

文章编号: 0258-7025(2010)02-0510-04

# 条纹管激光成像雷达目标重构算法

孙剑峰 魏靖松 刘金波 郜 键 王 骥

(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** 条纹管激光成像雷达(STIL)是近 10 年发展起来的一种新型闪光式激光成像雷达,以瞬态光学器件条纹管作为探测接收器,可做到大视场、高分辨,分单狭缝和多狭缝两种体制。由于条纹管不能直接输出四维像(三维(3D)距离像加一维(1D)强度像),针对两种体制的条纹图像,使用峰值探测法对远距离目标条纹像进行重构,获得完整的条纹管激光成像雷达四维像。实验结果表明,条纹管激光成像雷达是一种高分辨、高帧频的成像器件,具有较好的应用前景。

**关键词** 成像系统;图像重构;峰值探测;条纹管;激光雷达

中图分类号 TP751.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103702.0510

## Target Reconstruction Algorithm for Streak Tube Imaging Lidar

Sun Jianfeng Wei Jingsong Liu Jinbo Gao Jian Wang Qi

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

**Abstract** Streak tube imaging lidar (STIL) is a new type of flash laser radar, and its receiving detector is the transient optical streak tube. The characteristic of STIL is of wide field of view and high resolution. It has two types, single slit and multiple slits. Because the streak tube can not directly output the four-dimensional image (three-dimensional (3D) range image and one-dimensional (1D) intensity image), for the streak images of the two types, peak-detection algorithm is used to reconstruct the far-distance target in this paper. And the complete four-dimensional images of STIL are obtained. The experiment results show that STIL is an imaging device of high resolution and high frame frequency, so it will have promising application.

**Key words** imaging systems; image reconstruction; peak detection; streak tube; laser radar

## 1 引 言

闪光式激光成像雷达是近十年国际上的研究热点<sup>[1~4]</sup>,即发射一个照明激光脉冲覆盖视场,一次获取整幅视场图像。与传统的扫描式激光成像雷达相比,它可一次成像,能做到高帧频;省去了扫描装置,易于小型化;这使得它具有广泛的应用前景。美国在 20 世纪末提出一种新的闪光式激光成像雷达<sup>[5~7]</sup>——条纹管激光成像雷达(STIL),它将瞬态光学器件的条纹管作为激光成像雷达的接收探测器,可做到大视场和高分辨,并在 21 世纪初获得了条纹管四维像(三维(3D)距离像加一维(1D)强度像)。条纹管激光成像雷达主要分为两种:单狭缝(线列探测器)和多狭缝(阵列探测器)。本课题组已经完成了上述两种体

制的条纹管激光成像系统的研制<sup>[8~10]</sup>,获得了外场目标条纹图像数据。由于条纹管激光成像雷达不能直接输出四维像,本文使用峰值探测法对条纹图像进行重构,获得了完整的目标四维像。

## 2 条纹管激光成像雷达工作原理

### 2.1 单狭缝条纹管激光成像雷达

单狭缝条纹管激光成像雷达工作原理如图 1 所示。Nd:YAG 激光器发射光脉冲,经过预扩束成扇形激光发射;目标反射回的光信号经聚焦光学系统到条纹管的光电阴极上,光电阴极上的狭缝将产生光电子,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

收稿日期:2009-03-16;收到修改稿日期:2009-04-23

作者简介:孙剑峰(1978—),男,博士,讲师,主要从事激光成像雷达图像处理、目标识别方面的研究。

E-mail: hit\_sunjianfeng@yahoo.com.cn

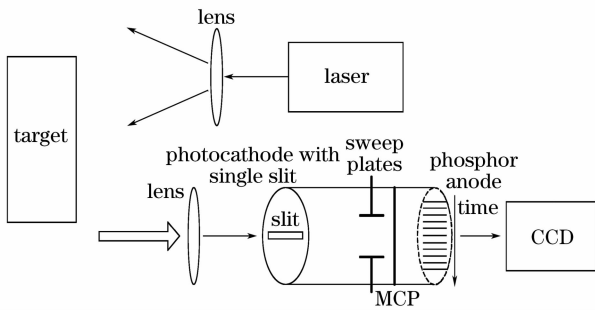


图 1 单狭缝条纹管激光成像雷达原理框图

Fig. 1 Principle chart of single streak tube imaging lidar 入射光脉冲的复制品<sup>[11]</sup>。电子脉冲经偏转系统,在荧光屏上将沿垂直于狭缝方向展开,该方向对应时间轴。利用屏幕上条纹的相对位置就可以分辨出目

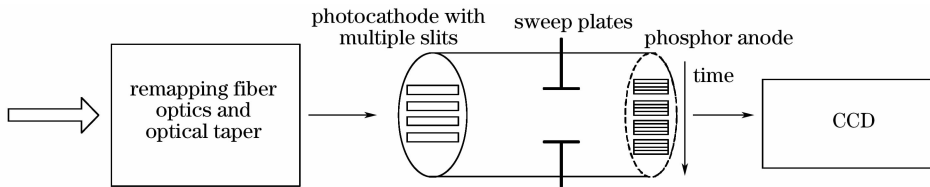


图 2 多狭缝条纹管激光成像雷达原理框图

Fig. 2 Principle chart of multiple streak tube imaging lidar

标回波信号经聚焦光学系统到光纤变换器输入端面,光纤变换器把目标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,通过多狭缝的光脉冲经偏转系统,成像在荧光屏上,从而得到每个狭缝随时间扫描的多个条纹像。CCD 与荧光屏耦合,捕获荧光屏上的图像。每个狭缝在 CCD 上都有对应成像区域,其面积要远远小于单狭缝。因而,多狭缝的景深与距离精度的矛盾要比单狭缝突出。

标的距离信息,读取条纹的灰度信息可得到强度像。偏转系统加有随时间线性变化的斜坡电压,使得不同时刻进入偏转系统的电子受到不同偏转电压的作用,从而在狭缝上可读取像元点的时间信息。微通道板(MCP)可放大微弱电子信号,提高条纹管的探测灵敏度。可见,条纹管激光成像雷达具有较高的距离精度。

## 2.2 多狭缝条纹管激光成像雷达

单狭缝条纹管是一种线列探测器,需要通过一维扫描才能对视场成像。为了做到真正的闪光成像,研制了多狭缝条纹管激光成像雷达<sup>[10]</sup>,其工作原理如图 2 所示。

## 3 重构算法

根据条纹管工作原理可知,条纹像给出了一束窄脉冲激光辐射区域的空间位置信息,需要对图像进行重构以获取目标的四维像。图 3(a)为真实的条纹管图像数据。水平方向表示目标的空间信息,垂直方向表示时间分辨通道。条纹的斜率反映了目标各部分之间的距离变化,因而可知目标表面的精细结构。

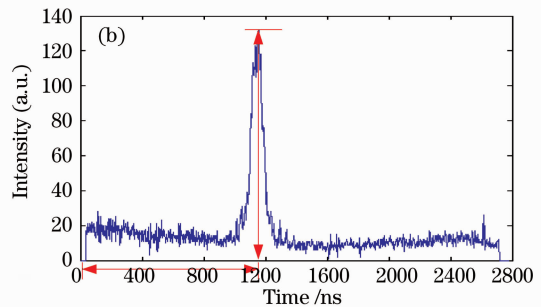
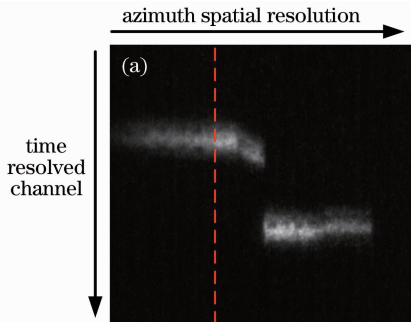


图 3 峰值探测图。(a) 真实条纹像;(b) 光脉冲一维波形

Fig. 3 Diagrams of peak detection. (a) real streak tube image; (b) 1D waveform of light pulse

假设有条纹图像序列  $f_i(i, j)(t=1, \dots, T, i=1, \dots, M, j=1, \dots, N)$ ,  $T$  表示条纹图像总个数,  $M$  表示条纹图像行数,  $N$  表示列数;重构后的强度像为  $I(t, i)$ , 距离像为  $R(t, i)$ 。抽取一个时间通道的条纹信息,如图 3(a)虚线所示,并将其按时间方向

展开,得到回波信号的一维波形,如图 3(b)所示。回波信号的强弱反映了物体对光脉冲的反射率,可表征目标的强度像;返回的时间差可表征目标的距离像。如果在时间分辨通道内有光回波信号,峰值探测法认为,回波信号最强的点即为目标的强度信

息,该点所对应的位置为距离信息。如此,可得重构后的一行强度像和距离像

$$\begin{cases} I(t,i) = \max_{1 \leq j \leq N} f_i(i,j) \\ R(t,i) = j_{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

式中  $j_{\max}$  为脉冲回波最大值对应的位置。当对多帧条纹图像进行峰值重构后,即可得一幅完整的目标四维像。从(1)式也可看出,如果时间分辨通道内没有回波信号,则寻找的最大值是噪声,相应的距离值是随机值,服从时间分辨通道的均匀分布。

对多狭缝条纹图像,在 CCD 屏幕上要标定每个狭缝的成像区域。在固定区域按照峰值探测法提取

时间通道波形数据,将提取的多个狭缝图像数据按顺序排列,即得完整的四维图像。

## 4 重构实验

### 4.1 单狭缝

实验对象是远距离的建筑物,其照片如图 4(a)所示。单狭缝条纹管激光成像雷达需通过一维扫描才能获得完整的目标四维像。使用重构算法对多幅单狭缝条纹图像进行重构,实验结果如图 4(b),(c)所示。给出的强度像和距离像做了初步的预处理,如阈值分割。

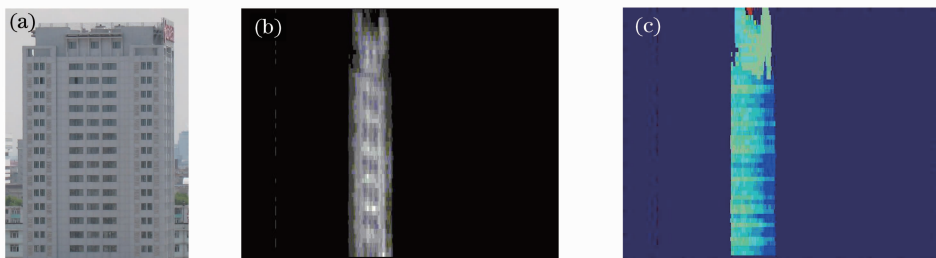


图 4 单狭缝重构实验结果。(a) 目标照片;(b) 强度像;(c) 距离像

Fig. 4 Reconstructed experimental results for single STIL. (a) target picture; (b) intensity image; (c) range image



图 5 多狭缝目标重构实验结果。(a) 目标照片;(b) 强度像;(c) 距离像

Fig. 5 Reconstructed experimental results for multiple STIL. (a) target picture; (b) intensity image; (c) range image

强度像可给出清晰的目标轮廓,其中间有 3 条阴影,对应建筑物中间的 3 扇窗户;强度像整体有一定的倾斜度,这主要是由于探测器与建筑物之间的夹角所致。由于窗户的反射率非常低,因此,在对应的时间通道上,几乎没有光回波信号,即对应的距离值是时间通道的随机值,所以,在距离像上不能体现出窗户。但距离像整体自右向左,颜色逐渐渐变,建筑物的左侧部分比右侧部分远。建筑物的顶部颜色与右侧颜色不一致,与左侧颜色基本一致,说明顶部距离比右侧远,但和左侧基本相同。可见,距离像能给出目标表面的距离变化。

### 4.2 多狭缝

多狭缝条纹管是一种阵列探测器,与单狭缝相比,可闪光一次成像,去除了扫描装置;但它的空间分辨率及距离选通范围都不及单狭缝。图 5 是对室

外目标的成像实验,其中图 5(a)为建筑物照片,成像区域是楼尖部分;(b)为重构后的原始强度像;(c)为原始距离像。强度像和距离像都可成目标的轮廓像,即三角形状;但强度像不能看出目标表面的距离变化,即中间(三角棱)突出,与探测器的距离比较近,而距离像能给出此特点。距离像的深色部分表示棱部分,浅色表示棱的两侧,与探测器距离较远。推算中间与两侧之间的距离光程差为 1.5 m。强度像明暗基本一致,这说明成像目标的材质是相同的。由于光纤变换器畸变,使得 CCD 接收的条纹像偏离了对应的成像区域,影响了重构图像的精度。

## 5 结 论

从重构后的结果看,单狭缝图像比较清晰,用比较简单的图像处理算法即可获得清晰的四维像;多

狭缝由于受到干扰源比较多,使得图像质量没有单狭缝的好。下一步将研究多狭缝图像矫正算法,进一步提高图像的对比度及距离精度。实验结果表明,与目前其他体制激光成像雷达相比,条纹管激光成像雷达具有较高的分辨率,能成较为清晰的目标四维像。

### 参 考 文 献

- 1 M. J. Halmos, M. Jack. 3-D flash lidar at raytheon [C]. *SPIE*, 2001, **4377**:84~97
- 2 M. A. Albota, R. M. Heinrichs, D. G. Kocher *et al.*. Three-dimensional imaging laser radar with a photo-counting avalanche photodiode array and microchip laser [J]. *Appl. Opt.*, 2002, **41**(36):7671~7678
- 3 R. Stettner, H. Bailey. Eye-safe laser radar 3-D imaging [C]. *SPIE*, 2001, **4377**:46~56
- 4 G. M. Williams, A. S. Huntington. Probabilistic analysis of linear mode vs geiger mode APD FPAs for advanced LADAR enabled interceptors [C]. *SPIE*, 2006, **6220**:1~14
- 5 A. Nevis, R. J. Hilton, S. J. Taylor *et al.*. The advanced of three-dimensional electro-optic imaging sensors [C]. *SPIE*, 2003, **5089**:225~237
- 6 A. D. Gleckler. Multiple-slit streak tube imaging lidar (MS-STIL) applications [C]. *SPIE*, 2000, **4035**:266~278
- 7 J. S. Taylor, M. C. Hulgan. Electro-optic identification research program [C]. *IEEE Oceans '02 MTS*, 2002, **2**:994~1002
- 8 Li Sining, Guang Yuhao, Zang Junheng *et al.*. Analysis and design of data processing system based on streak tube imaging lidar [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(6):943~946  
李思宁,广宇昊,臧俊恒等. 条纹管激光成像雷达数据处理系统分析与设计[J]. *中国激光*, 2008, **35**(6):943~946
- 9 Wei Jingsong, 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
- 10 Liu Jinbo, Wang Qi, Li Sining *et al.*. Research on a flash imaging lidar based on a multiple-streak tube [J]. *Laser Physics*, 2009, **19**(1):115~120
- 11 Zhao Baosheng, Chen Min. The application of MS-streak tube in three-dimensional lidar system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12):1425~1427  
赵宝升,陈敏. 采用多狭缝条纹管实现激光三维像[J]. *光子学报*, 2004, **33**(12):1425~1427