

文章编号: 2095-4980(2017)01-0065-05

一种新的激光扫描仪多回波处理电路设计

楚现涛^{a,b}, 唐 丹^a, 王 欣^a, 杨 浩^a

(中国工程物理研究院 a.应用电子学研究所; b.研究生院, 四川 绵阳 621999)

摘 要: 针对目前激光扫描仪多回波处理所用高采样率 A/D 采样电路的设计难度大、成本高的问题, 提出一种新的多回波处理电路实现方法。首先简述了典型 A/D 采样电路的一般设计方法。其次提出了一种主要由高速比较器、时间延迟电路、脉冲产生电路、脉宽测量电路、加法电路以及一个现场可编程门阵列(FPGA)共同组成的新的多回波处理方法, 并对重要模块的设计进行了阐述。最后通过实验验证了该电路可有效处理双脉冲回波。该电路设计成本较低, 相对 A/D 采样电路设计难度较小。

关键词: 激光扫描仪; 多回波; 高速 A/D; 脉宽测量电路; 脉冲产生电路; 时刻鉴别

中图分类号: TN911.74

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201701.0065

Design of a new echo processing circuit of laser scanner

CHU Xiantao^{a,b}, TANG Dan^a, WANG Xin^a, YANG Hao^a

(a.Institute of Applied Electronics; b.Graduate School, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: At present, in the application of laser scanner, the most popular method to deal with the multiple echoes is sampling by high speed A/D first and then handling with complex algorithm. Because of the A/D chip is very expensive and it is hard to design, a new method is proposed. Firstly, an A/D sampling circuit design method is described. Then, a new circuit composed of comparator, time delay circuit, pulse generating circuit, pulse width measurement circuit, added circuit and Field Programmable Gate Array(FPGA) is proposed. This method is proved effective in dealing with two pulse echoes by experiment. This circuit costs less and is easier to design compared to A/D sampling circuit.

Keywords: laser scanner; multiple echoes; high speed A/D; pulse width measurement circuit; pulse generating circuit; time discriminator

激光扫描仪应用中, 发射激光照射目标, 反射信号到接收系统, 接收系统根据目标的回波信号判断目标距离以提取目标的距离信息。由于环境的不同, 目标光路上可能不止有一个目标的反射信息。比如树林扫描中, 同一光路中存在多次回波, 当这些回波脉冲发生重叠, 使用简单的比较器便无法实现所有信号的鉴别。目前常用的多回波处理方法是先使用高速 A/D 采样电路进行信号采样, 然后通过算法处理采样信号以实现多回波的提取。该常用方法虽然有效, 但是高速 A/D 采样电路设计难度较大, 电路易受到干扰, 核心的高采样率 A/D 芯片成本较高; 并且, 算法设计较复杂。针对常用多回波处理方法设计难度大, 设计成本高的问题, 本文提出一种新的成本较低, 易于实现的多回波处理方法。该方法以电路来实现, 主要由高速比较器、脉冲产生电路、脉宽测量电路等几个核心电路模块组成, 可有效处理双回波。

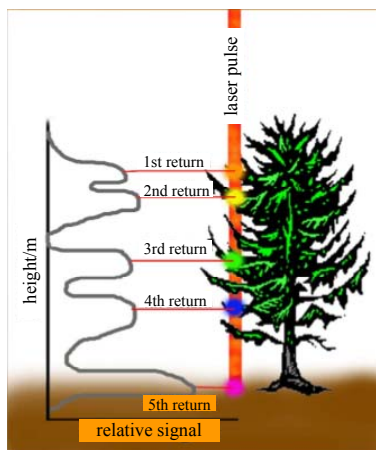
1 多回波信号特征

由于激光的单色性和发射能量比较集中, 激光对郁闭度小于 0.9 的森林具备一定的透射^[1], 见图 1(a), 当激光脉冲遇到地面高低不同的目标时, 依次返回不同能量与不同距离信息的回波。如果激光雷达具备对返回的激光进行多回波采样的能力, 那么只要通过 1 次脉冲发射就可以获得 1 个激光脚点内地物的高低分布情况; 再将 1 个区域内的脚点联合起来分析, 就可分离裸露地表面、地面底层物体、地面高层物体等地形信息^[2]。

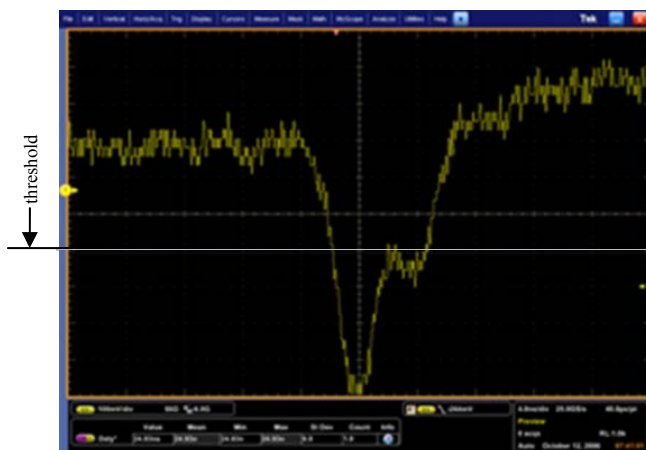
收稿日期: 2015-11-04; 修回日期: 2015-12-18

基金项目: 863 计划资助项目

反映到波形图形中, 多个回波脉冲叠加会出现 1 个回波脉冲的上升沿或下降沿上出现另 1 个波峰, 图 1(b) 是实际实验中探测到的多回波脉冲信号。若用比较器进行回波判定, 比较器阈值大小设置见图 1(b)。由于 2 个回波目标间距的不确定, 第 2 个回波信号的峰值叠加在第 1 个下降沿上的位置也是不确定的, 第 2 个回波脉冲会出现在第 1 个脉冲信号 1/2 上升沿到脉冲结束的任意位置^[3], 因此像图 1 中设置阈值大小便无法确定。为实现精确判定, 便需要很多不同阈值的比较器并联来实现。



(a) multiple echoes principle



(b) measured multiple echoes waveform

Fig.1 Multiple echoes signal
图 1 多回波信号示意图

2 传统的多回波处理方法

目前常用的多回波处理方法是选用高速 A/D 采样电路加上复杂算法。A/D 采样电路^[4]原理见图 2。A/D 采样电路的几个关键环节是多路模拟开关、程控放大器、A/D 采样芯片和电源电路。

多路模拟开关在 A/D 采样中起到了扩展 A/D 采样通道数和设定采样方式的作用。设计可编程增益放大器可提高 A/D 采样的灵活性, 在已知采样电压范围的情况下合理地选择增益放大倍数, 提高采样精确度。A/D 采样芯片的选择是电路性能保证的关键。

在激光扫描仪应用中, 脉冲宽度在 10 ns 以下, 要实现多回波的

信号处理, 需要选用极高采样率的 A/D 采样芯片, 一般采样率选在几 GHz 甚至十几 GHz^[5], 经过 A/D 采样得到的数据再通过算法来进行回波拟合和多回波的区别, 而现在市场上 1 GHz 采样率的芯片一个就要 1 万多元, 采样率越高的则越昂贵。而用来处理采样信号的算法设计也较复杂。

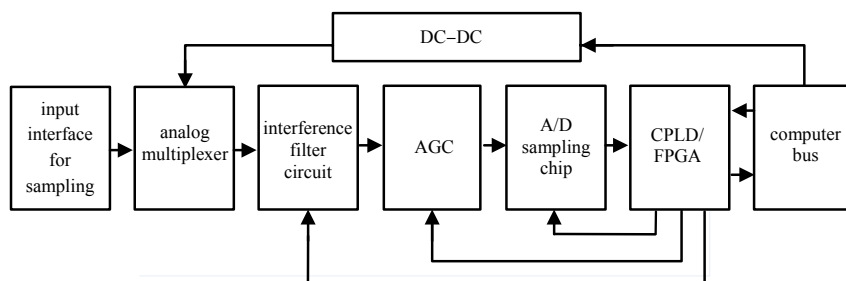


Fig.2 Schematic diagram of three-road parallel A/D
图 2 三路并联 AD 原理图

3 多回波处理的新方法

针对传统多回波处理方法成本较高、设计难度较大的问题, 本文提出了一种使用简单电路实现的多回波处理方法, 以双回波电路鉴别方法为例说明, 其基本处理原理见图 3。图 3 中 A 部分为多回波处理部分。经过自动增益放大的多回波信号幅值设为 F , 多回波信号首先经过阈值小于 F 、大于 $1/2F$ 的比较器 1, 若比较器有 2 路信号翻转则可直接鉴别 2 路回波。若只有 1 个信号输出, 见图 4(a), 比较器 1 阈值为 U_{th1} , 则比较器 1 只有 1 次输出, 多回波处理电路开始工作。到达 A 部分的信号分成 3 路: 第 1 路经过比较器 1 鉴别第 1 个回波脉冲, 比较器 1 的输出信号一路直接输出, 另一路输出到 FPGA 作为脉冲产生电路的触发信号; 第 2 路输出到脉宽测量电路, 由于目标的倾斜度以及大气都会使脉冲信号有一定程度的展宽^[6-9], 脉宽测量电路结果输出到 FPGA 作为脉冲产生电路产生脉冲宽度的标准; 第 3 路经过延迟电路, 延迟时间等于从信号到达脉冲产生电路产生新的脉冲所用的

时间。脉冲产生电路产生与回波脉冲等宽、等幅但方向相反的脉冲。该脉冲信号与经过时间延迟的信号通过加法电路,得到只有第 2 次回波的信号。

第 2 次回波信号经过阈值较低的比较器 2 实现第 2 次回波脉冲的鉴别。

由图 3 多回波处理电路的原理,该电路设计重点主要包括:a) 脉宽可调的脉冲产生电路的设计;b) ns 级脉宽测量电路的设计;c) 时间延迟电路对信号延迟时间的控制;d) 为了实现对重频 200 kHz 信号的有效处理,整个多回波处理电路处理时间小于 $5\ \mu\text{s}$,器件选型延迟时间要短。

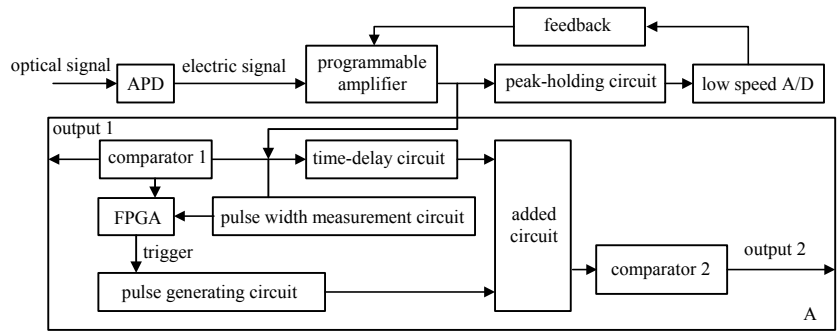


Fig.3 Principle diagram of multiple echoes processing circuit

图 3 多回波处理电路原理图

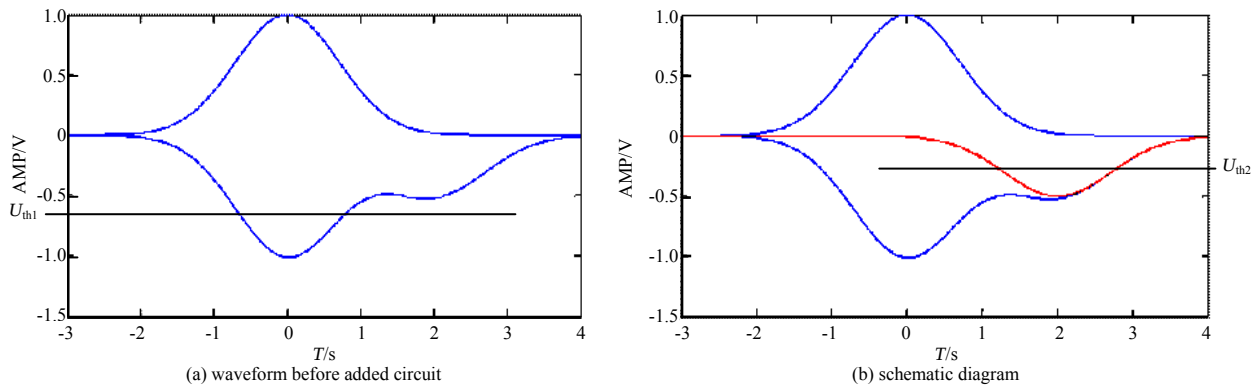


Fig.4 Waveform processing method

图 4 波形处理方法示意图

3.1 脉宽测量电路

虽然激光扫描仪经过光电探测器后输出的是模拟信号,但是在经过自增益控制电路后,输出脉冲的幅度稳定在 1 个恒定值,根据文献[3],叠加的脉冲也在主脉冲上升或下降沿的 1/2 以下,因此主脉冲的幅度可以用数字信号脉宽测量方法进行测量。

本设计参考文献[10]提出的基于数字移相的高精度脉宽测量方法实现脉宽的高精度测量。其原理见图 5。所谓移相是指对于两路同频信号,以其中一路为参考信号,另一路相对于该参考信号做超前或滞后的移动形成相位差。见图 5(a),原始技术时钟信号 CLK0 通过移相后得到 CLK90,CLK180,CLK270,相位依次相差 90° ,用这 4 路时钟信号同时驱动 4 个相同的计数器对待测信号进行计数。设时钟频率为 f ,周期为 T ,4 个计数器的计数个数分别为 m_1, m_2, m_3, m_4 ,则最后脉宽测量值为:

$$w = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4} \times T \quad (1)$$

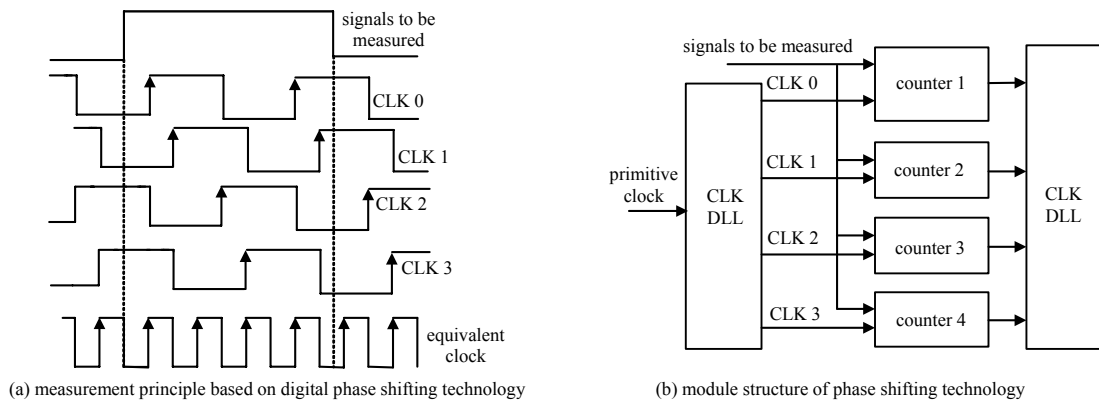


Fig.5 Principle diagram of pulse width measurement circuit

图 5 脉宽测量电路原理图

3.2 脉冲产生电路

采用数字电路的逻辑特性来产生脉冲宽度可调的纳秒级窄脉冲信号。基于数字逻辑器件产生窄脉冲主要利用的是逻辑门的竞争冒险现象来完成。本文采用的脉冲产生电路原理见图 6，其逻辑表达式为： $F = \overline{A+B}$ 。

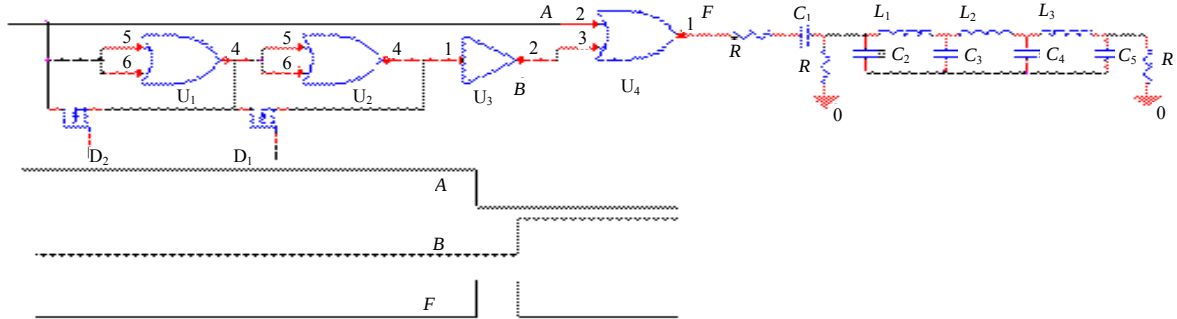


Fig.6 Nor gate to produce narrow pulse
图 6 或非门产生窄脉冲

对于 TTL 器件来说，其产生的窄脉冲近似钟形，类似于高斯函数波形，通过合理组合 RLC 器件，就可以产生类似于二阶高斯脉冲函数^[11]。其工作过程为：时钟信号分别加到或非门 U_1 的一个输入端和或非门 U_3 的输入端，输入到 U_3 的信号经过非门产生一个极性相反又足够陡峭的上升沿和幅度的信号并输入到 U_4 的输入端。由或非门产生一个窄脉冲。后端的微分滤波电路主要完成脉冲的成型，通过调整 RLC 的参数，就可以得到合理的脉冲波形。其中，脉宽主要取决于输入到非门 U_4 信号的延迟。本设计中，经过脉宽测量电路后，通过控制 D_1 和 D_2 的通断控制信号的延迟时间，进而控制产生脉冲的宽度。

4 验证实验及分析

在常温、常湿的实验室条件下，以实验电路处理在实验室实验中产生的双回波，见图 7(b)。脉冲产生电路产生与第 1 个回波脉冲幅值和脉宽相等而方向相反的脉冲信号，见图 7(a)。两路脉冲信号同步输入到加法电路的两端，输出只剩第 2 个回波脉冲的信号，见图 7(c)。图 7(c)中突起的 A 部分是由于产生的脉冲脉宽和不与回波第 1 个脉冲的脉宽完全相等所致，产生的脉宽偏大导致了 A 部分的突起。这个误差不影响第 2 次回波脉冲的鉴别，只要图 3 中的比较器设阈值为 U_{th2} ，便可实现对第 2 次回波的鉴别。对比分离前实测的多回波图形 7(b)与分离后只剩下第 2 次回波的图形 7(c)，证明了该方法在多回波鉴别上的实用性。

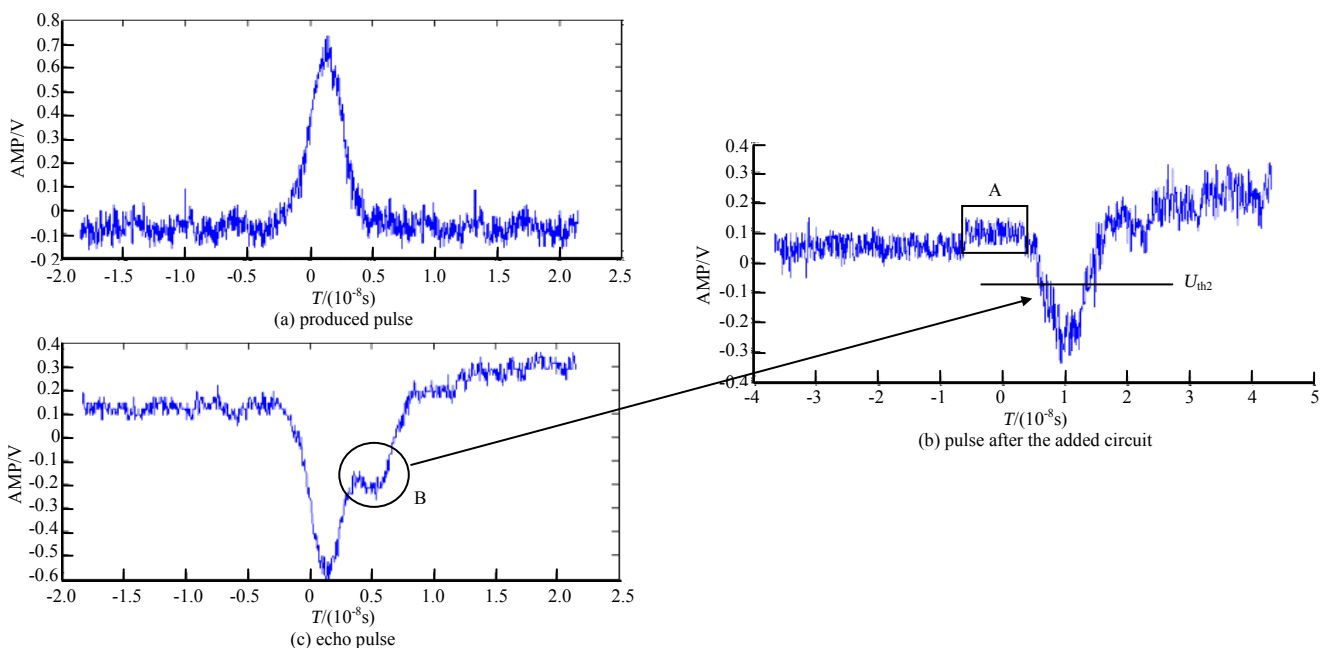


Fig.7 Experimental results
图 7 实验图

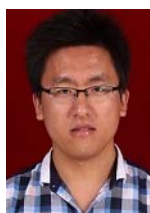
5 结论

基于目前常用的处理多回波方法的成本高、设计难度大的问题,本文提出了利用较简单的电路实现方法来处理多回波的新方法,并通过实验验证了该电路在2个回波脉冲叠加情况下的实用性。本文采样脉冲产生电路、脉宽测量电路、延迟电路、比较器等模拟电路模块,通过严格控制电路的延时及同步实现双回波信号的鉴别。该方法设计难度小,使用元器件数量较少,抗干扰能力较强,可以实现2个回波信号的有效鉴别。

参考文献:

- [1] 苏国中,高红,丁向辉,等. 星载多回波 LiDAR 数据提取地形参数算法应用研究[J]. 航天器工程, 2009(5):67-72. (SU Guozhong,GAO Hong,DING Xianghui,et al. Research on algorithm of extracting terrain parameters by using multi-return LiDAR's data[J]. Spacecraft Engineering, 2009(5):67-72.)
- [2] SONG Jeong Heon,HAN Soo Hee,YU Kiyun,et al. Assessing the possibility of land-cover classification using lidar intensity data[EB/OL]. (2002-09-12)[2015-10-18]. <http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper128.pdf>.
- [3] 段乙好,张爱武,刘诏,等. 一种用于机载 LiDAR 波形数据高斯分解的高斯拐点匹配法[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(10):195-203. (DUAN Yihao,ZHANG Aiwu,LIU Zhao,et al. A Gaussian inflexion points matching method for Gaussian decomposition of airborne LiDAR waveform data[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014,51(10):195-203.)
- [4] 何华锋,胡昌华,代延民. 高精度 A/D 采样电路的干扰分析与电路设计[J]. 电光与控制, 2005,12(5):73-75.(HE Huafeng, HU Changhua,DAI Yanmin. Interference analysis and design of high-precision A/D sampling circuit[J]. Electronics Optics & Control, 2005,12(5):73-75.)
- [5] 吕明爱,柳建,王江. 激光测距回波信号高速采样处理技术研究[J]. 光电工程, 2011,38(5):59-63. (LYU Mingai,LIU Jian, WANG Jiang. High-speed sampling technology in laser ranging[J]. Opto-Electronic Engineering, 2011,38(5):59-63.)
- [6] 王佳,俞信. 自由空间光通信系统中光脉冲展宽问题的研究[J]. 光学技术, 2009,35(1):80-83. (WANG Jia,YU XIN. The research of pulse stretch in free-space optical communication[J]. Optical Technology, 2009,35(1):80-83.)
- [7] 郭冠军,焦威严,曲士良,等. 脉冲展宽对机载激光扫描仪性能的影响[J]. 光电工程, 2010,37(3):51-55,60. (GUO Guanjun, JIAO Weiyang,QU Shiliang,et al. Effect of pulse spreading on the ranging performance of airborne laser scanner[J]. Opto-Electronic Engineering, 2010,37(3):51-55,60.)
- [8] NAKAZAWA M,YOSHIIDA E,YAMAMOTA T,et al. TDM single channel 640 Gbit/s transmission experiment over 60 km using 400 fs pulse train and walk-off free,dispersion flattened nonlinear optical loop mirror[J]. Electronics Letters, 1998,34(9): 907-908.
- [9] CHAN V,BLOOM S. Results of 150 km, 1 Gbps lasercom validation experiment using aircraft motion simulator[J]. Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1995(2966):60-70.
- [10] 谢登科,徐端颐,齐国生,等. 基于数字移相的高精度脉宽测量系统及其 FPGA 实现[J]. 电子技术应用, 2004(1):27-29. (XIE Dengke,XU Duanyi,QI Guosheng,et al. High precision pulse width measurement system based on digital phase shift method and its implementation method based on FPGA[J]. Electronic Technology Application, 2004(1):27-29.)
- [11] 赵红梅,马琳琳,崔光照. 一种简易的超宽带纳秒级脉冲发生器设计[J]. 现代电子技术,2012,35(19):12-14. (ZHAO Hongmei,MA Linlin,CUI Guangzhao. Design of a simple UWB pulse generating circuit[J]. Computer & Digital Engineering, 2012,35(19):12-14.)

作者简介:



楚现涛(1991-),男,山东省济宁市人,在读硕士研究生,主要研究方向为激光扫描仪。
email:chuxiantao@163.com.

唐 丹(1963-),男,四川省绵阳市人,研究员,主要研究方向为激光雷达。

王 欣(1964-),男,四川省绵阳市人,副研究员,主要研究方向为激光雷达。

杨 浩(1989-),男,四川省绵阳市人,助理研究员,主要研究方向为激光雷达。