

•电路与控制•

## 基于ICCD时间片选的高精度三维激光雷达研究

刘景鹏

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

**摘要:**针对目前激光雷达空间分辨率低的缺点,设计一种基于ICCD时间片选的三维激光雷达系统。分析了系统的工作原理,叙述了系统设计方案和目标三维信息获取方法,详细介绍了激光接收模块、激光成像模块和目标信息获取方法,并进行了系统仿真分析及试验。结果验证了激光雷达系统的技术可行性,系统具有较高的空间分辨率,有较好的应用前景。

**关键词:**激光雷达;时间片选;ICCD

中图分类号:TH744.5

文献标识码:B

文章编号:1673-1255(2017)-06-0051-05

## Research on High Precision Three-dimensional Laser Radar Based on ICCD Time Slice

LIU Jing-peng

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

**Abstract:** For the disadvantages of low resolution in the laser radar imaging, the system of three-dimensional laser radar based on intensified charge coupled device (ICCD) time slice is designed. The principle of the system is analyzed. The design of the system and target three-dimensional information acquisition method are described. Laser receiving module, laser imaging module and target information acquisition method are introduced in detail. Experimental results verify the laser radar system feasibility. The system has better resolution and application prospect.

**Key words:** laser radar; time slice; intensified charge coupled device (ICCD)

激光雷达是基于激光技术与雷达技术相结合的一种激光主动探测技术,凭借其精确、主动、快速获取目标三维空间信息的优势,激光雷达已成功应用于地形测绘、水下探测、空间监视、资源探测、环境调查及城市规划等领域。

激光雷达与传统微波雷达工作原理相同,由激光器向目标发射激光束,通过接收目标反射回来的激光信号,计算其与发射激光信号时间差,并结合相关的位置信息,获取目标的距离、形状等三维信息。激光雷达可分为直接探测型和相干探测型两种。其中直接探测型激光雷达采用脉冲式探测体制,根据脉冲激光传输时间,获取目标位置坐标信息。目前直接探测型激光雷达多采用集束激光雷

达体制,通过集成多束激光发射器和多个激光接收器,实现对目标的定位<sup>[1-2]</sup>。测距精度为厘米级,角度分辨率为豪弧度级,对目标分辨精度较低,无法实现微弧度定位精度。文中设计了一种基于ICCD时间片选的三维激光雷达,测距精度达到厘米级,目标角度分辨精度达到微弧度级,可实现对目标精确定位及三维重构,可应用于精密测绘、伪装探测以及精确目标识别等领域。

### 1 基于时间片选目标三维信息获取方法

系统通过激光主动探测方式,基于时间片选原理获取目标三维信息。图1为目标三维信息获取原

理图。

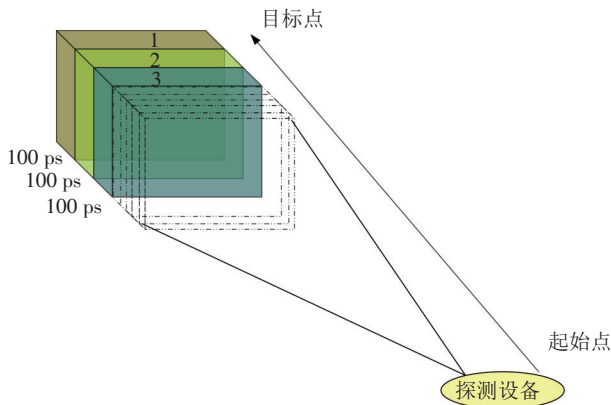


图1 目标三维信息获取原理图

首先通过激光主动探测方式对目标实施测距,获取目标距离信息,根据目标距离信息及激光回波时间信息,连续调整探测设备积分时间起始时刻,实现在时间轴上的分段积分,即在距离轴上实现长度的划分,由于每帧图像积分起始时刻不同,积分时间宽度相同,即每帧图像代表不同距离下的目标图像,通过对多帧图像融合处理,可输出视场内目标纵向长度值,根据图像坐标,提取出目标的三维信息。

当激光未探测到目标的此段时间内,探测设备一直处于非成像状态,以避免反射和散射激光影响目标提取。在探测目标时间范围内,探测设备内部探测器处于积分成像状态,通过重复增加探测器积分延迟时间,实现片选式距离图像采集。探测设备积分延迟时间 $t$ 以步进 $\Delta t$ 变化,可获取每个像元的一个离散的距离值序列,这一序列值是进行目标点距离估算的依据,通过计算特征点在时间轴上对应的飞行时间,可得出目标距离信息。图像中每个像元对应的目标点距离由下式计算为

$$r=c \times (t_0+m\Delta t) \quad (1)$$

式中, $c$ 为光速; $t_0$ 为初始延迟时间; $\Delta t$ 为延时步进宽度; $m$ 为帧号。

ICCD探测器具有百皮秒门控积分时间及积分起始时间可调的特点,ICCD探测器最小门控积分时间为100 ps,根据光速约30 cm/ns计算,距离分辨率可以达到1.5 cm。探测器帧频按照20 帧/s计算,每秒可实现纵向30 cm长度探测,根据探测速度可实时调整探测器积分时间宽度,提高探测速度。ICCD

探测器的象元数为1 370(H)×1 040(V),按照几度视场计算,目标空间分辨率可以达到微弧度量级,具有较高的空间角度分辨率。

## 2 系统组成及工作原理

高精度三维激光雷达由激光发射模块、激光接收模块和数字成像模块等组成,系统组成框图如图2所示。

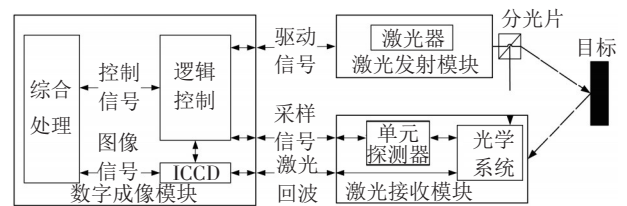


图2 系统组成框图

其中激光发射模块发射探测激光;激光接收模块接收出射激光和经目标漫反射返回的激光,输出光采样信号和激光回波信号至数字成像模块;数字成像模块负责控制激光器和ICCD成像时间,并综合目标距离和位置信息,输出目标的三维坐标信息。

工作原理:激光发射模块发射探测激光,出射激光中部分激光经分光片进入激光接收模块,经光电转换输出光采样信号至数字成像模块,出射激光经目标漫反射后返回到激光接收模块,激光接收模块将入射激光汇聚到数字成像模块中的ICCD探测器上,数字成像模块通过时间片选技术,获取目标距离信息,经处理形成目标的三维信息。

采用皮秒级窄脉冲激光器作为探测激光源,采用高灵敏度、高速快门的ICCD面阵探测器作为成像器件,采用精确时序控制技术,通过对探测视场内不同距离的目标进行片选式成像,基于多帧图像处理,综合目标的距离信息获得目标的三维坐标。此项技术采用面阵式探测器成像,不需要扫描式激光雷达系统中的高速扫描装置,系统结构简单,空间分辨率高。

## 3 系统构建

### (1) 激光发射模块

激光发射模块主要由皮秒激光器组成,由外部

数字成像模块触发输出探测激光。激光脉宽为几十皮秒,能量为几十毫焦。

(2)激光接收模块

激光接收模块由光学系统和单元探测器等组成,完成光采样信号输出和回波激光的汇聚。

单元探测器

在激光器能量有限的情况下,为了保证系统具有远距离探测能力,需要提高激光接收模块的接收灵敏度,选用雪崩光电二极管(C30950E)作为光电探测器,其具有响应快、灵敏度高等特点,是激光测距中广泛采用的探测器,响应波长从400~1 100 nm,响应曲线如图3所示。同时C30950E内部还集成了前置放大器,具体电路如图4所示。

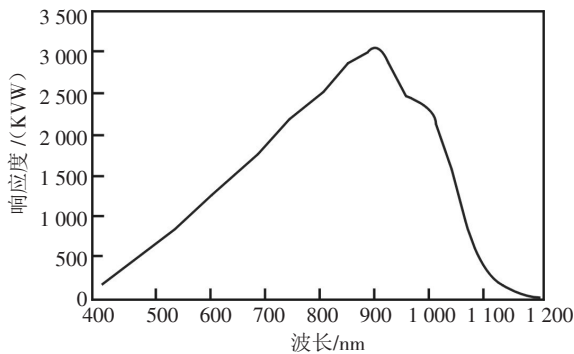


图3 C30659光谱响应曲线图

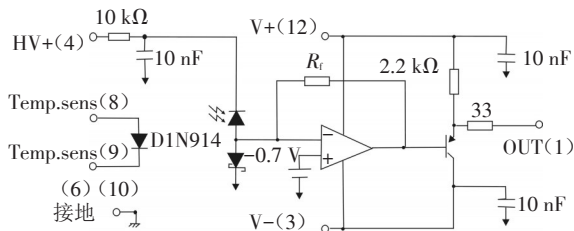


图4 放大电路图

单元探测器接收分光片出激光,进行光电转换,输出光采样脉冲信号,为目标距离获取提供初始时刻数据。接收经目标返回的回波信号,为计算目标距离信息提供数据。

(3)数字成像模块

数字成像模块通过接收目标返回激光,获取目标图像,根据距离信息形成目标的三维坐标信息。

数字成像模块由ICCD探测器、逻辑控制单元和综合处理单元等组成,ICCD探测器负责接收激光,

并输出目标图像信息,逻辑控制单元负责匹配激光器出光时间和探测器积分时间,综合处理单元负责ICCD输出的图像信息以及目标距离信息融合处理。

①ICCD探测器

为了实现对目标精确距离测量,要求时间分片精度较高,时间分片宽度较窄,系统采用德国LaVision公司的ICCD探测器,探测器具体参数如表1。

表1 ICCD探测器参数

名称	参数
最小门控时间宽度	<100 ps
探测器材料	GaAsP
探测器曝光时间	>1 ms
帧频	10 frames/s, 20 frames/s(2×2 binning)
探测器象元数	1 370(H)×1 040(V)
像元大小	6.45 μm×6.45 μm
量子效率	65%@550 nm
触发模式	内触发/外触发

ICCD探测器材料为GaAsP,工作于可见光波段,可响应0.3~0.7 μm激光,量子效率达到65%,其光谱响应曲线如图5所示。

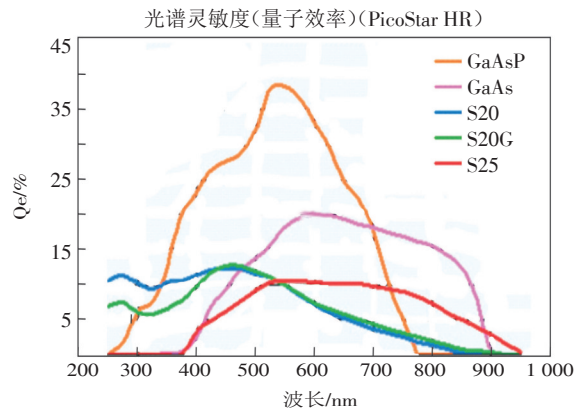


图5 光谱响应曲线

ICCD探测器最小积分时间小于100 ps,可根据系统要求的探测速度实时调整积分时间,帧频可达到10~20 帧/s,根据目标分辨率实时调整帧频。

②逻辑控制单元

逻辑控制单元根据激光接收模块输出的光采样信号,调整ICCD探测器的积分时间及激光器出光时间,逻辑控制单元组成框图如图6所示。

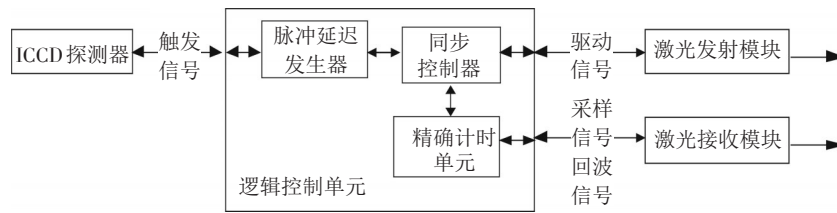


图6 逻辑控制单元组成框图

精确计时单元接收光采样信号和回波信号,计算目标距离信息,同步控制器根据目标距离信息计算ICCD探测器积分起始时刻,通过脉冲延迟发生器,输出精确的探测器积分触发信号。

### ③综合处理单元

综合处理单元接收ICCD输出的图像信息以及逻辑控制单元输出的距离信息,匹配多帧图像及其距离信息,复合输出目标的三维坐标。

## 4 试验

采用532 nm脉冲激光器、信号发生器、可见光CCD和无人机等试验装置进行了试验研究,其中532 nm脉冲激光器脉宽为10 ns,CCD积分时间最小为1  $\mu$ s,图7所示为无人机实物图。



图7 无人机实物图

无人机距离激光器和CCD距离为200 m,根据无人机距离,通过信号发生器匹配CCD积分起始时间、CCD积分时间长度及激光器出光时间,图8为通过时间片选方式对无人机激光主动探测试验图。



图8 激光成像图

从试验结果证明,基于时间片选方式可行,但因目前CCD积分时间最小长度限制以及激光器脉宽影响,无法实现厘米级距离分辨,通过选用皮秒脉宽激光器和皮秒门控宽度积分时间探测器,可实现厘米级距离分辨。

## 5 结论

提出了一种基于时间片选的三维激光雷达系统,通过对ICCD积分起始时刻及探测器积分宽度的调节,在时间轴上对目标距离进行分片成像,可实现厘米级的测距精度,其空间角度分辨率可达到微弧度级,经计算分析及试验,采用基于ICCD时间片选技术的激光雷达系统,具有较高的目标空间分辨率及测距精度,可应用于目标精确测绘、远距离目标三维信息获取、目标识别等领域,具有较好的应用前景。

### 参考文献

- [1] Duncan Stuart, Copley Jeremy, Harvey Graeme, et al. Advances in laser gated imaging in an airborne environment[J]. SPIE, 2006, 6206: 620607.
- [2] Manamon P F. Laser radar development[J]. SPIE, 1998, 3380: 50-57.
- [3] Richarad Richmond, Roger Stettner. Laser radar focal plane array for three dimensional imaging[J]. SPIE, 1996, 2748: 61-67.
- [4] YAN Hui-min, LU Zu-kang, CHEN Qi-lin. A photo 2 electronic correlator array based on micro channel plate image intensifier[J]. Acta Photonica Sinica, 1999, 28(3): 227-229.
- [5] 王寿增,孙峰,张鑫. 激光照明距离选通成像技术研究进展[J]. 红外与激光工程, 2009, 37(S3): 95-99.
- [6] 李海兰,王霞,金伟其,等. 基于多帧水下距离选通图像的三维重构方法[J]. 光学学报, 2010, 30(12): 3464-3469.
- [7] Busck Jens, Heiselberga Henning. High accuracy 3D laser



- radar[J]. SPIE, 2004, 5412: 257-263.
- [8] 赵宝升,陈敏.采用多狭缝条纹管实现激光三维成像[J].光子学报,2004,33(12):1426-1427.
- [9] 朱虹.数字图像处理基础[M].北京:科学出版社,2005:121-124.
- [10] 徐大纶.变像管高速摄影[M].北京:科学出版社,1990:93-94.
- [11] 曾庆勇.微弱信号检测[M].杭州:浙江大学出版社,1996.
- 
- (上接第14页)
- damages to charge coupled device detector using a high-repetition-rate and high-peak-power laser[J]. Optics & Laser Technology, 2013, 47: 221-227.
- [48] 朱志武,张震,程湘爱,等.单脉冲激光对CCD探测器的硬损伤及损伤概率[J].红外与激光工程,2013,42(1):113-118.
- [49] 孙承伟.激光辐照效应[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [50] 姜楠,张维,牛燕雄,等.脉冲激光辐照CCD探测器的硬破坏效应数值模拟研究[J].激光与红外,2008,38(10):1004-1007.
- [51] 王祖军,唐本奇,肖志刚,等.CCD辐射损伤效应及加固技术研究进展[J].半导体光电,2009,30(6):797-803.
- [52] 聂劲松,王玺,李化,等.1.06  $\mu\text{m}$ 激光辐照CCD探测器的热力效应分析[J].红外与激光工程,2013,42(S2):380-386.
- [53] LI Ze-wen, WANG Xi, SHEN Zhong-hua, et al. Mechanisms for the millisecond laser-induced functional damage to silicon charge-coupled imaging sensors[J]. Applied Optics, 2015, 54(3): 378-384.
- [54] LI Ming-xin, JIN Guang-yong, TAN Yong. Functional degradation of CCD detector irradiated by millisecond pulse laser[J]. Optik, 2016, 26(16).
- [55] HUANG Shao-yan, ZHANG Yong-sheng, TANG Ben-qi, et al. Damage effect on CCD detector irradiated by 500 fs laser pulse[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(10): 1445-1448.
- [56] ZHANG Yu. Study of damaging effect on paneled CCD detectors irradiated locally by pulse laser[J]. M A Dissertation, 2011.
- [57] SHAO Jun-feng, LIU Yang, WANG Ting-feng, et al. Damage effect of charged coupled device with multiple-pulse picosecond laser[J]. Acta Armamentarii, 2014, 35(9): 1408-1413.
- [58] 赵洋,金光勇,李明欣,等.毫秒脉冲激光损伤CCD探测器的实验研究[J].激光技术,2017.
- [59] 李化,王玺,聂劲松,等.脉冲宽度对CCD探测器激光损伤效果的影响[J].红外与激光工程,2013,42(S2):403-406.
- [60] 郝向南,李化,聂劲松,等.不同工作状态激光对可见光CCD的损伤实验[J].光电工程,2012,39(9):113-118.
- [61] 邱冬冬,张震,王睿,等.脉冲激光对CCD成像器件的破坏机理研究[J].光学学报,2011,31(2):0214006.
- [62] 雷鹏,孙可,张玉发,等.凝视光电成像系统猫眼回波特性的理论与实验研究[J].光子学报,2016,45(6):1-7.
- [63] 雷鹏,孙可,张玉发,等.猫眼回波探测1.06  $\mu\text{m}$ 激光引发硅的损伤演化[J].红外与激光工程,2016,45(12):1-7.
- [64] 雷鹏,孙可,李化,等.猫眼回波图像随CMOS器件激光损伤变化的实验研究[J].中国激光,2016,43(6):1-7.
- 
- (上接第47页)
- [11] Yank S S, Kim S C, Ryou H S. An experimental study on the effect of longitudinal ventilation on the variation of burning rate in tunnel fires[J]. Tunnel and underground space, 2005, 36(6):569-596.
- [12] 冯军,蒋新生,翟淡,等.油品燃烧火焰光谱特性模拟实验研究[J].后勤工程学院学报,2016,32(1):23-28.
- [13] 敖文,杨卫娟,汪洋,等.气流速度对晶体硼颗粒热氧化及点火燃烧特性的影响[J].固体火箭技术,2013,36(4):511-515.
- [14] 张靖周.高等传热学[M].北京:科学出版社,2009.
- [15] 欧阳的华,陈昕,潘功配,等.氧差对烟火药光辐射强度的影响[J].火工品,2012,6(3):34-36.