

文章编号: 0258-7025(2009)08-1991-04

多狭缝条纹管激光雷达系统设计及实验研究

刘金波 李思宁 王 骥

(哈尔滨工业大学可调谐(气体)激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 介绍了多狭缝条纹管激光雷达的技术优势,说明了多狭缝条纹管的成像原理。设计了采用多狭缝条纹管成像的实现方案,具体分析了多狭缝条纹管、光纤变换器及光锥、激光器及发射和接收系统、CCD 图像获取及处理系统等各个组成单元的性能。搭建了一套成像演示装置,进行了原理实验,通过对目标条纹像的分析,表明该系统能够同时获得目标距离像和强度像,验证了该方案的可行性并初步展示了该系统的基本性能。

关键词 激光技术;多狭缝条纹管;激光雷达;非扫描成像

中图分类号 TN958.98 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093608.1991

System Design and Experiment of Multiple Streak Tube Imaging Lidar

Liu Jinbo Li Sining Wang Qi

(National Key Laboratory of Tunable (Gas) Laser Technology, Harbin Institute of Technology,
Harbin, Heilongjiang 150080, China)

Abstract Principle and technique advantages of multiple streak tube imaging lidar are introduced. A multiple streak tube imaging lidar system is designed, the performance effect from each component is analysed, and some important parameters are discussed. Experiment to demonstrate the feasibility is carried out, the results show that the system can get range image and intensity image, some characters of the system are also demonstrated.

Key words laser technique; multiple streak tube; laser radar; non-scanning imaging

1 引言

激光雷达由于具有分辨力高、成像清晰、测量精度高、抗干扰能力强和体积小、设备简单等优点而备受重视,世界各国都在积极发展。目前比较成熟的有气象激光雷达^[1~3]、用于靶场测量的激光雷达^[4~6]、地形及海洋探测激光雷达^[7~10]等。本文介绍了一种基于条纹管技术的新型非扫描闪烁式激光成像雷达^[11~13],它由于具有距离分辨力高,成像帧频高等优点而成为一种很受重视,并且被认为是很有前途的成像技术。美国 Arête 实验室的 A. Gelbart 等^[14]于室内和室外分别进行了多狭缝条纹管成像的实验,已经实现视场角 $5.5^\circ \times 5.5^\circ$ 对 100 m 处的目标成像,距离分辨力接近 0.025 m。本文在对该雷达系统的基本结构和原理进行介绍的基础上,设计了一套多狭缝条纹管激光雷达非扫描成像系统,利用该成像系统进行

了演示实验,给出了实验结果,并对系统的成像性能进行了初步分析。

2 成像系统基本原理及系统组成

多狭缝条纹管激光雷达的基本结构如图 1 所示。1989 年 F. K. Knight 等^[15]首先提出了多狭缝条纹管非扫描成像原理,核心器件是多狭缝条纹管和光纤变换器。系统的基本工作原理是:发射激光扩束后照射到目标上,接收光学系统将目标反射光聚焦到光纤变换器的输入端面,光纤变换器把目标面图像变换为多个线图像,并通过光锥耦合到条纹管的光电阴极,利用条纹管对目标反射光的时间分辨特性,来实现对目标上不同像素点的距离分辨,而目标各像素成像的灰度值即代表了目标的强度。

收稿日期: 2008-08-29; **收到修改稿日期**: 2008-10-26

作者简介: 刘金波(1981—),男,博士研究生,主要从事激光雷达技术研究。E-mail: lionboo@sina.com

导师简介: 王 骥(1942—),男,教授,博士生导师,主要从事激光空间信息技术,小型化 X 光激光技术, EUV 光刻光源等方面的研究。E-mail: qiawang@hit.edu.cn

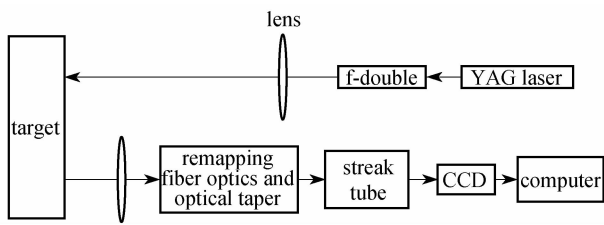


图 1 多狭缝条纹管激光雷达结构图

Fig. 1 Basic structure of multiple-streak tube imaging lidar

其中,条纹管对光信号时间分辨的原理如图 2,

图 3 所示,条纹管是本系统的核心探测器件,因此本系统对多狭缝条纹管进行了针对性的设计,使之更有利于非扫描成像系统。主要包括定制像增强器来

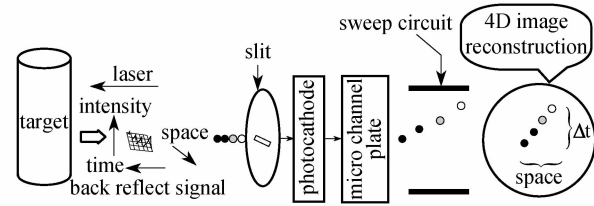


图 2 条纹管实现距离(时间)分辨原理

Fig. 2 Operating principle of streak tube

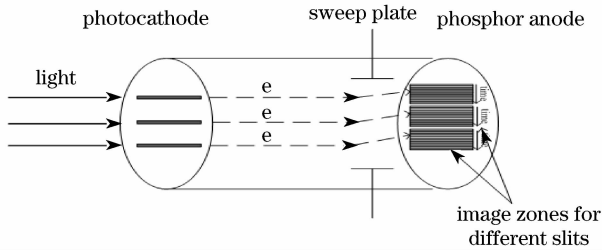


图 3 多狭缝条纹管工作原理

Fig. 3 Operating principle of multiple-streak tube

提高条纹管探测能力;定制光纤面板以利于与光纤变换器耦合;另外采用了短余辉荧光粉制作荧光屏并采用快门以提高成像帧频等;针对距离分辨能力和成像景深进行了优化设计,做到距离分辨能力与相应景深可调等;同时,条纹管的空间分辨能力也会影响整个系统的空间和距离分辨力,条纹管的图像失真度也关系到图像还原的质量^[16]。

光纤变换器的作用是将目标面图像离散化,并将各个像素重新排列,使输出图像变为条纹像,其结构示意图及对图像变换效果分别如图 4,图 5 所示。光纤变换器的主要技术要求是像素数量、整体透过率和光纤阵列排列的整齐性,其中像素数关系到系统的空间分辨率,透过率关系到系统的探测能力,光纤阵列排列的整齐性则会影响图像还原的准确性,一定程度上也会造成图像的模糊。CCD 相机作为图像获取装置,直接关系到获取图像的分辨率和成像的帧频数,因此是十分重要的一个部分。

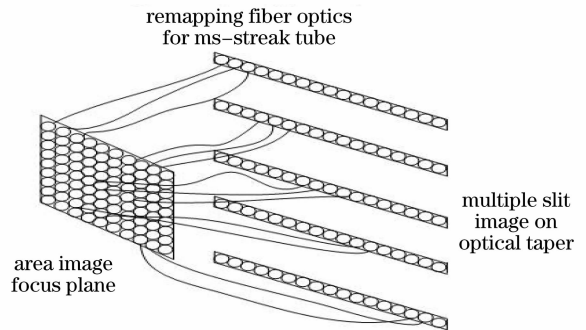


图 4 光纤变换器结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of remapping fiber optics

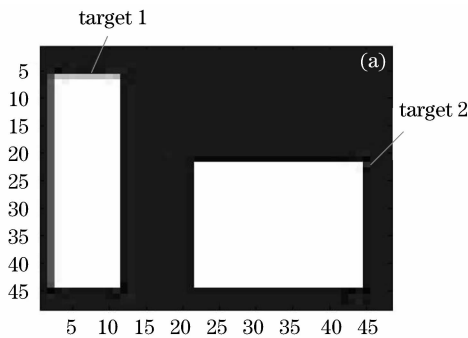


图 5 光纤变换器将面图像变换为条纹像示意图。(a)前端面输入像;(b)后端输出条纹像

Fig. 5 Remapping fiber optics translate area image to stripe image. (a) input area image; (b) output stripe image

综合来讲,多狭缝条纹管激光雷达是在单狭缝条纹管激光雷达的基础上发展起来的新技术,它充分利用了条纹管阴极的有效工作面积,能获得比单狭缝条纹管激光雷达更为丰富的信息。

3 实验装置及结果

利用本系统在室内进行了演示实验,实验采用光纤变换器的输入端的分辨率为 48 pixel × 48 pixel,激光器为 Nd : YAG 激光器,倍频输出

532 nm 激光作为发射光，脉宽为 10 ns。发射激光以 $2^\circ \times 2^\circ$ 的角度出射，两个目标分别距离成像系统 36 m 和 39 m (如图 6 所示)，目标的回波信号经过光学镜头接收后聚焦在光纤变换器的输入面上目标图像经光纤变换器变换为条纹像后耦合进入多狭缝条纹管的光电阴极，采用 CCD 相机来获取目标在条纹管上所成的条纹像。



图 6 位于 36 m 和 39 m 远处的两个目标
Fig. 6 Two targets at 36 m and 39 m away

首先经过对光学系统进行仔细调整，获得了目标的静态像(如图 7 所示)，两个目标经过接收透镜所成的光学像被光纤变换器变换为条纹像，从图中可以看出，代表两个目标的条纹像在水平方向上可以明显地分开，表明本系统可以对目标进行空间分辨，即能对目标成二维像。

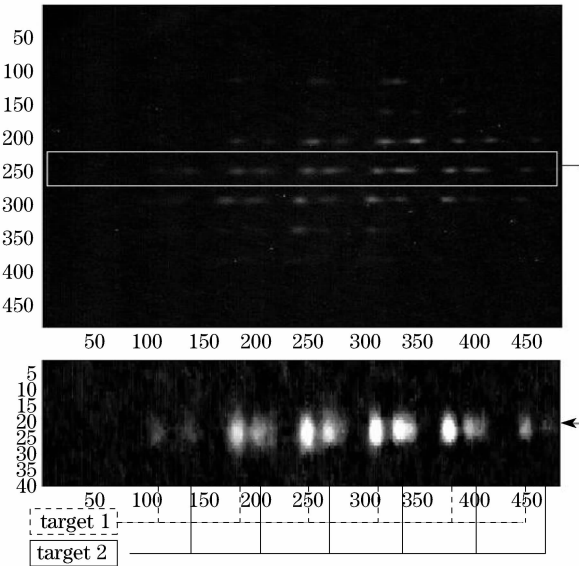


图 7 目标静态条纹像
Fig. 7 Static stripe image

在获取目标的静态像，并确定了目标与条纹像的对应关系之后，接着进行了动态实验。此时将条纹管调整到动态工作模式下，以获取目标的距离和强度信息。通过仔细调节系统各个单元器件的同步

关系，并选择合适的条纹管扫描速度，获得了目标的动态图像，如图 8 所示。

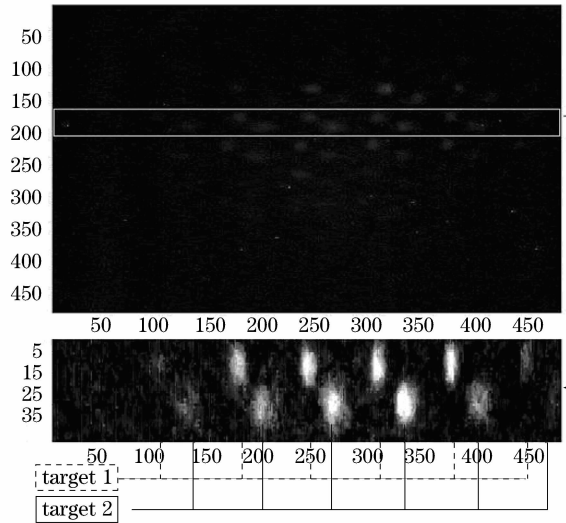


图 8 目标动态条纹像
Fig. 8 Dynamic stripe image

通过测定动态条纹像上两个目标像峰值点的垂直距离(垂直方向像素数)，同时考虑条纹管的扫描速度，就可以计算出两个目标的距离差。由目标静态像及动态像中各个条纹像的位置，依据系统对目标光学图像的变换规律，可以还原出目标的空间形状及其相对空间位置，因此系统可以实现对目标的二维空间分辨。静态像和动态像中各个目标像的灰度值，表示了目标反射光的强弱，代表了目标的反射特性，由此可以获得目标强度像。

在对条纹图像进行初步去噪滤波处理后，通过编程实现了条纹图像到目标实际距离像和强度像的还原重构，见图 9 所示。其中距离像采用伪彩色代表距离信息，其中暖色代表的距离大，由图上看两个目标的距离明显不同。两目标之间的实际距离为 3 m，而通过距离像推算，在本实验设定的扫描速度下，系统的距离分辨力在 0.3 m 以内。通过调整条纹管的扫描速度，还可以改变条纹管的时间(距离)分辨力，进而改变整个系统的距离分辨力。强度像目前还存在一些缺陷，由于条纹管的中心部分响应率较高，接收光学系统和 CCD 的耦合透镜的中心部分像质较好，因而条纹像中心区域的图像质量优于边缘，加之激光器输出光斑的空间分布不甚理想，造成目标部分区域对应的条纹像较暗，导致还原得到的目标强度像的部分区域较暗甚至被噪声淹没。但总体看来，距离像和强度像能准确表征目标的空间位置及距离信息，强度信息也基本与目标相符合。

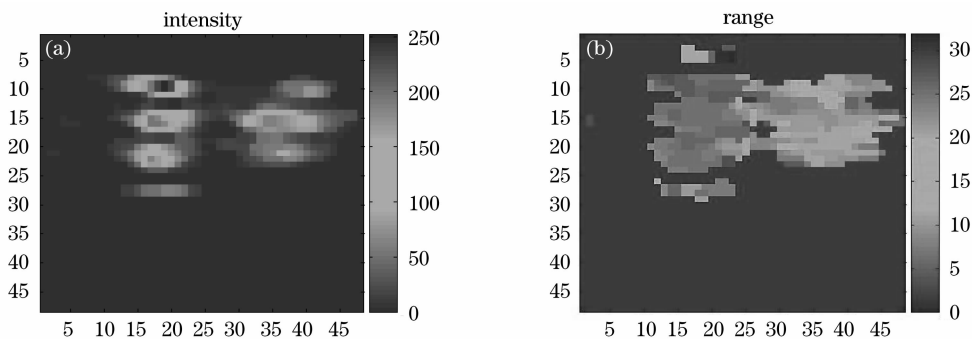


图9 目标强度像(a)及距离像(b)

Fig.9 Intensity (a) and range (b) images

4 结 论

经过对各部件性能及其对系统整体性能影响的分析,设计了一套采用多狭缝条纹管实现非扫描激光成像的方案,并在此基础上搭建了一套实验平台,实验结果及最终获取的目标距离像和强度像表明,该系统能够获得目标的二维空间信息、距离信息和强度信息,距离分辨力可以达到很高而且可调。但目前实验还存在不完善之处,如由于条纹管的中心部分响应率较高,接收光学系统和 CCD 的耦合透镜的中心部分像质较好,因而中心区域图像质量优于边缘;激光器输出光斑的空间特性不甚理想,造成目标部分区域对应的条纹像较暗等。经过对系统适当的改进,以及对图像的去噪滤波等进一步处理,系统的成像能力及各项性能将会进一步提高。

参 考 文 献

- 1 Wang Chunhui, Li Yanchao, Xu Bo *et al.*. Method and simulation of data quality control in velocity azimuth display inversion of wind lidar[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 515~518
王春晖,李彦超,徐博等. 激光测风雷达速度方位显示反演中数据质量的控制方法与仿真[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 515~518
- 2 Hu Hongwei, Hu Qiquan. Beam scanning and inversion method for lidar detecting wind [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(6): 720~731
胡宏伟,胡企铨. 星载激光测风雷达的光束扫描及风场反演[J]. *光学学报*, 2001, **21**(6):720~731
- 3 Liu Jiqiao, Bu Lingbing, Zhou Jun *et al.*. Optical frequency discriminator of a mobile direct-detection Doppler wind lidar [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(10):1339~1344
刘继桥,卜令兵,周军等. 车载直接探测多普勒测风激光雷达光学鉴频器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(10):1339~1344
- 4 Zeng Xianlin. A Review on range-measuring laser radar [J]. *Infrared Technology*, 2000, **22**(5):35~39
曾宪林. 靶场测量激光雷达发展综述[J]. *红外技术*, 2000, **22**(5):35~39
- 5 A. Mudassar, A. R. Harvey, A. H. Greenaway *et al.*. Resolution beyond classical limits with spatial frequency heterodyning [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3):148~151
- 6 Sun Jianfeng, Li Qi, Lu Wei *et al.*. Implementing the algorithm of target recognition for laser imaging radar based on digital signal processing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11):1467~1471
孙剑峰,李琦,陆威等. 基于数字信号处理器的激光成像雷达目标识别算法实现[J]. *中国激光*, 2006, **33**(11):1467~1471
- 7 Li Sining, Wang Qi, Liu Jinbo *et al.*. Experimental research on resolution of streak tube imaging lidar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(6):1023~1026
李思宁,王骐,刘金波等. 条纹管激光成像系统空间分辨力实验研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(6):1023~1026
- 8 Huang Youwei, Jin Weiqi, Wang Xia *et al.*. Theoretical optical backscattering model for staring underwater laser imaging [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1191~1197
黄有为,金伟其,王霞等. 凝视型水下激光成像后向散射光理论模型研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1191~1197
- 9 Wu Dong, Wang Rulin, Chen Weibiao *et al.*. Ocean lidar (BLOL) for measuring chlorophyll-a concentration, diffuse attenuation coefficient and water-leaving radiance [J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(12):1690~1696
吴东,王汝霖,陈卫标等. 测定叶绿素 a 浓度、漫散射衰减系数和离水辐亮度的海洋激光雷达[J]. *光学学报*, 1998, **18**(12): 1690~1696
- 10 A. Morel, S. Maritorena. Bio-optical properties of oceanic waters; A reappraisal [J]. *J. Geophysical Research*, 2001, **103**(C4):7163~7180
- 11 A. Gleckler, ET Al. Streak tube imaging lidar for electro-optic identification [C]. *Fourth International Symposium on Technology and the Mine Problem*, CA, March 2001.
- 12 Andrew J. Nevis. Automated processing for streak tube imaging lidar data[C]. *SPIE Proceedings for Detection and Remediation Technologies for Mines and Mine-like Targets*, FL, April, 2002.
- 13 James S. Taylor, Mary C. Hulgán. Electro-optic identification research program [C]. *Fifth International Symposium on Technology and the Mine Problem*, Monterey, CA, April 2002.
- 14 Asher Gelbart, Brian C. Redman, Robert S. Light *et al.*. Flash lidar based on multiple-SLIT streak tube [C]. *SPIE*, 2002, **4723**:9~18
- 15 F. K. Knight, D. I. Klick, D. P Ryan-Howard. *et al.*. Three dimensional imaging using a single laser pulse[C]. *SPIE*, 1989, **1103**:174~189
- 16 Liu Jinbo, Li Sining, Guang Yuhao *et al.*. Distortion of streak tube and its effect to multiple streaks-streak tube imaging lidar [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(s1):177~180
刘金波,李思宁,广宇昊等. 条纹管失真效应分析及其对多狭缝成像的影响[J]. *中国激光*, 2008, **35**(s1):177~180