

·测试、试验与仿真·

一种多脉冲激光测距机的检测方法

冯继东

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘要:脉冲激光测距技术因其测距精度高操作简便,在军用和民用等多领域得到广泛的应用。为了进一步提高激光测距机的最大测程,近年来出现一种多脉冲激光测距机。针对多脉冲测距机的测距原理,结合以往对脉冲激光测距系统检测方法的优点和不足,提出了一种多脉冲激光测距机的检测方法。该方法有效解决了传统检测对测试场地要求高、过程复杂且受大气能见度影响的问题。

关键词:激光测距;多脉冲;检测

中图分类号: TN247

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-03-0074-05

Detection Method of Multi-pulsed Laser Rangefinder

FENG Ji-dong

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

Abstract: Pulsed laser ranging technology is widely used in military, civil and other fields for its high ranging accuracy and simple operation. In order to further improve the maximum range of a laser rangefinder, a multi-pulsed laser rangefinder has been developed in recent years. According to the advantages and disadvantage of the testing methods of previous pulsed laser ranging systems, in view of the multiple-pulsed rangefinder ranging principle, a multiple-pulsed laser rangefinder detection method is proposed. The problems of high requirements for testing places, complex processes and atmospheric visibility for previous testing are effectively solved.

Key words: laser ranging; multi-pulsed; detection

激光测距是指利用射向目标的激光脉冲或连续波激光束测量目标距离的一种距离测量仪。利用激光脉冲的称为脉冲激光测距,利用连续波激光束的称为连续波激光测距。脉冲激光测距利用脉冲法测距,具有测程远和体积小特点,多用在军事上对各种战场目标测距。激光测距机自问世以来,在军用和民用各个领域得到了广泛的应用。

随着科学技术发展的客观需要,对激光测距机的作用距离和环境适应能力等方面提出了更高的要求。但从目前的情况看,单脉冲时间飞行法用于远程测距存在测程、时刻鉴别和虚警率等限制。为了提高脉冲式激光测距的测程,就需要对现有的单脉冲式时间飞行法进行改进。近几年来,随着数字

信号处理技术不断发展,针对单脉冲激光测距方式信噪比提升有限及抗干扰能力不强等缺点,国内外学者提出了全新的多脉冲激光测距的方法。

1 多脉冲激光测距原理

多脉冲探测顾名思义,就是一次测距过程需要多个激光脉冲信号的发射和接收来完成。

多脉冲激光测距与普通的脉冲激光测距的主要不同处在于,激光发射的方式和提取的目标距离信息不同,常规的单脉冲测距是从每次发射的单个激光脉冲的回波信号直接得到目标距离,而多脉冲测距是每次发射数次脉冲,并通过对接的脉冲串

激光信号进行信号的累积处理后得到目标距离。多脉冲激光测距信号处理的方式有互相关叠加法和发射回波脉冲串互相关法等。

图1是多脉冲激光测距信号示意图。图中 t_p 为连续激光发射脉冲的间隔, Δt 为激光的飞行时间, T 为两次测距的时间间隔。

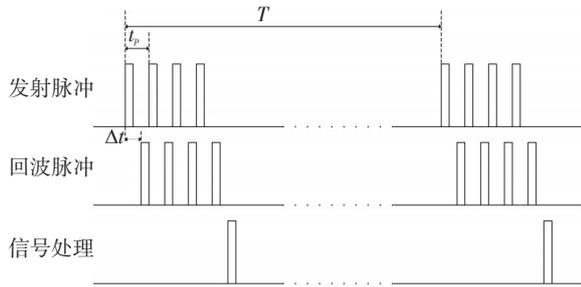


图1 多脉冲激光测距信号示意图

1.1 互相关叠加法

多脉冲互相关叠加方法的数学模型如下:

设接收放大器的输出特性

$$\zeta(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

其中, $s(t)$ 为回波信号; $n(t)$ 为噪声信号,将 N 个脉冲回波信号叠加,可表示为

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^N [s_i(t) + n_i(t)] \quad (2)$$

经过 N 次叠加后,信号因良好的相关性得到增强,而噪声因为差的相关性而得到抑制,这样信号就从噪声中突显出来,信噪比得到提升。根据功率信噪比的理论,通过该方法处理后,回波信号的信噪比理论上能提高。

1.2 发射回波脉冲串互相关法

发射回波脉冲串互相关法的数学模型如下:

设激光发射信号由 N 个激光脉冲组成,如

$x_1(t)$,其对应回波为 $x_2(t)$

$$\begin{cases} x_1(t) = \sum_{a=0}^{N-1} f(t - at_0) + z_1(t) \\ x_2(t) = \sum_{a=0}^{N-1} b(t) f(t - at_0 - \tau) + z_2(t) \end{cases} \quad (3)$$

其中, $f(t)$ 表示发射脉冲信号; $z_1(t)$ 表示发射噪声信号; $b(t)$ 表示回波信号的幅值衰减因子,它跟时间及噪声强度相关; τ 表示回波脉冲和发射脉冲之间的时间延; t_0 表示脉冲串相邻脉冲的间隔; $z_2(t)$ 表示回

波噪声信号。将脉冲串的回波信号进行互相关处理,即为

$$R(\tau) = \sum_{t=1}^T \sum_{a=0}^{N-1} [f(t - at_0) + z_1(t)] [b(t) f(t - at_0 - \tau) + z_2(t)] \quad (4)$$

理想条件下,由于信号与噪声以及噪声与噪声的非相关性,式(4)最终可得

$$R(\tau) = \sum_{t=1}^T \sum_{a=0}^{N-1} [f(t - at_0)] [b(t) f(t - at_0 - \tau)] \quad (5)$$

对于远程测距来说, $b(t)$ 远远小于1,则式(5)中的发射脉冲串信号幅值远远大于回波脉冲串信号幅值。信号项是相乘相加的关系,同时,发射脉冲信号与回波脉冲信号的互相关,发射信号的幅值远远大于回波脉冲,考虑到信号脉宽 Δn ,理论上式(5)得到的互相关峰值提高了 $N * \Delta n / b(t)$ 倍。

根据互相关性质

$$R_{ss}(t - \tau) \leq R_{ss}(0) \quad (6)$$

当 $t = \tau$ 时,互相关函数得到最大值。而时延估计值为相关函数的峰值,即

$$\tau = \arg(\max R(\tau)) \quad (7)$$

故采用基于发射脉冲和回波脉冲的脉冲串互相关方法,处理后直接可获得时间信息。发射脉冲串与回波脉冲串作为一次连续信号,由AD同时转换,两路信号的时间轴是以AD的时钟信号为基准,故发射脉冲串的时间抖动并不影响信号接收的时间轴,从而消除了各个发射脉冲的时间漂移的影响。

2 检测方案原理

脉冲激光测距机的测距能力是有关性能参数的一种综合反映。且用户最为关心的是测距系统测距能力,所以检测技术多为检测最大测程及测距精度两项指标。

通过对多脉冲激光测距机测距原理的分析,可知一次测距过程有一个以上的脉冲发射或回波信号,根据测量距离的远近,连续激光发射脉冲间隔 t_p 与激光飞行时间 Δt 相比,大小无法确定,所以在检测过程中要注意发射脉冲信号与回波脉冲信号的对应。同时,有些多脉冲激光测距机的内部信号处理结果与激光信号脉宽 Δn 有关联,所以应在设计中检测激光信号脉宽。

方案原理如图2所示。

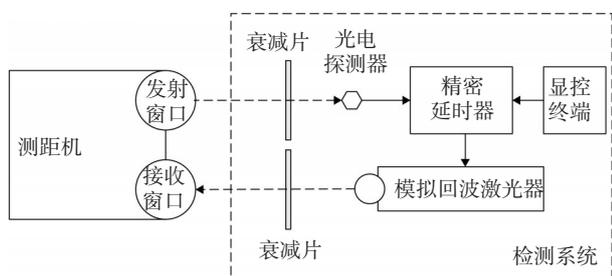


图2 检测方案原理框图

使用光电探测器来接收激光测距机的发射信号,使用精密延时器和含光衰减片消光的激光器来模拟激光测距机的回波信号,整个过程相当于距离仿真。具体过程为:确定模拟测试距离后,通过显控终端将参数发送至精密延时器进行配置,同时在模拟回波激光器出光口添加相应的衰减。激光测距机发射的光信号经光电探测器接收后,精密延时器控制模拟回波脉冲延迟时间和模拟回波信号宽度,由模拟回波激光器发出回波信号。光信号输出给脉冲激光测距系统的接收光学系统,由测距系统探测器接收,完成测距。

光衰减值代替实际大气中的消光比值,精密延时器延迟的时间和激光器的出光延时之和换算为测距机距离值就是激光在大气中实际传输的距离。此模拟距离值与激光测距系统显示距离值相比较,得出脉冲激光测距系统最大测程值及测距精度范围。

3 硬件设计

3.1 光电探测器

光电探测器是将激光信号转换为可被后级数字电路处理的电信号的设备,原理框图见图3。



图3 光电探测器原理框图

光敏二极管在接收到激光信号后,产生微弱电压,此后放大器会将电压放大,放大后的电平会与比较器设定的阈值电压进行比较,若电压大于阈值,比较器输出端便会输出逻辑高电平。

设计中,用于感知激光信号的器件选用的是PIN光敏二极管,放大器电路拓扑结构如图4所示。比较器选用的是亚德诺半导体公司的一款高速低功耗比较器。

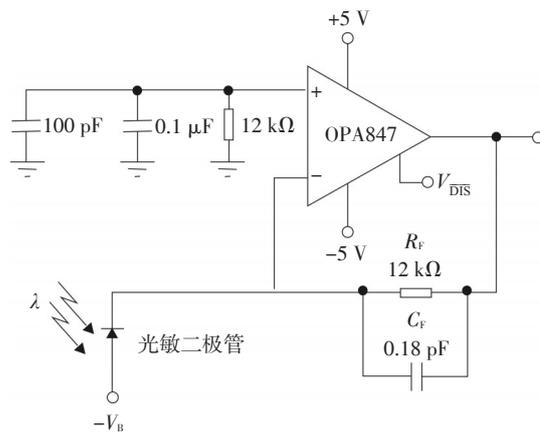


图4 放大器电路拓扑结构

3.2 精密延时器

精密可编程延时器由通讯芯片,单片机及其外围电路,FPGA及其外围电路等组成。原理见图5。

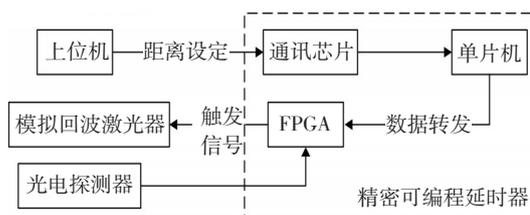


图5 精密延时器原理框图

通讯芯片用于上位机串口与单片机串口通讯的RS232-TTL电平转换。

单片机用于将串口接收到的距离设定信息并行转发至FPGA模块。

FPGA模块通过PLL将晶振时钟倍频至1 GHz,作为内部延时计数器和脉宽检测计时器的时基,使得时钟精度为1 ns,换算为距离精度则为0.3 m。光电探测器发送的脉冲信号作为延时计数器启动信号,经设定的时长后,触发模拟回波激光器出光。

3.3 模拟回波激光器

方案采用的是消光法检测激光测距机的最大量程。在测距机接收端前加定量的衰减片,用于模

拟回波信号的能量。为保证测量的准确些,需要选择一款输出功率稳定的激光器。选取长春新产业光电技术有限公司生产的一款稳功率激光器,该激光器能够通过外部时统信号进行发射控制,以及脉宽调整。

4 软件设计

设计的软件流程如图6所示,程序包含单片机程序与FPGA程序两部分。

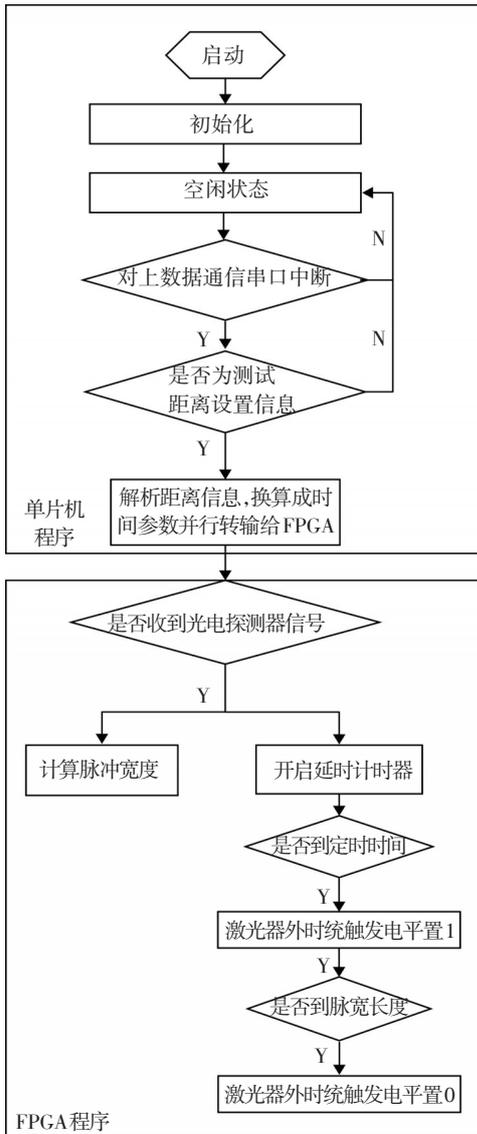


图6 软件流程图

具体工作过程如下:

单片机在接收到上位机的串口指令后,对指令进行判断、解析,将相应的距离信息转化为时间信

息,以并行数据传输的方式向FPGA下发。

FPGA将接收到的时间信息存储在寄存器内,开始等待光电探测器的信号。在接收到光电探测器的上升沿信号后,延时计时器开始计时,脉宽测量计时器也开始计时,脉宽测量计时器在光电探测器的下降沿停止计时并将计数存至寄存器。当延时计时器到达设定参数后将激光器触发管脚置1,又计时脉冲宽度个时间后将激光器触发管脚置0。

5 实验结果

使用激光编码器模拟多脉冲激光测距机的激光发射信号,对测试系统进行检测。检测过程设定为3种时间间隔的激光发射信号,每种发射间隔对应3种不同测量距离。

测试结果如图7、图8和图9所示。



(a)发射间隔 1 ms

(b)发射间隔 50 ms

图7 600 m距离设定



(a)发射间隔 1 ms

(b)发射间隔 50 ms

图8 6 km距离设定



(a)发射间隔 1 ms

(b)发射间隔 50 ms

图9 60 km距离设定

测试结果见表1。

表1 检测结果记录表

距离 设定 /km	发射信 号间隔 /ms	测试结果	
		从激光发射信号到输出 模拟回波信号的时间/ μ s	距离换算/m
0.6	1	3.999 3	599.895
	50	40.000 1	6 000.015
6	1	399.999 7	59 999.955
	50	3.999 9	599.985
60	1	39.999 9	5 999.985
	50	4 000.000 2	60 000.030

6 结 论

从研究多脉冲激光测距机的实现原理出发,介绍了实现多脉冲激光测距机重要指标检测的方法,并对信号时序识别、激光信号脉宽测量、高精度延时器和激光器功率稳定度等关键技术软硬件的实现进行了描述。针对该方法设计了分组模拟测试,并对实验结果进行了记录和分析,实验证明该方法在实际检测过程中易于操作、自动化程度高,并且拥有较高的测量精度,有效解决了传统检测对测试场地要求高、过程复杂且受大气能见度影响的

问题。

参考文献

- [1] WANG Yang, WANG Qian-qian. The application of lidar in detecting the space debris[C]//Proc of SPIE, 2009.
- [2] 龙腾宇,黄民双,孙丽妍,等.单脉冲互相关累积法在激光脉冲远程测距中的应用[J].北京石油化工学院学报, 2013, 21(3).
- [3] 倪旭翔,胡凯.脉冲串互相关方法在远程激光测距中的应用[J].光学学报, 2012, 32(11).
- [4] 谭显裕.脉冲激光测仪灵敏度与消光比研究[J].红外与激光技术, 1990, 17(2).
- [5] 羊毅,陆祖康,倪旭翔,等.激光测距机测程指标的拟定及测试方法电光与控制[J]. 2002(2).
- [6] 谭浩强.C程序设计[M].北京:清华大学出版社, 2003.
- [7] 付小宁.光电探测技术与系统[M].北京:电子工业出版社, 2010.
- [8] 郝晓剑.光电探测技术与应用[M].北京:国防工业出版社, 2009.
- [9] 邢刚.基于CPLD的多目标脉冲激光测距系统的设计与实现[J].激光与红外, 2010.
- [10] 张春风,羊毅,刘春华.基于多脉冲的机载远程激光测距信号处理算法[J].电光与控制, 2010.
- (上接第24页)
- [10] Born & Wolf.光学原理[M].北京:电子工业出版社, 2009, 10.
- [11] 麦伟麟.光学传递函数及其数理基础[M].北京:国防工业出版社, 1979, 3.
- [12] 孙可,江厚满,程湘爱.强光辐照下主镜表面散射引起的视场内杂光分布[J].光学精密工程, 2011, 19(2): 493-499.
- [13] 梁昆淼.数学物理方程[M].北京:高等教育出版社, 2004, 2.
- (上接第41页)
- [7] 孙即祥.图像处理[M].北京:科学出版社, 2004.
- [8] 徐正光,鲍东来,张利欣.基于递归的二值图像连通域像素标记算法[J].计算机工程, 2006, 32(24): 186-188.
- [9] 刘杨,赵香菊,张蕾.面向遥感图像处理与展示的多语言构件设计[J].河南大学学报(自然科学版), 2016, 46(4): 472-481.
- [10] 李蓉,邹昆,马慧.基于S3C2440处理器系统的数字图像处理技术和嵌入式技术结合机制[J].现代电子技术, 2016, 39(23): 55-57.