

·光电系统·

激光回波模拟系统

张 晖, 刘静军

(长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022)

摘 要: 激光检测系统分为激光发射、激光接收和回波信号处理三大部分。激光发射模块采用传统激光测距仪, 激光接收模块采用激光接收管, 信号处理模块采用FPGA编程实现, 采用高精度延时模块实现对激光距离的模拟。主要完成了采样数据的缓存和处理以及整个电路的时钟控制、逻辑控制和时序控制。采用激光回波模拟系统, 可以模拟激光在大气回波的传输过程, 提供远距离的虚拟目标, 实现对大测程指标的检测。以Spartan-6系列FPGA为设计平台, 高速的时钟电路使用300 M内部倍频电路, 实现回波延时精度达到3 ns左右, 使系统具有快速性, 而且实时性能好, 同时FPGA具有并行处理的特点。

关键词: 激光测距机; FPGA; 激光驱动; 延时处理

中图分类号: TN249

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2016)-01-0001-03

Laser Echo Simulation System

ZHANG Hui, LIU Jing-jun

(Department of Optics and Electric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: A laser detection system is divided into three parts, which are laser emission, laser receiving and echo signal processing. Traditional laser range finder is used as laser emission module. Laser receiving tube is used in laser receiving module, signal processing module is realized by field programmable gate array (FPGA) and a high precision time-delay module is used to simulate laser distance. The buffer storage and processing of the sampling data, the clock control, logic control and sequence control of the whole circuit are mainly completed. The laser echo simulation system is used to simulate the transmission process of laser echo in atmosphere and provide remote virtual targets, and to get the longest measurement range parameter. With FPGA series Spartan-6 as the design platform, a 300 M internal frequency multiplier circuit is used in the high speed clock circuit to realize 3 ns time-delay precision. The system has the characteristics of high speed, good real time and FPGA has the characteristic of parallel processing.

Key words: laser range finder; field programmable gate array (FPGA); laser driver; time-delay process

激光技术和激光器件的快速发展,在军用及民用领域的应用非常广泛,特别是在军事技术中,应用在激光雷达、激光测距、激光模拟领域。激光测距仪的基本参数是测距精度和最大的测量距离。所以需要对这些参数进行检查。现阶段,常见的检测手段有基于光纤延时检测法、数字可编程门阵列延时检测法、斜坡电路比较检测法等,但是这些方法

都存在模拟的精度不高,距离有限等缺点,无法对最大测程指标进行检测。采用高精延时模块和大功率激光驱动模块实现对1 064波长的测距仪回波模拟,并同时定量地对最大测程指标进行检测,优于以往的测试方法对激光测距仪的研制测试具有非常实用的意义。

收稿日期: 2015-11-10

作者简介: 张晖(1979-),男,硕士,讲师,主要从事红外图像采集处理方面的研究;刘静军(1990-),男,硕士研究生,主要从事智能结构系统与测量自动化方面的研究。

1 系统组成及工作原理

测距仪性能检测系统的基本原理是,激光测距仪对激光接收管发射激光脉冲,通过FPGA采集激光接收管的脉冲,然后做出可控的延时处理,再由FPGA驱动激光发射管发射脉冲激光信号,次脉冲激光发射时间是可控的,来代替激光测距仪发射激光信号的反射回波^[1]。通过可控的延时激光信号的时间设定,等效模拟激光测距的距离。当激光测距仪接收到模拟的激光信号后便可计算出实际距离,从而实现了目标的模拟。因此检测系统也称为激光脉冲回波模拟系统,当激光测距仪检测的距离与激光模拟系统设定的距离有偏差时,则检测出激光测距仪测量的误差。反射回波包含功率信息,如果功率过小,无法达到激光测距仪的测量最小阈值,则将接收不到本次回波信号的信息^[2]。

图1为激光回波模拟系统的原理框图。核心部件是FPGA最小系统,其中包括电源电路、晶振电路、复位电路等。

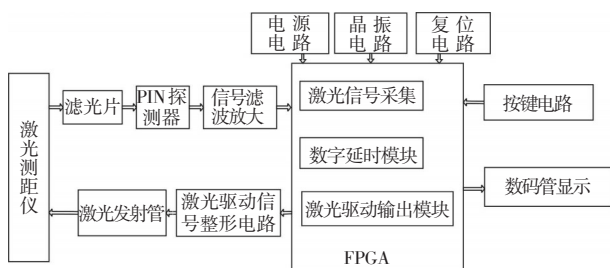


图1 激光回波模拟系统框图

激光测距仪通过光学系统将发射激光,由PIN探测器接收激光信号并且经过滤波放大处理,传输到FPGA控制器,FPGA采集到信号做出相应的延时处理后发射驱动信号,经过驱动电路有激光发射管发射回波激光。延时的时间是由按键手动输入,并有数码管显示^[3]。

2 高精度延时处理

系统采用模拟和数字结合的高精度延时处理方法,模拟延时采用的是对电容充电放电引起的电压变化实现,数字的延时采用的是高频的基准时钟脉冲计数得到时间延时,如下式

$$L = \frac{ct}{2} = \frac{c}{2f}n + \Delta t = \lambda n + \Delta t \quad (1)$$

其中, L 为模拟的距离; t 为回波走过的总时间; c 为光速; f 为系统倍频后的脉冲频率; n 为失踪脉冲的个数; Δt 为模拟电路延时的时间。

FPGA的外部晶振频率选用50 MHz的有源晶振,通过FPGA内部IP核配置时钟倍频电路,使时钟达到300 MHz,当输入模拟距离 L 为20 km时,根据光速走的时间为66 μ s,延时脉冲周期为3.3 ns,则需要对脉冲进行计数 2×10^4 次,才能达到模拟距离。系统将计数分成6个四位的计数器来计数,通过进位的方式,将高位计数器在进位符号改变时翻转一次,从而降低对时序的控制^[4]。

模拟延时电路通过恒流源对电容 C 进行充电,通过电压比较器对电容 C 的电压与阈值电压进行比较,当阈值电压越小时充电的时间越短,当阈值电压越大时充电的时间越长,但电容 C 的充电电压上升到阈值电压是,电压比较器的输出发生翻转,从电容充电到电压比较器输出翻转的时间为 T 。图2为模拟电容 C 充电部分电路原理图。

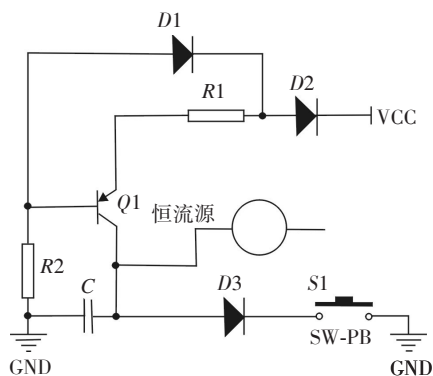
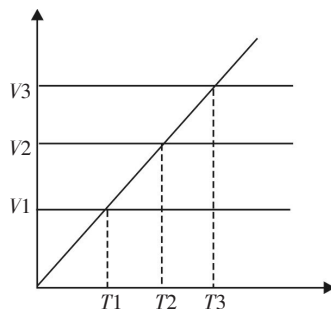


图2 电容充放电延时电路图

如图2所示,横轴代表时间,纵轴代表电压值。当系统发出一个启动触发脉冲后,在脉冲上升沿处等效开关 $S1$ 接通,于是电容 C 通过二极管 $D3$ 对地进行放电,这时电容 C 的电压变成低电平,启动脉冲

具有足够的宽度,保证触发脉冲高电平期间电容 C 能够充分的放电,并且在低电平是稳定。当触发脉冲的下降沿到来时,相当于 $S1$ 断开,向恒流源充电,此时电容 C 电压升高,产生图2的斜坡过程^[5]。

图3为放大电路图。整形放大电路处理激光管的信号通过 π 型滤波电路进行滤波去噪,经过电压跟随器进行隔离,电路中7脚和5脚电压大小相等,相位相同。输入阻抗很大,输出阻抗很小。然后进行放大信号处理^[6]。放大电路是同相输入,进行5倍放大。

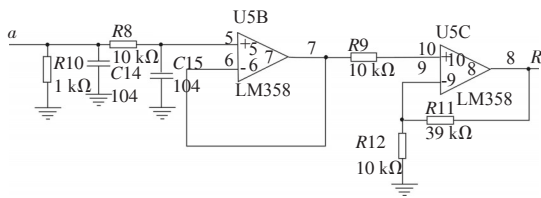


图3 放大电路

3 激光回波模拟数学模型

设激光测距仪的辐射功率为 p_0 ;发射角为 θ ;发射光学系统组件透过率为 τ ;激光测距仪和测目标的间距为 L ;则发射辐射强度为 I_0 ;即单位立体角 Ω 内的辐射功率为

$$I_0 = \frac{\tau P_0}{\Omega} = \tau P_0 / \frac{\pi \times [\tan(\theta/2) \times L]^2}{L^2} = \frac{\tau P_0}{\pi \tan^2(\theta/2)} \quad (2)$$

因激光发射的发散角比较小,所以 $\tan \theta \approx \theta$ 。并且在发散角 θ 内的辐射强度是均匀的^[7]。通过大气时传输有衰减,在目标处照射的光束截面积为 A ,目标接收表面光斑面积为 A_0 ,有下式

$$A = \cos \beta \times A_0 \quad (3)$$

式中,目标的反射表面法线与光轴之间的夹角为 β ,目标表面反射的光功率可表示为

$$P_1 = I_0 \times T \times \frac{\cos \beta \times A_0}{L^2} \quad (4)$$

式中, T 为大气衰减函数不同目标对红外辐射的反射系数 ρ 不同,若将目标看作一个均匀漫反射^[8]。则反射光在 2π 立体角内向各个方向的辐射强度相等,其反射辐射强度 I_1 为

$$I_1 = \frac{\rho P_1}{2\pi} \quad (5)$$

那么,测距仪接收辐射功率 P_2 为

$$P_2 = I_1 \times T \times \frac{A_1}{L^2} \quad (6)$$

式中, A_1 为接收机光学系统孔径面积; T 为大气路径对激光的衰减函数。其具体表达式如下式所示

$$T = \exp\left[-2 \int_0^L \mu(r, \lambda) dr\right] \quad (7)$$

式中, $\mu(r, \lambda)$ 是关于激光波长 λ 在距离 r 处的衰减系数,其值与透过率之和为1。

所以接收功率的表达式为

$$P_2 = \frac{2\tau\rho P_0 \times \cos \beta A_0 A_1}{\theta^2 \pi^2 L^4} \times \exp\left[-2 \int_0^L \mu(r, \lambda) dr\right] \quad (8)$$

4 延时精度及误差修正

系统的延时处理模块的误差主要由系统误差和随机误差组成,系统误差能够经过测量与校准来减小^[10]。通过多次实验测得系统误差 $\eta = 132$ ns,延时随机误差为

$$\varphi(t) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_1^m x_i^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{69^2 + 121^2 + 140^2} \approx 114.13 \text{ ps} \quad (9)$$

式中的误差分别为阈值检测误差 69 ps;激光驱动芯片延时误差 121 ps;比较器的抖动误差 140 ps; m 为置信因子。根据普遍的误差分布情况,置信因子选定为 $\sqrt{3}$ 。晶振频率与标称频率的标称误差为

$$m = \frac{|f_x - f_0|}{f_0} = 10^{-5} \quad (10)$$

式中, f_0 为晶振中心振动频率 100 MHz 在该晶振频率下经过 4 倍频后 FPGA 每个工作周期的误差为 0.05 ps。设延时时间为 t ,则累积误差为

$$at = \frac{t}{2.5 \text{ ns}} \times 0.05 \text{ ps} = 2 \times 10^{-5} t \quad (11)$$

根据以上公式,则延时误差函数为

$$\eta(t) = 2 \times 10^{-5} t + 125 \text{ ns} \pm 113.87 \text{ ps} \quad (12)$$

5 实验结果

经过标定模号的激光测距仪来完成测距实验,其主要技术指标如下,测量作用距离 7 km,激光波长 1 064 nm,输出峰值功率为 2 MW,脉冲宽度 10 ns,测距精度 0.1 m,对该型号激光测距仪进行检测。采用 1 GHz 的采样频率示波器进行采样,对不同距离的回波信号进行延时精度检测。

(下转第 28 页)

子质量,2012,12.

- [7] 黄马连,陈焕庭,周小方,等.基于相关色温和光通量优化白光LED光谱[J].光子学报,2015,44.
- [8] 谈茜,饶丰,张永林,等.LED光谱特性及其在中间视觉下的应用[J].照明工程学报,2012,23(4):61-64.
- [9] Lita A, Washington A L, Burt van de L, et al. Stable efficient solid-state white-light-emitting phosphor with a high scotopic/photopic ratio fabricated from fused CdSe-silica

nanocomposites[J]. Adv. Mater., 2010, 22(36):3987-3991.

- [10] Nizamoglu S, Erdem T, Demir H V. High scotopic/photopic ratio white-light-emitting diodes integrated with semiconductor nanophosphors of colloidal quantum dots [J]. Opt. Lett, 2011, 36(10):1893-1895.
- [11] GUO Z Q, SHI T M, GAO Y L, et al. Optimization studies of two-phosphor-coated white light-emitting diodes[J]. IEEE Photonics Journal, 2013, 5(2):8200112.

(上接第3页)

表1为延时精度验证数据表。

表1 延时精度验证数据表

序号	预设等效光程			
	1 000	3 000	5 000	7 000
	测量延时时间/ns			
1	6 665.77	19 998.72	33 333.44	46 667.37
2	6 665.80	19 999.82	33 334.37	46 668.35
3	6 666.56	19 998.62	33 335.62	46 669.95
4	6 667.81	19 998.92	33 334.35	46 667.67
5	6 665.22	20 001.23	33 333.66	46 669.56
6	6 667.34	19 999.12	33 334.68	46 668.73
模拟功率/W	9.6×10^{-5}	7.3×10^{-5}	3.2×10^{-5}	1.6×10^{-5}
测准率/%	98	95	88	67

6 结论

介绍了一种激光测距仪测距性能的检测方法,使用高精延时处理技术的回波模拟系统,对功率数学模型进行分析,对激光测距仪最大测程的检测。实验结果表明,该方法最大测程的测准率高于90%,延时误差小于2 ns,相较于光纤延时法的延时精度有了很大的提高,但是系统的硬件结构需要进一步改善,以保证对大功率的激光模拟器进行

检测。

参考文献

- [1] 李松山.激光多脉冲测距技术研究[D].长春:长春理工大学,2005.
- [2] 张延华,樊桂花,何永华.多脉冲激光回波信号处理方法研究[J].装备指挥技术学院学报,2011,22(1):94-96.
- [3] 黄仁,王寿增,张鑫.多脉冲激光测距信号处理技术研究[J].数字技术与应用,2012,11(3):125-126.
- [4] 郑宝玉.自适应滤波器原理[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [5] 王欣,王德军.离散信号的滤波[M].北京:电子工业出版社,2002.
- [6] 高建辉.MS自适应滤波器的设计理论研究[J].信息技术,2011(8):112-114.
- [7] 周盛雨,孙辉先,陈晓敏,等.基于模块化设计方法实现FPGA动态部分重构[J].微计算机信息,2008,24(2-2):164-165.
- [8] 陈慧敏,郭渭荣,刘鹏,等.提高脉冲激光引信定距精度的仿真研究[J].光电技术,2008,34(5):721-723.
- [9] 陈奔,郭颖,杨俊,等.脉冲式高精度激光测距技术研究[J].红外,2010,31(6):236-238.
- [10] 余向东,张在宣,王剑锋.一种小型高精度脉冲式半导体激光测距仪[J].激光与红外,2008,38(5):458-461.