

文章编号: 0258-7025(2004)06-0745-04

自触发脉冲飞行时间激光测距技术研究

陈千颂¹, 赵大龙¹, 杨成伟¹, 潘志文², 霍玉晶¹

(¹ 清华大学电子工程系, 北京 100084; ² 深圳大学师范学院物理教育系, 广东 深圳 518060)

摘要 提出了一种新型脉冲激光测距方法——自触发脉冲飞行时间激光测距方法。该方法有效解决了传统脉冲激光测距法中存在的提高测距精度和缩短测量时间两者之间的矛盾。对该方法及本质特点进行了详细描述和理论分析, 并给出用以描述该方法的基本方程。最后, 给出了实验装置, 在 20 m 范围内获得了 0.5 mm 的测距精度。

关键词 光学技术与仪器; 自触发脉冲; 激光测距; 飞行时间

中图分类号 TN 958.98; TM 935.15 **文献标识码** A

Study on Self-Triggering Pulsed Time-of-Flight Laser Rangefinding

CHEN Qian-song¹, ZHAO Da-long¹, YANG Chen-wei¹, PAN Zhi-wen², HUO Yu-jing¹

¹ Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

² Department of Physics Education, Teachers College, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China

Abstract Based on the self-triggering pulsed technique, a novel pulsed time-of-flight laser rangefinding method is proposed to improve the accuracy and measuring speed of laser distance measurement. The theoretical analysis is carried out, and three basic equations are presented to describe the methods. Furthermore, a measurement device is described and experimental evidence is presented to show the feasibility of measuring distance with 0.5 mm resolution over 20 m ranges.

Key words optical technique and instrument; self-triggering; pulsed laser rangefinding; time-of-flight

1 引 言

飞行时间(Time-of-Flight)激光测距在诸如军事、航空和工业等领域有着广泛的应用。激光测距从技术角度可以分为三类:脉冲激光测距、调幅连续波激光测距和调频连续波激光测距^[1]。三者当中,脉冲激光测距具有最高的峰值发射功率,从而具有最远的测程和可以在无合作目标条件下工作等优点。目前,对提高脉冲激光测距技术的研究主要集中在以下三个方面:为时间间隔测量提供稳定而准确的起始和终止脉冲测距信号^[2~4]、时间间隔测量^[5~7]和数据处理。上述研究的目的是为提高测距的精度和缩短测量所需的时间。

脉冲飞行时间激光测距的基本功能单元包括激光发射单元、激光接收单元和时间间隔测量单元。

在传统的脉冲飞行时间测距中,测距原理是基于测量发射的激光脉冲(START)和接收器接收到的返回激光脉冲(STOP)之间的时间间隔 ΔT 。目标距离 D 由下式给出

$$D = \frac{1}{2}c \times \Delta T \quad (1)$$

其中 c 为光速。时间间隔 ΔT 由时间间隔测量单元测量。因此,时间间隔测量精度决定了最终测距精度。在已有的如数字法等时间间隔测量方法中,模拟法的测量精度最高,就其单次测量精度目前可以达到几个皮秒量级(相当于毫米量级测距精度)。但是因为存在不稳定性及非线性等原因,它在实际测距装置中难以实现。当前,脉冲飞行时间激光测距的单次测量精度可以达到厘米量级^[8]。为获得更高精度,可以采取多次测量平均的方法,但是这需要更长

收稿日期:2003-02-20; 收到修改稿日期:2003-04-17

基金项目:国防科技重点实验室基金(项目号:51456050103TW0103)资助项目。

作者简介:陈千颂(1974—),男,清华大学电子工程系博士研究生,主要从事激光测距技术研究。E-mail:chenqs99@mails.tsinghua.edu.cn

的测量时间,从而限制了它的应用范围。

本文提出自触发脉冲飞行时间激光测距法,能够有效克服传统激光脉冲测距方法中存在的提高测距精度和缩短测量时间两者之间的矛盾,可以实现高速高精度测距。

2 理论分析

自触发脉冲飞行时间激光测距是利用激光接收单元的输出信号自行控制激光发射单元,进而触发激光脉冲向测距目标发射,即激光接收单元接收到激光脉冲之后,去触发激光发射单元产生下一个激光脉冲。激光脉冲的发射和接收是循环相关的,这一过程可表示为

$$T_{K+1} = f(T_K, \Delta T) \quad (2)$$

其中 T_K, T_{K+1} 分别为第 K 个和第 $K+1$ 个激光脉冲

发射时刻,函数 f 的具体形式和测量系统有关,它表示第 K 个和第 $K+1$ 个激光脉冲之间的发射时刻关系。不同的系统具有不同函数形式 f 。

从激光发射单元向被测目标发射的是周期激光脉冲序列,可以描述为

$$T_{K+N} = T_K + NT_0 \quad (3)$$

其中 N 为整数, T_0 为发射的激光脉冲序列的周期,其值由公式(2)决定。

自触发脉冲飞行时间激光测距方法可由基本方程(1),(2)和(3)描述。从这三个基本方程,可以得到被测距离的表达式

$$D = F(NT_0, \tau) \quad (4)$$

其中, τ 为由系统延时决定的时间常数,其大小由测量系统的结构和带宽等因素决定, NT_0 为包括 N 个连续周期的待测量时间间隔,函数 F 的形式由测量系统具体结构决定。

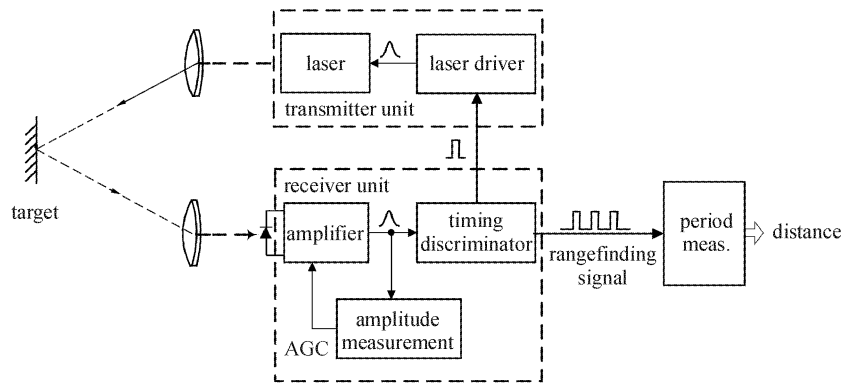


图 1 自触发脉冲飞行时间测距方案框图

Fig. 1 Experimental setup for self-triggering pulsed TOF laser rangefinder

3 实 验

自触发脉冲飞行时间激光测距可以通过多种不同的技术手段来实现。本文所采取的方案是其中较为简单的一种,其结构如图 1 所示,其光电脉冲信号时序图如图 2 所示。发射单元由接收单元输出的电信号所控制,即测距脉冲是由接收单元触发的。开始时,发射单元向被测目标发射一束激光;经过 ΔT (光从发射单元到目标然后返回到接收单元的传播时间)的延时,经被测目标反射的光束被接收单元的光电二极管接收;光电二极管输出的电信号经放大和时刻鉴别后,输出一高电平信号,作为发射单元的输入信号,其间电路延时 t_{11} ;此高电平信号使激光驱动源终止驱动激光器,激光发射单元停止发射激光,其间电路延时 t_{21} ;而后经过 ΔT 的延时,光

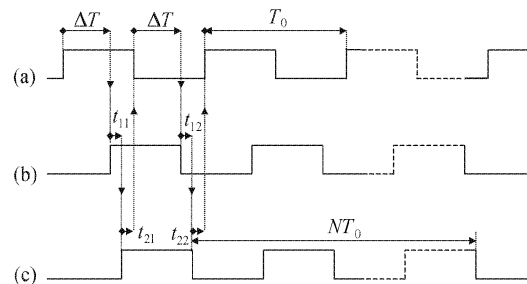


图 2 光电脉冲信号时序图

(a) 发射单元输出的激光脉冲信号;(b) 接收单元接收到的激光脉冲信号;(c) 接收单元输出的电脉冲信号,即发射单元的输入信号

Fig. 2 Representation of the optic-electronic signals in the setup

(a) the laser pulse signal output from the transmitter; (b) the laser pulse signal projected on the receiver; (c) the electronic pulse signal output of the receiver and input to the transmitter

电二极管从有激光接收状态转变为无激光接收状态；再经过 t_{12} 的电路延时，接收单元的输出转变为低电平；此低电平信号使激光器再次发射激光，其间电路延时 t_{22} 。上述过程构成了自触发脉冲飞行时间激光测距的一个完整周期。如此周而复始，就形成了周期激光脉冲序列。该测距信号从接收单元取出，输入到周期测量单元获得周期 T_0 。根据方程(2)，函数 f 有如下的形式

$$f(T_K, \Delta T) = T_K + \Delta T + t_{11} + t_{21} + \Delta T + t_{12} + t_{22} \quad (5)$$

结合方程(1)和(3)，可以推导出该方案的距离方程(4)为

$$D = \frac{c}{4} \left(\frac{T_N}{N} - \tau \right) \quad (6)$$

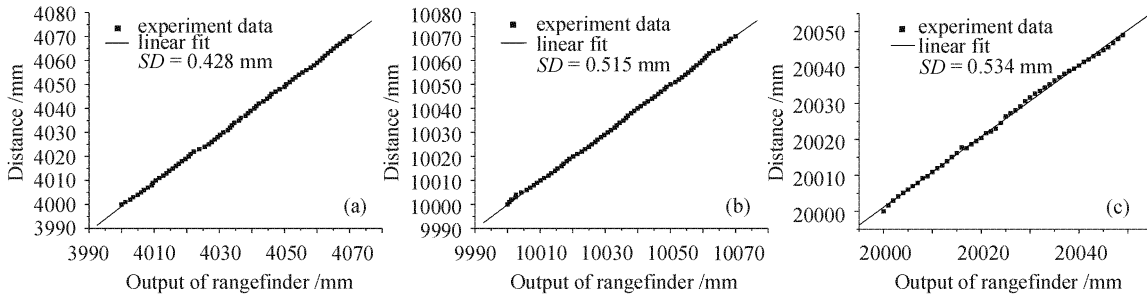


图3 测量数据,绝对距离:(a) 4 m,(b) 10 m,(c) 20 m 处的测量结果

Fig. 3 Experimental data

(a) measurement at 4 m distance; (b) measurement at 10 m distance; (c) measurement at 20 m distance

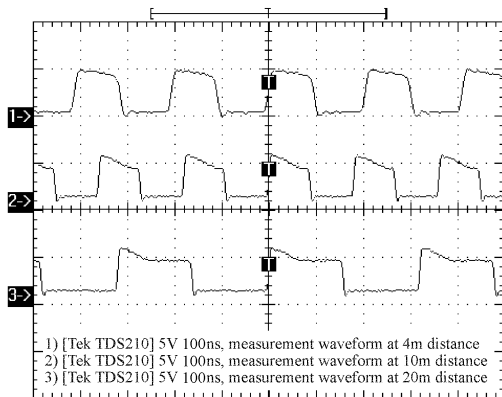


图4 接收单元输出的周期脉冲序列测距信号波形

Fig. 4 Electronic signal waveform output of the receiver

图 2(c)所示是接收单元(图 1)输出的测距信号(周期脉冲序列)，而后经过周期测量单元获得周期 T_0 ，通过距离方程(6) 计算，就可得到被测目标距离值 D 。4 m 处的距离测量结果如图 3(a)所示，从绝对距离 4,000~4,070 mm，以 1 mm 为步长测量了

其中 $T_N = NT_0, \tau = t_{11} + t_{21} + t_{12} + t_{22}$ ，通常情况下 $t_{11} \neq t_{12}, t_{21} \neq t_{22}$ 。在自触发脉冲测距方法中，周期 T_0 可以通过测量一次时间间隔 T_N 后取平均值得到，这其中包括 N 个周期 T_0 ，其精度等效于用传统的脉冲测距方法进行 N 次单次测量后取平均的结果。对比上述两者测量过程，前者仅进行一次时间间隔测量，而后者需要进行 N 次时间间隔测量。由于在脉冲激光测距中时间间隔的测量占用了大部分时间，因此，自触发脉冲测距方法可以在获得高精度测距结果的前提下极大地缩短测量时间，提高测量速度。与其他传统脉冲测距方法相比，自触发脉冲方法的本质特点是脉冲测距信号不是单个而是连续周期性的(图 2)。

71 个点。步长调节通过位移平台完成，调节精度为 $1/120$ mm。对数据进行线性拟合后，可得测量结果的标准偏差 (SD) 为 0.428 mm，也即测距精度值。图 3(b)所示的是距离为 10,000 mm 处的测量结果，其测距精度为 0.515 mm。图 3(c)所示的是距离为 20,000 mm 处的测量结果，其测距精度为 0.534 mm。图 4 所示的分别是在 4 m, 10 m 和 20 m 处进行测量时，接收单元输出的周期脉冲序列测距信号波形，由 TDS 210 型示波器测得，其周期抖动小于 3 ps(对应于约 0.25 mm)。该抖动主要来源于 τ 的抖动，实验中 τ 的绝对值大致为 40 ns。本文中使用的探测器是 Agilent HRBR-2526 Si PIN 管，所用的激光器为波长 650 nm，发射功率 5 mW 的普通多模半导体激光器。

4 结 论

在诸如干涉法测距、三角法测距等众多激光测距方法中，自触发脉冲飞行时间激光测距方法除具

备传统脉冲测距所具有的测量距离远等优点外,还具有测量精度高、速度快、结构简单等优点,有效克服了高精度测量和高速测量之间的矛盾。另外,在相同测量精度和速度的前提下,降低了对时间间隔测量单元(周期测量单元)的测量精度要求。如何提高自触发脉冲激光测距系统的抗干扰能力,使之更具使用化,是今后研究的难点和方向。

参 考 文 献

1 T. Bosch, M. Lescur, B. J. Thompson. Selected Papers on Laser Distance Measurements [C]. MS 115, SPIE Milestone Series (SPIE, Bellingham, Wash., 1995)
 2 M. L. Simpson, M. J. Paulus. Discriminator design considerations for time-interval measurement circuits in collider detector systems [J]. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1998, 45(1):

98~104
 3 W. A. Kielek. Random error in timing using weak light pulse, photomultiplier, and threshold crossing detection [J]. IEEE Trans. Instr. and Meas., 1998, 47(2):543~550
 4 Nourrcier, Circuit and Method for Determining Time of Arrival [P]. U. S. Patent, No. 5726742, Mar. 10, 1998
 5 P. Palojarvi, T. Ruotsalainen, J. Kostamovaara. A new approach to avoid walk error in pulsed laser ranging [J]. IEEE Intern. Sympos. on Circu. and Systems Pro., 1999, I-258~I-261
 6 K. Määttä, J. Kostamovaara. A high-precision time-to-digital converter for pulsed time-of-flight laser radar applications [J]. IEEE Trans. Instr. and Meas., 1998, 47(2):521~536
 7 J. Kalisz, M. Pawlowski, R. Pelka. A multiple-interpolation method for fast and precise time digitizing [J]. IEEE Trans. Instr. and Meas., 1986, IM-35(2):163~169
 8 T. Ruotsalainen, P. Palojarvi, J. Kostamovaara. A wide dynamic range receiver channel for a pulsed time-of-flight laser radar [J]. IEEE J. Solid-State Circuits, 2001, 36(8):1228~1238



• 广 告

	<p style="text-align: center;">上海瀚宇光纤通信技术有限公司</p>					
<p style="text-align: center;">Your Reliable Partner to R&D in Laser Optics and Fiber Optics</p>						
 <p>SLD 系列产品</p>  <p>特种光纤</p>  <p>大功率泵浦</p>  <p>偏振控制产品</p>	<p>上海瀚宇光纤通信技术有限公司是一家专业致力于服务国内光通信领域科研机构,高校,企业的研究人员的专业公司.为国内光通信领域的研究,试验,新产品开发等项目提供支持.</p> <p>上海瀚宇和世界上许多知名公司和大学保持着良好的技术和市场方面的合作,致力于建立面向全球的多渠道合作体系,为国内的光通信领域的研发提供高端的器件和相关产品,从而推进国内光通信领域的进步.</p> <p>上海瀚宇立足于持续提供全球领先的技术和产品,服务的领域包括:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>光纤传感领域</td> <td>光纤激光器领域</td> </tr> <tr> <td>光纤放大器领域</td> <td>激光应用领域</td> </tr> </table> <p>上海瀚宇目前能够提供比较丰富的产品:</p> <p>光偏振控制以及保偏产品系列</p> <p>特种光器件系列</p> <p>特种光纤系列</p> <p>高端光纤激光器, 高端光纤放大器系列</p> <p>高功率泵浦激光器系列</p> <p>普通光无源器件等</p>	光纤传感领域	光纤激光器领域	光纤放大器领域	激光应用领域	 <p>保偏器件</p>  <p>特种光器件</p>  <p>普通光无源器件</p>  <p>高端光纤激光器</p>
光纤传感领域	光纤激光器领域					
光纤放大器领域	激光应用领域					
<p>公司地址: 上海市闵行区剑川路 910 号 2 号楼 3 楼</p> <p>公司电话: 021-54704521; 021-54704615</p> <p>公司邮件: business@shconnet.com.cn</p>		<p>邮政编码: 200240</p> <p>公司传真: 021-54704522</p> <p>公司网站: www.shconnet.com.cn</p>				