

激光成像系统高精度目标距离和强度信息提取

徐正平, 沈宏海, 许永森, 孙超, 黄厚田, 姚园

(中国科学院航空光学成像与测量重点实验室 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,
吉林 长春 130033)

摘要: 为提高脉冲激光 3D 成像系统中提取目标距离和强度信息的精度, 对时刻鉴别和峰值保持电路进行了深入研究。在简要分析激光测距体制及探测器选择的基础上, 给出了激光 3D 成像系统结构框图: 激光器输出信号经半反半透棱镜, 反射光线触发参考 APD 作为计时起始信号, 以提高计时基准。给出了恒定阈值鉴别与恒比定时鉴别相结合的时刻鉴别电路, 在提高时刻鉴别精度的同时可有效消除噪声对电路的影响。峰值保持选取基于 OPA861 的跨导型峰值保持电路。在实验室搭建了回波信号模拟系统, 并在此基础上对电路性能进行测试。最后, 给出了实验结果。结果显示: 时刻鉴别电路精度优于 1 ns; 当输入窄脉冲峰值信号低于 800 mV 时, 峰值保持电路保持精度优于 2.63%。整个结果满足后续实验要求。

关键词: 激光成像系统; 时刻鉴别; 峰值保持; 距离; 强度

中图分类号: TP79 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)08-2668-05

Target-distance and intensity information detecting with high precision in laser imaging system

Xu Zhengping, Shen Honghai, Xu Yongsen, Sun Chao, Huang Houtian, Yao Yuan

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to enhance the precision of target distance and intensity information in pulse laser 3D imaging system, the time-discriminating circuit and peak holding circuit were studied in detail. Based on analyzing the laser distance-detecting method and the selection of detector, the principle diagram of pulse laser 3D imaging system was given. In this system, pulse from laser was sent to transreflective prism, and the reflected light triggered reference APD. Output signal from the reference APD was selected as starting signal for timing to enhance timing basic. Constant threshold discriminator and constant fraction discriminator were combined to form the timing discriminator. In this method, high precision of timing discriminator could be achieved while eliminating the effect of noise to the circuit. The transconductance circuit based on OPA861 was selected to hold the peak signal. The APD signal simulating system was constructed in laboratory, and performance of those circuits were tested. At last, testing result was given. Result shows that the precision of time discriminating circuit is better than 1 ns and the precision of peak holding circuit is better than 2.63% when the peak value of narrow pulse signal is less than 800 mV. The

收稿日期: 2013-12-10; 修订日期: 2014-01-11

基金项目: 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室开放基金(Y2HC1SR12B); 国家林业公益性项目(201204515)

作者简介: 徐正平(1983-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事计算成像和航空遥感器电子学设计方面的研究。Email: xuzp090@163.com

result can satisfy the requirement of latter experiment.

Key words: laser imaging system; timing discriminator; peak holding; distance; intensity

0 引言

激光 3D 成像系统^[1-2]是集光、机、电于一体的三维成像设备,用于对地面目标做激光主动成像与距离测量,产生含目标和背景的角-角-距(X-Y-R)图像以及强度图像。激光 3D 成像系统的研究是伴随着 1960 年激光器的诞生而发展起来的,目前已取得了一系列成果^[3-7]。相比于其他成像方式,激光 3D 成像具有自身的优势:其抗电磁干扰能力强,受天气、光照等环境因素影响较小,使用灵活;抗隐身能力强;距离、角度、速度分辨率高;安全性比较高。在军事方面,激光成像系统主要应用于侦察、复合制导^[8-9]、障碍回避^[10]、自主导航、大气监测、生化战剂探测、水下探测等;在民用方面的应用领域主要有地形测绘、森林资源勘察、海洋勘探、考古、城市和大气精细建模等。

按照测距体制分,激光 3D 成像系统分为直接测距和相干测距。相干测距精度能达到皮秒级,但其结构复杂,实现较为困难。直接测距精度相对较低,但其系统简单,易于实现。系统选取直接测距方法。在探测器选择方面,主要有 ICCD 和 APD。基于 ICCD 的激光 3D 成像系统可选取激光脉冲幅值调制连续波法和多距离选通法(亦称为时间切片)。时间切片技术虽然可以达到很高的静态分辨率,但其不适用于机载环境。APD^[11-12]分线性模式和盖革模式。盖革模式 APD 具有单光子探测灵敏度,具有皮秒级响应速度,应用于机载激光 3D 成像系统时测距精度受载机环境影响较小,但受噪声影响较大,且需淬灭电路。考虑未来应用,文中采用的是基于脉冲激光器和线性模式 APD 的直接测距激光 3D 成像系统。

在直接测距激光 3D 成像系统中,通过分别测量激光飞行时间和回波信号幅值可以获得目标的距离信息和强度信息。文中将就高精度时刻鉴别电路和峰值保持电路进行分析,并给出实验结果。

1 脉冲激光 3D 成像系统简介

脉冲激光 3D 成像系统原理框图如图 1 所示。脉冲激光器输出激光进入半反半透棱镜,其中透射光线进入发射光学系统照射目标景物,反射光线照射在参考 APD 上。被目标景物反射的激光回波信号经接收光

学系统照射在回波 APD 上。参考 APD 和回波 APD 输出信号分别进入各自的压控放大电路进行信号放大,放大后的信号经时刻鉴别电路获取信号基准,作为计时电路的输入信号。其中参考 APD 和回波 APD 时刻鉴别电路输出信号分别作为计时电路的启动和停止信号。为获取目标强度信息,回波 APD 压控放大电路输出信号送入峰值保持电路,使得回波窄脉冲信号峰值能够保持一定时间,供 A/D 进行采集。

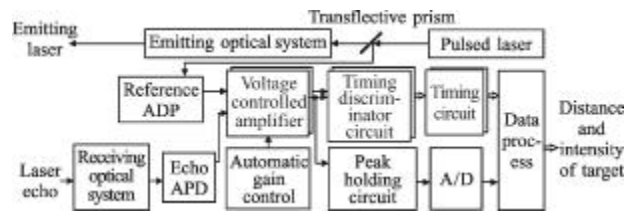


图 1 脉冲激光 3D 成像系统原理框图

Fig.1 Principle diagram of pulse laser 3D imaging system

2 时刻鉴别电路

受大气传输、目标特性及接收器件的影响,APD 输出的接收信号与激光器发送的激光信号波形差异较大,由此引入的定时起止时刻误差为漂移误差。目前时刻鉴别的方法主要有三种:固定阈值鉴别、高通容阻鉴别和恒比定时鉴别。固定阈值鉴别方法中,回波信号幅值及形状变化是造成漂移误差的主要因素。高通容阻鉴别和恒比定时鉴别均能消除回波信号幅值对漂移误差的影响,但高通容阻鉴别受回波信号在极大值附近斜率的影响较大。实际应用中,可综合固定阈值鉴别和恒比定时鉴别两种方法^[13],电路原理示意图如图 2 所示。

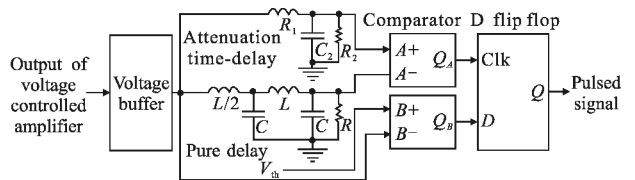


图 2 时刻鉴别电路原理示意图

Fig.2 Principle sketch map of time discriminating circuit

图 2 中,比较器 A 为恒比定时鉴别器,比较器 B 为固定阈值鉴别器。

图 2 中纯延时电路采用 LC 线性网络,当满足以

下两式时:

$$\tau=2\sqrt{LC}、R=\frac{3}{4}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

纯延时环节传递函数为:

$$G(s)=\frac{1}{\frac{3}{4}\cdot\frac{\tau^4}{4!}s^4+\frac{1}{2}\cdot\frac{\tau^3}{3!}s^3+\frac{\tau^2}{2!}s^2+\tau s+1}$$

对纯延时环节传递函数进行泰勒展开并略去高次项,结果如下:

$$e^{-s\tau}=\frac{1}{\frac{\tau^4}{4!}s^4+\frac{\tau^3}{3!}s^3+\frac{\tau^2}{2!}s^2+\tau s+1}$$

由上式可以看出:上述 LC 线性网络可近似纯延时环节。

时刻鉴别电路波形示意图如图 3 所示。从图 3 可以看出:比较器 B 的实质是预比较器,只有当回波信号幅值到达设定阈值时,时刻鉴别电路才有输出。该电路从一定程度上可以消除噪声信号对电路的影响。

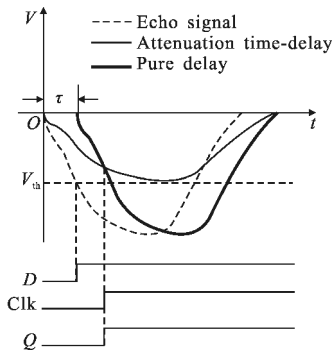


图 3 时刻鉴别电路波形示意图

Fig.3 Wave form sketch map of time discriminating circuit

3 峰值保持电路

系统接收到的回波强度与被测目标散射特性、被测目标距离、大气环境等因素相关。系统自动增益控制能够消除被测目标距离对回波强度的影响。在不考虑大气环境变化的情况下,回波信号峰值反映了被测目标的强度信息。由于 APD 输出信号为窄脉冲信号,为了便于 A/D 采集,需将窄脉冲峰值信号保持一段时间。峰值保持电路精度与所获取的目标强度信息精度息息相关。峰值保持电路主要有电压型和跨导型。电压型峰值保持电路原理简单,但积分非线性大,响应速度慢,不宜处理高速脉冲信号;相比而言,跨导型峰值保持电路响应速度快。文中以

TI 公司生产的宽带跨导放大器 OPA861 为核心器件搭建峰值保持电路^[14]。电路原理图如图 4 所示。

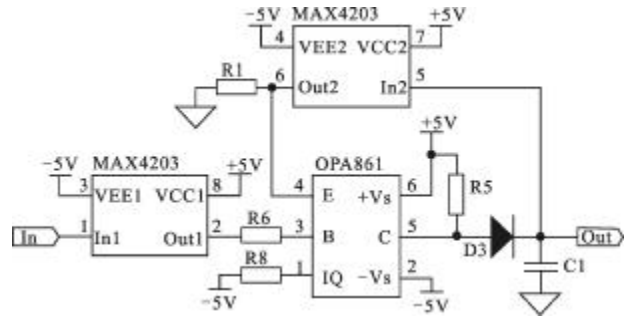


图 4 峰值保持电路原理图

Fig.4 Principle sketch map of peak holding circuit

峰值保持电路输入为压控放大电路输出信号,其经过电压缓冲器 MAX4203 接入 OPA861。R1、R8 用于设置 OPA861 增益,R5 用于设置静态工作点。由于 OPA861 射极输入电阻仅为 10.5 Ω,峰值保持电路输出信号经电压缓冲器 MAX4203 连接至 OPA861 射极作为电压反馈。

4 系统实验

为了在实验室测试时刻鉴别电路和峰值保持电路性能,搭建了激光回波信号模拟系统,其电路原理图如图 5 所示。

APD 回波信号模拟系统核心思想是采用两路 RC 充电电路,充电时间常数为 51 ns,稳态电压为 1.2 V,分别模拟参考 APD 信号和回波 APD 信号。每个 RC 充电电路均有放电回路,控制信号分别为 Pulse、Pulse_Dly。当控制信号为高时,保持电容上的电压通过三极管放电;当控制信号为低时,保持电容充电。控制信号由 FPGA 给出,FPGA 选用 Altera 公司的 EP1C6Q240C8,外接 40 MHz 晶振,通过内部 PLL 得到 250 MHz 信号,因此两个控制信号之间的延时分辨率为 4 ns。在进行时刻鉴别电路性能实验时,通过 FPGA 改变控制信号之间的延时,同时测试时刻鉴别电路输出信号之间的延时,以判断电路时刻鉴别精度。控制信号延时时间范围选取为 [4 ns, 64 ns],延时步长为 4 ns。由于两路充电电路器件参数不完全一致,所得到的参考 APD 信号和回波 APD 信号之间的延时与控制信号延时之间存在一定的误差。鉴于系统实验的目的是测试时刻鉴别电路性能,采

集实验结果时,以实际输出的参考 APD 和回波 APD 模拟信号之间的延时为基准。测试仪器选取泰克公司的 MSO4054 混合示波器,该示波器带宽为 500 MHz,采样频率可达 2.5 GHz。实际测试时,示波器采样周期为 0.8 ns。实验采集得到 64 ns 延时模拟信号及其对应时刻鉴别输出波形分别如图 6、图 7 所示。

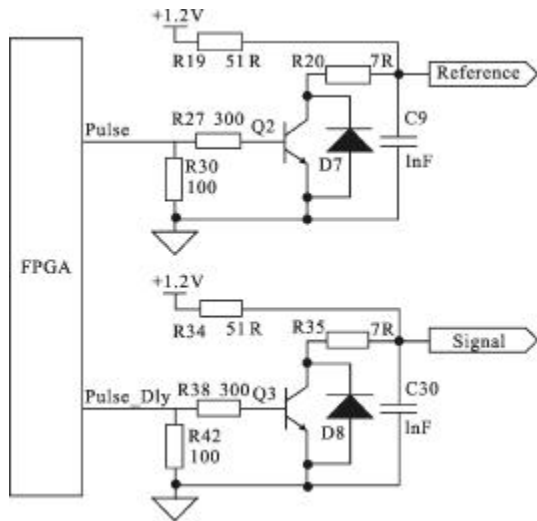


图 5 APD 回波信号模拟系统原理图

Fig.5 Principle diagram of APD signal simulating system

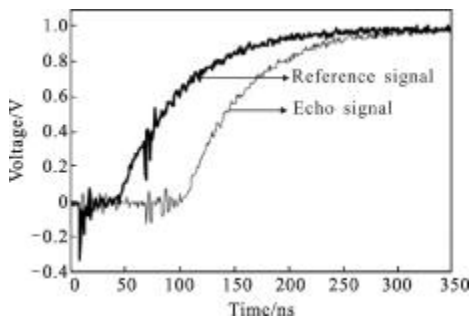


图 6 延时 64 ns 时的 APD 模拟信号

Fig.6 Simulating signal of APD when time-delayed is 64 ns

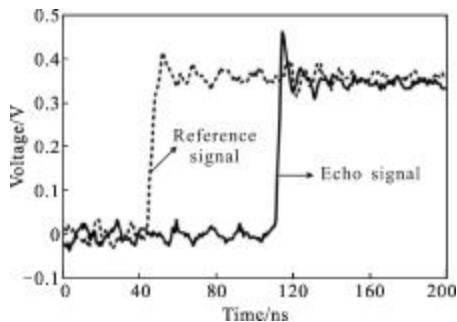


图 7 延时 64 ns 时的时刻鉴别输出信号

Fig.7 Output signal of time discriminator when time-delayed is 64 ns

图 6 所示模拟信号经电容耦合获取交流分量即可模拟 APD 回波信号。时刻鉴别输出信号为 LVDS 差分信号,图 7 给出了差分信号的同极性信号,且取其直流分量。

为便于观察时刻鉴别精度,给出延时时间为 16 ns 时的时刻鉴别输出信号,如图 8 所示。

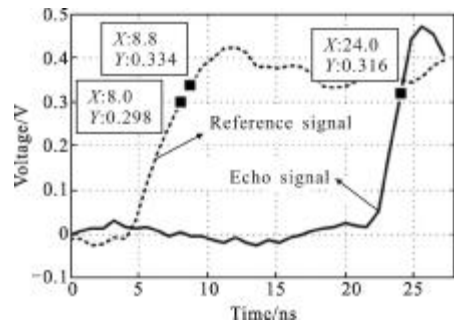


图 8 延时 16 ns 时的时刻鉴别输出信号

Fig.8 Output signal of time discriminator when time-delayed is 16 ns

时刻鉴别电路输出差分信号电平差为 0.35 V,取其电平的 90%(即 0.315 V)为基准判别参考信号和回波信号之间的延时。受示波器采样频率限制,参考信号幅值距离基准参考点 (0.315 V) 最近的两点为 (8.0 ns, 0.298 V)和(8.8 ns, 0.334 V),而回波信号距离基准参考点最近的点为(24.0 ns, 0.316 V),则两信号之间的延时介于 15.2 ns 和 16.0 ns 之间,即时刻鉴别精度优于 1 ns。

为了测试峰值保持电路性能,在实验过程中,通过不断改变压控放大电路增益,使峰值保持电路输入信号峰值在 400 ~ 750 mV 之间变化,选取其中若干点,测量对应峰值保持输出电路波形。当回波信号峰值为 600 mV 时,得到的峰值保持电路输出曲线如图 9 所示。

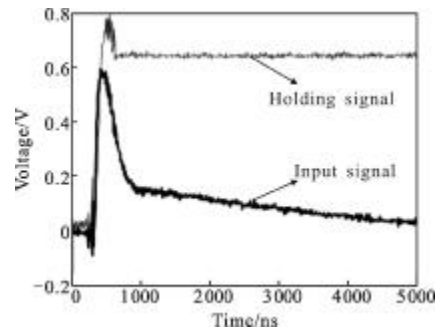


图 9 APD 信号峰值为 600 mV 时峰值保持电路输出

Fig.9 Output signal of peak holding when the peak value of APD is 600 mV

从图 9 可以看出:在 640 ns 之前,峰值保持电路输出信号存在一定过冲,在 640 ns 之后,峰值保持电路输出保持在 640 mV 左右。因此,A/D 采集需在 640 ns 以后进行。虽然峰值保持电路输出幅值大于实际脉冲信号幅值,但该误差可以通过曲线拟合进行修正。采集不同输入信号峰值情况下峰值保持电路输出信号,得到输入信号峰值和峰值保持电路输出信号稳定值之间的关系曲线如图 10 所示。

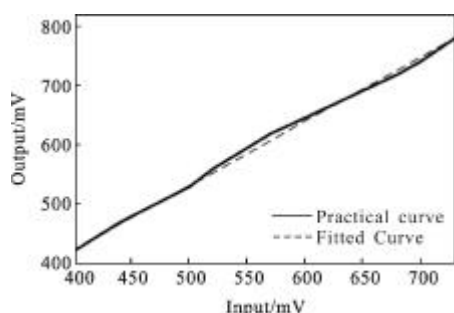


图 10 峰值保持电路输入输出关系曲线

Fig.10 Relationship between input and output of peak holding circuit

图 10 中,实线为实测曲线,虚线为拟合曲线。拟合曲线方程如下:

$$\text{Output} = 1.0825 \times \text{Input} - 9.7320$$

式中:输入信号 Input、输出信号 Output 单位均为 mV。

实际应用过程中,可根据上式反演输入信号。或者不必反演,因为所获得的目标强度本身就是相对值。

通过计算得到实测曲线相对于拟合曲线最大偏差为 2.63%,即峰值保持电路引起的强度图像相对误差小于 2.63%。

5 结 论

为提高激光 3D 成像系统中提取目标距离、强度信息的精度,在系统结构设计中采用半反半透棱镜,其中反射光线照射参考 APD 所得信号作为计时触发信号,可有效减小激光器电触发信号作为计时触发信号所引起的系统误差。详细讨论了时刻鉴别电路和峰值保持电路,搭建了 APD 回波信号模拟系统。在该模拟系统基础上对时刻鉴别电路和峰值保持电路的性能进行了测试。测试结果显示:时刻鉴别电路鉴别精度优于 1 ns;当输入窄脉冲峰值信号低于 800 mV 时,峰值保持电路保持精度优于 2.63%。

所得结果满足后续处理要求。

参考文献:

- [1] Yang Yi, Ding Quanxin, Zhang Chunfeng. New advances in airborne laser imaging techniques [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(4): 620-625. (in Chinese)
- [2] Li Jianzhong, Peng Qixian, Li Zeren, et al. Technology of missile-borne laser active imaging guidance [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(4): 1117-1123. (in Chinese)
- [3] Joao Pereira do Carmo. Imaging LIDAR technology developments at the European Space Agency [C]//SPIE, 2011, 8001:800129.
- [4] Shi Zhiyong, Pan Xiaosheng, Zhang Qian. High-precision pulsed laser measuring distance by time delay method [J]. *Opt Precision Eng*, 2014, 22(2): 252-258. (in Chinese)
- [5] Sun Jianfeng, Gao Jian, Wei Jingsong, et al. Research development of under-water detect imaging based on streak tube imaging lidar [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(5): 811-815. (in Chinese)
- [6] Guo Yulan, Wan Jianwei, Lu Min, et al. Three dimensional orientation estimation for laser target [J]. *Opt Precision Eng*, 2012, 20(4): 843-850. (in Chinese)
- [7] Yang Ran, Zhang Gaofei, Zhang Zichen, et al. Design and experiment of a laser ranging scheme for aerospace applications [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(3): 700-706. (in Chinese)
- [8] Zhao Jianchuan, Wang Dinan, Chen Changqing, et al. Infrared laser active imaging and recognition technology [J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(5): 795-802. (in Chinese)
- [9] Wang Canjin, Sun Tao, Shi Ningning, et al. Laser active imaging and recognition system based on double hidden layer BP algorithm [J]. *Opt Precision Eng*, 2014, 22(6): 1639-1647. (in Chinese)
- [10] Zhang Qingyuan, Li Li, Li Quanxi, et al. Comprehensive information processing system of helicopter anticollision laser radar [J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(1): 80-87. (in Chinese)
- [11] Ping Yuan, Rengarajan Sudharsanan, Bai Xiaogang, et al. 32x32 Geiger-mode LADAR cameras [C]//SPIE, 2010, 7684: 76840C.
- [12] Wang Fei. Research progress in focal plane array for real-time laser three dimensional imaging [J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(3): 297-305. (in Chinese)
- [13] Hu Chunsheng. Investigation into the high-speed pulsed laser diode 3D-imaging lidar [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2005. (in Chinese)
- [14] Liu Huabai, Wang Xingshu, Chen Zhuo. Design of transconductance peak holding circuit for fast narrow pulse [J]. *Optical Technical*, 2008, 34(S): 233-235. (in Chinese)