

大视场条纹管激光雷达设计及成像实验研究

孙剑峰 魏靖松 王天骄 郜 键 王 琪

(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 150080)

摘要 激光成像雷达可提供目标四维像(即强度像和三维几何距离像),在搜索监控中,极易滤除复杂背景杂波,在提高目标检测识别的能力方面具有较大提升空间;但传统激光雷达受到器件限制,很难做到高帧频、大视场。提出采用高探测灵敏度条纹管激光雷达作为大范围搜索监控探测器的设计方案,并建立相应的实验装置。在 532 nm YAG 激光器单脉冲能量为 20 mJ 的条件下,实现了 45°大视场成像。实验结果表明,建立的实验装置,获得了远距离大视场复杂场景四维像,具有全覆盖和无漏点成像的优势,有着良好的实际应用前景。

关键词 激光雷达; 条纹管; 成像系统; 大视场

中图分类号 TP752.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.s100413

Design of Streak Tube Imaging Lidar with Wide-Field of View and Research of Imaging Experiments

Sun Jianfeng Wei Jingsong Wang Tianjiao Gao Jian Wang Qi

(National Key Laboratory of Science and Technology on Tunable Laser, Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

Abstract Laser radar can provide the four-dimensional image of target (intensity image and three-dimensional range image). The clutter in the complex background is easily segmented in the searching and monitoring process. It can improved the space between the aspect of target detection and recognition. Because of the limitation of hardware, traditional laser radar is difficult to meet the requirements of high frame-rate and wide field of view (WFOV). A design scheme is presented by using the streak tube imaging lidar (STIL) with high detection sensitivity as the detector of searching and monitoring, and then the corresponding experiment equipment is built. 45° WFOV imaging is completed using the 532 nm YAG laser which pulse energy is 20 mJ. The experimental results show that the complex scene 4-D images with far-distance and WFOV are collected by using STIL, and it contribute to full-coverage and unleak pixels imaging. It has good application foreground.

Key words laser lidar; streak tube; imaging system; wide-field of view

OCIS codes 280.3640; 110.2970; 220.4830

1 引 言

目前,被动红外和可见光 CCD 是光电成像的主要方式^[1,2],由于其具有体积小、高分辨率等优势,可以实现大视场成像,已在大范围搜索监控等军民方面得到应用。但它们只能提供目标的二维平面像,不能给出视场内目标之间的距离和目标表面空间结构,即缺少获取目标三维空间信息的能力,其自动目标识别(ATR)能力受到限制。激光雷达为主动成像,能获取反映目标材质信息的强度像和目标三维几何距离像,获取信息丰富,具有提升目标检测识别的能力。自 20 世纪 70 年代起,就一直是国际上的研究热点^[3,4],但由于受到雷达系统体积、功率及探测灵

敏度等诸多技术指标限制,通常激光雷达收发视场较小(如小于 10°),为获取大角度图像,采用随动机构通过扫描拼接成像,扩展其实际应用性能。

本文提出大视场条纹管激光雷达成像系统设计,初步建立了成像实验装置,在满足装置小型化前提下,实现了大视场远距离闪光式成像,获得清晰复杂场景四维像。

2 实验方案设计

2.1 条纹管四维像探测器基本原理

条纹管激光成像雷达是闪光式体制的,可一次成像,并能高速获取目标四维像数据,是 21 世纪初

收稿日期:2011-02-24; 收到修改稿日期:2011-03-08

作者简介:孙剑峰(1978—),男,博士,副教授,主要从事激光成像雷达图像处理和目标识别等方面的研究。

E-mail: hit_sunjianfeng@yahoo.com.cn

由美国首先报道的^[5,6],随后国内也开展了此方面的研究^[7]。

该激光雷达依据瞬态光学中高精度微弱信号测量原理,使用条纹管作为激光成像雷达的四维像探测器^[5~7],其工作原理如图 1 所示。光学系统将回波光信号的像成在狭缝上,狭缝取出的一维空间信息通过中继透镜成像在变像管的光电阴极上。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,经微通道板(MCP)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。

根据其基本原理,条纹管激光成像雷达(STIL)具有如下优势:

1) 大视场: 为闪光式一次成像,成像区域大;

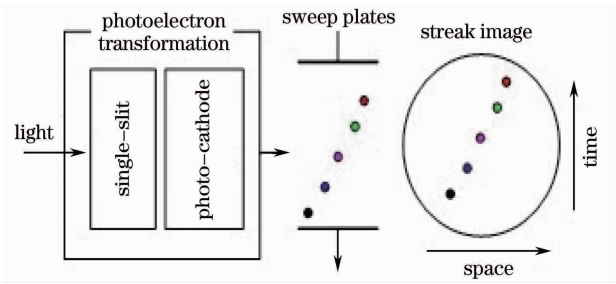


图 1 条纹管的工作原理

Fig. 1 Principle of streak tube

2) 高距离分辨率: 偏转系统能提高距离的探测分辨率,使条纹管的距离分辨率达到厘米量级,测距精度高;

3) 高探测灵敏度: 条纹管探测器中使用 MCP, MCP 可对偏转后的电子信号放大,通过加装多片 MCP,放大能力能进一步提高,因此具有极高的探测灵敏度。

2.2 大视场条纹管激光雷达设计方案

所使用的条纹管探测器采用内增益方式,对其进行探测灵敏度测试^[8],测得结果为 10^{-19} J/mm²,具有较高的探测灵敏度;同时,该探测器体积较小,具备搜索监控等实际应用功能,系统总体设计框图如图 2 所示。

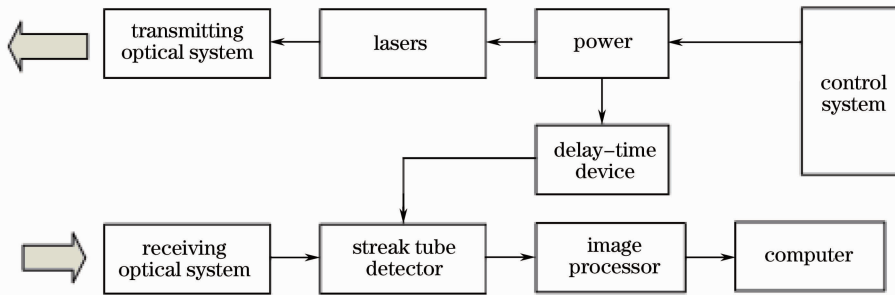


图 2 条纹管激光雷达设计框图

Fig. 2 Design diagram of STIL

当要对目标区域进行成像时,程控系统发出开机指令,激光器以指定频率开始工作,同时电源发出同频的电脉冲,经延时器后,外触发条纹管探测器,实现距离选通成像。接收光学系统接收目标的回波信号,聚焦到探测器焦平面上,最终由 CCD 输出获取的条纹图像。图像处理器将条纹图像重构为目标的目标强度像和距离像^[9],当获得完整的目标四维像后,进行图像处理及目标检测识别,将实时图像和识别结果输出到计算机上进行显示。

成像雷达系统,实验装置如图 3 所示。装置中的条纹管为单狭缝,相当于一种线列四维像探测器,通过

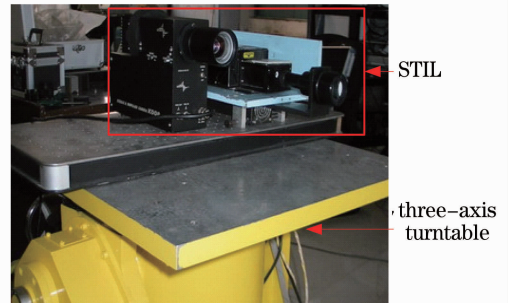


图 3 实验装置照片

Fig. 3 Picture of experimental equipment

3 实验结果

按照设计方案,初步建立了大视场条纹管激光

一维行扫描,才能获取完整的场景四维像;激光器为半导体抽运 YAG 激光器,波长为 532 nm,单脉冲能量为 20 mJ,最大工作重复频率为 100 Hz。图 3 中的三轴转台可在俯视和仰视方向运动,通过一维扫描实现目标成像。

将条纹管激光雷达放置在实验用三轴转台上,通过手动控制俯视和仰视方向进行一维行扫描成像,其中转台内部码盘可读出转动角度,并由计算机显示。研制了一套 45° 的接收与发射光学系统,发射光学系统将激光圆光斑转换为线光斑,通过四维像重构算法,可获得完整视场的四维像。

通过窗户对外场复杂场景进行一维扫描成像,成像区域范围为 400~800 m,场景的实物照片如图 4 所示,图中标注了典型建筑物,其中高层建筑物(目标 1,目标 2 和目标 3)都是远距离的目标。

通过俯视和仰视方向推扫,可获得由近及远的



图 4 场景实物照片

Fig. 4 Picture of real scene

多目标复杂场景的四维像,实验结果如图 5 所示。与图 4 对比,二者空间位置关系是镜像的,即图 5 中的左侧建筑物(目标 1)与图 4 中右侧建筑物(目标 1)对应。目标 4 在强度像内表现为阴影,主要因为目标 4 没有在距离选通范围内。图中标注目标与探测器距离分别为(按序号顺序):706, 722, 744, 295 和 386 m。

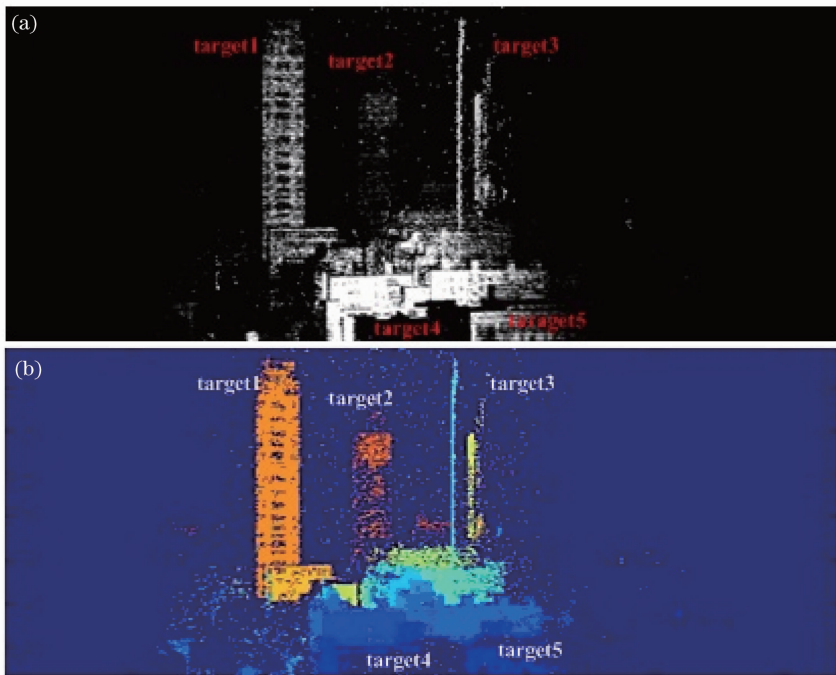


图 5 成像实验结果。(a)强度像;(b)距离像

Fig. 5 Result of imaging experiment. (a) Intensity image; (b) range image

强度像反映了建筑物材质对 532 nm 激光的反射情况,在大视场条件下,仍有较强的反射,而对场景中的树木,几乎没有成像,反射较弱,强度像的灰度变化范围为 0~256;距离像反映了场景中目标群之间的空间位置关系,用伪彩色表示,即颜色对应目标与探测器间的距离,其测距精度理论值为 1.2 m。将图 5 中下部分多目标群所成的距离像与目前常用的被动红外或 CCD 图像相比,图 5 更容易将特定目

标分割。由于强度像与距离像的像素之间是一一对应的关系,利用二者的相关性可滤除各自噪声,可为搜索监控提供更为清晰的图像,也适合开展像素级信息融合技术。

由于接收与发射光学系统都为 45° ,理论上应获取全视场图像,但分析图 5 实验结果,可知成像区域两侧没有回波信号,这主要是因为发射光学系统没有将高斯光斑能量变换均匀,而使光斑中间能量

高, 两侧能量低, 致使探测器不能检测到两侧场景的回波信号。

4 结 论

将高探测灵敏度的条纹管激光成像雷达应用于大范围搜索监控中, 可实现大视场、高帧频和高分辨率。根据提出的设计方案建立了相应的实验装置, 并完成了外场成像实验, 结果表明, 本方案能获取大视场远距离场景四维像, 具备实际应用可行性。

参 考 文 献

- 1 He Hongxing, Zhao Jingsong, Pan Shunchen. Common-aperture optical system for MWIR/SWIR polarization imager[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(4): 932~936
何红星, 赵劲松, 潘顺臣. 共口径中波/短波偏振红外成像光学系统[J]. *光学学报*, 2009, **29**(4): 932~936
- 2 Li Yuyao, Tang Yong, Lin Zhaoheng *et al.*. Design of apochromatism objective lens of aerial camera based on large frame array CCD[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(11): 3183~3185
李玉瑶, 唐 勇, 林昭珩 等. 基于大面阵 CCD 的复消色差航空相机物镜设计[J]. *光学学报*, 2009, **29**(11): 3183~3185

- 3 Jacques G. Verly, Richard L. Delanoy. Model-based automatic target reognition (ATR) system for forwardlooking groundbased and airborne imaging laser radar (LADAR)[J]. *Proceeding of The IEEE*, 1996, **84**(2): 126~163
- 4 Barbara Hanna, Bing-Bing Chai, Stephen Hsu. Wide-area terrain mapping by registration of flash LIDAR imagery[C]. *SPIE*, 2005, **5791**: 193~207
- 5 Anthony D. Gleckler. Multiple-slit streak tube imaging lidar (MS-STIL) applications[C]. *SPIE*, 2000, **4035**: 266~278
- 6 James S. Taylor, Mary C. Hulgán. Electro-optic identification research program[C]. *IEEE*, 2002. 994~1002
- 7 Wei Jinsong, Chen Yuanli, Xu Qiang *et al.*. Imaging by single-slit streak tube laser lidar[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 496~500
魏靖松, 程元丽, 徐 强 等. 单狭缝条纹管激光雷达的成像[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 496~500
- 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
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 Sun Jianfeng, Wei Jingsong, Liu Jinbo *et al.*. Target reconstruction algorithm for streak tube imaging lidar [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(2): 510~513
孙剑峰, 魏靖松, 刘金波 等. 条纹管激光成像雷达目标重构算法[J]. *中国激光*, 2010, **37**(2): 510~513