chinese)
周旭, 保铮. SAR目标特性分析技术 [J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(7): 40–46.
- [7] Zang Junheng, Li Sining, Wang Qi, et al. Noise analyzing and processing of streak image for streak tube imaging lidar [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(8): 1533–1538. (in Chinese)
臧俊恒, 李思宁, 王琪, 等. 条纹管激光成像雷达条纹图像噪声分析与处理 [J]. 光子学报, 2008, 37(8): 1533–1538.

- [8] Sun Jianfeng, Gao Jian, Wei Jingsong, et al. Research development of under-water detection imaging based on streak tube imaging lidar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(5): 811–814. (in Chinese)
孙剑峰, 郜键, 魏靖松, 等. 条纹管激光成像雷达水下探测成像研究进展[J]. *红外与激光工程*, 2010, 39(5): 811–814.
- [9] Gleckler A D. Multiple-slit streak tube imaging lidar (MS-STIL) applications[C]//SPIE, 2000, 4035: 266–278.
- [10] Asher Gelbart, Chris Weber, Shannon Bybee–Driscoll, et al. Flash lidar data collections in terrestrial and ocean environments[C]//SPIE, 2003, 5086: 27–38.
- [11] Lou Heli, Lv Xiangyin, Zhou Yuanpu, et al. Infrared radiation contrast between ground target and background[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(8): 2002–2007. (in Chinese)
娄和利, 吕相银, 周园璞, 等. 地面目标与背景的红外辐射对比度特性[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(8): 2002–2007.
- [12] Ge Mingda, Sun Jianfeng, Wang Tianjiao, et al. Denoising methods for streak tube imaging lidar range image based on contrast-modulation method [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(6): 1448–1452. (in Chinese)
葛明达, 孙剑峰, 王天骄, 等. 基于对比度调制法对条纹管激光雷达距离像的去噪方法 [J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(6): 1448–1452.