

文章编号:1001-5078(2003)05-0339-04

# 单自触发脉冲激光测距技术

陈千颂,赵大龙,秦来贵,杨成伟,霍玉晶  
(清华大学电子工程系,北京 100084)

**摘要:**基于自触发脉冲飞行时间激光测距方法,本文提出并系统性的研究了单自触发脉冲激光测距技术(SSTPLR)。根据不同的单自触发方式,提出了反向单自触发和同向单自触发脉冲激光测距技术。设计了各自的实验测距系统,在 3m 距离范围内,实现了误差分别为 0.96mm 和 0.62mm 的激光测距。

**关键词:**单自触发;脉冲激光测距;飞行时间

**中图分类号:**P225.2 **文献标识码:**A

## The Single-Self-Trigging Pulsed Laser Rangefinding Technology

CHEN Qian-song, ZHAO Da-long, QIN Lai-gui, YANG Cheng-wei, HUO Yu-jing  
(Department of Electronics Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Based on the self-triggering pulsed time-of-flight laser rangefinding method(STPLR), the single-self-triggering pulsed laser rangefinding(SSTPLR) technology is proposed systematically in this paper. According to the relationship of self-triggering signals and rangefinding pulses, SSTPLR is divided into two detailed classes: reverse single-self-triggering and obverse single-self-triggering pulsed laser rangefinding techniques. The rangefinding errors of 0.96mm and 0.62mm are obtained in the range of 3m, using the two SSTPLR techniques respectively.

**Key words:** single-self-triggering; pulsed laser rangefinding; time-of-flight

### 1 引言

为克服传统脉冲激光测距中存在的提高测距精度和缩短测量时间两者之间的矛盾<sup>[1~4]</sup>,文献[5]首次提出了自触发脉冲激光测距方法,并用三个基本方程对其进行了全面描述。该方法比起传统脉冲重复频率测量方法具有更高的测量精度和更快的测量速度,并且有效摆脱了时间间隔测量能力对测距精度的根本限制。本文基于自触发脉冲激光测距方法,提出了另一类自触发脉冲激光测距技术:单自触发脉冲激光测距(SSTPLR)技术。该方法具有自触发脉冲激光测距所具有的上述优点,并且与现有的自触发脉冲激光测距技术<sup>[5]</sup>比较,具有更高的测距信号周期稳定性。

### 2 工作原理和理论分析

单自触发脉冲激光测距(SSTPLR)的激光脉冲

是通过单次自触发形成的,即一次自触发产生一个测距激光脉冲,而测距激光脉冲的宽度由测距系统预先设定。根据自触发电信号与测距激光脉冲的不同关系,进一步提出了两类 SSTPLR 技术:反向单自触发脉冲激光测距(RSSTPLR)和同向单自触发脉冲激光测距(OSSTPLR)。

#### 2.1 反向单自触发脉冲激光测距技术

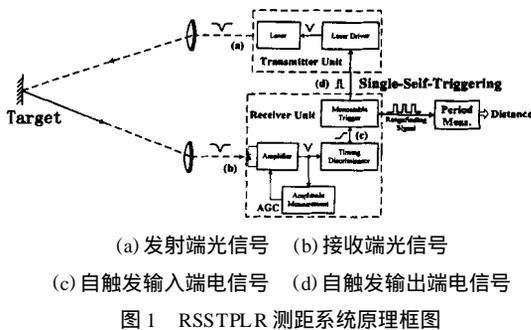
图 1 是 RSSTPLR 测距系统的原理框图,其中接收单元中的单稳态触发器(Monostable Trigger)是用于产生自触发脉冲的。它的触发方式设定为上升

基金项目:本课题受国防科技重点实验室项目资助(51456050/03JW0103)。

作者简介:陈千颂(1974-),男,博士生,主要从事激光测距技术研究。

收稿日期:2003-05-06

沿触发,脉冲宽度由系统预先设定。图 2 为 RSSTPLR 测距过程的光电测距信号时序图。测距过程如下:发射单元 TU 在向目标发射激光的过程中,向目标输出一个无光间歇,如图 2(a)所示;经过空间传播延时  $T$ ,被测目标反射的光束被接收单元 RU 的光探测器接收[图 2(b)];当光探测器接收到此无光间歇后,输出一个反向电脉冲,经放大、时刻鉴别后,向单稳态触发器输出一归一化的反向数字电脉冲[图 2(c)],其间电路延时  $t_1$ ;由于该单稳态触发器是上升沿触发有效,即反向电脉冲的后沿。当该单稳态触发器被触发向 TU 输出一个电脉冲时,延迟时间为  $t_0 + t_2$ ,  $t_0$  为系统预先设定的单稳态脉冲触发器产生脉冲的宽度,  $t_2$  为单稳态触发器本身的响应时间[图 2(d)];TU 接收到自触发电脉冲信号后,经反向自触发过程,使激光器再次输出一个无光间歇。如此发射一个无光间歇-接收-延时-反向自触发-再次发射一个无光间歇就形成了 RSSTPLR 的周期脉冲序列测距信号,该测距信号经周期测量单元 PM 测量得到周期,经数据处理后输出被测距离。



(a) 发射端光信号 (b) 接收端光信号  
(c) 自触发输入端电信号 (d) 自触发输出端电信号  
图 1 RSSTPLR 测距系统原理框图

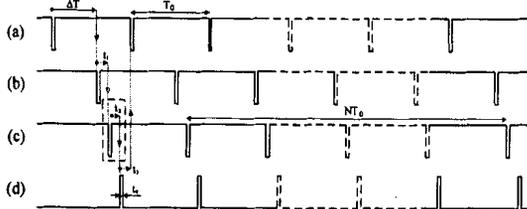


图 2 RSSTPLR 测距信号时序图

用于 RSSTPLR 测距的脉冲信号是无光间歇和反向电脉冲。由单稳态脉冲触发器产生的自触发脉冲[图 2(d)],使发射激光器停止向目标发射激光,对应于无光间歇[图 2(a)]。自触发输出端输出的自触发信号为低电平时,对应于发射单元的激光发射状态;反之,发射激光器被终止发射。定义上述激光发射状态和自触发信号相互依存关系下的自触发

过程为反向自触发。RSSTPLR 测距技术一个优点就是可以自动启动测距。测距系统开始工作后,发射单元 TU 向目标发射一束激光。当接收单元 RU 的光探测器探测到目标的反射光后,其输出从低电平变为高电平,即输出一个上升沿跳变。此上升沿信号随后触发单稳态脉冲触发器产生第一个自触发脉冲信号,通过反向自触发过程,发射激光器发射第一个无光间歇,测距随即自动启动。

从自触发脉冲激光测距 STPLR 的循环相关方程出发,结合 RSSTPLR 的测距过程,可以得到 RSSTPLR 的循环相关方程:

$$T^{K+1} = T^K + T + t_1 + t_0 + t_2 + t_3 \quad (1)$$

其中  $T^{K+1}$  和  $T^K$  分别是第  $K+1$  个和第  $K$  个测距脉冲的发射时刻。测距信号的周期  $T_0$  包括空间传播时间  $T$  和基本电路延时  $t_1$ 、 $t_2$  和  $t_3$  之外,还包括自触发脉冲宽度  $t_0$ 。

RSSTPLR 测距信号的周期由光电脉冲信号在其光电测距回路中传播一周形成,被测距离  $D$  可以表示为:

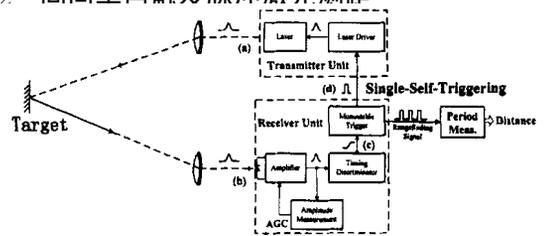
$$D = \frac{1}{2} c \times T \quad (2)$$

由式(1)和(2),可以得到 RSSTPLR 的距离方程:

$$D = \frac{c}{2} \left( \frac{T_N}{N} - \right) \quad (3)$$

其中周期测量取样时间间隔  $T_N = NT_0$ , 系统延时  $= t_1 + t_0 + t_2 + t_3$ 。

### 2.2 同向单自触发脉冲激光测距



(a) 发射端光信号 (b) 接收端光信号  
(c) 自触发输入端电信号 (d) 自触发输出端电信号  
图 3 OSSTPLR 测距系统原理框图

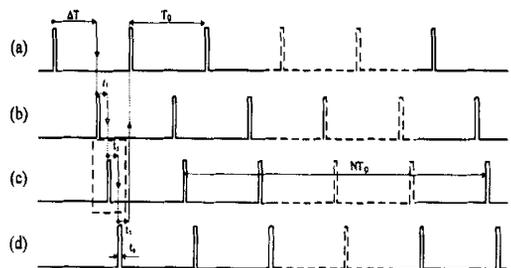


图 4 OSSTPLR 测距信号时序图

相对 RSSTPLR 测距技术而言,OSSTPLR 测距

技术的特点是:用于测距的脉冲信号是激光脉冲而不是无光间歇;自触发为“同向自触发”而不是反向自触发。由单稳态脉冲触发器产生的自触发脉冲[图 4(d)],驱动发射激光器向目标发射一个激光脉冲[图 4(a)]。所谓“同向自触发”是相对于反向自触发而言的,它指自触发输出端输出的自触发信号为高电平时,则发射激光器向目标发射激光;反之,发射激光器不发射激光。

OSSTPLR 测距系统的原理框图如图 3 所示。图 4 是其对应的测距信号时序图。测距过程如下:发射单元 TU 向被测目标发射一个激光脉冲[图 4(a)];经过  $T$  的空间传播延时,经被测目标反射的光束被 RU 的光探测器接收[图 4(b)];光探测器输出一个电脉冲,经放大、时刻鉴别后,向单稳态触发器输入一个归一化的数字电脉冲[图 4(c)],其间电路延时  $t_1$ ;单稳态触发器被该电脉冲的前沿(上升沿)触发后向 TU 输出一个自触发电脉冲,其间延时为  $t_2$ [图 4(d)];TU 接收到自触发电脉冲信号后,经同向自触发过程,使发射激光器再次发射一个激光脉冲。这样发射-接收-延时-同向自触发-再次发射就形成了 OSSTPLR 的周期脉冲序列测距信号,该测距信号经周期测量单元 PM 测量得到周期,经数据处理后输出所需距离。

OSSTPLR 测距系统开始工作后,发射激光器是处于关闭状态的。此时无法象 RSSTPLR 一样通过光探测器接收反射光来自动产生第一个自触发脉冲和第一个测距脉冲信号。因此,OSSTPLR 测距系统的启动需要通过一个外加信号,触发单稳态脉冲触发器产生一个起始自触发脉冲信号启动测距。

通过上面的分析,同样可以得到 OSSTPLR 的循环相关方程:

$$T^{K+1} = T^K + T + t_1 + t_2 + t_3 \quad (4)$$

从上式中可以发现,OSSTPLR 的测距信号周期  $T_0$  不包括脉冲宽度,脉冲宽度被“淹没”于其它延时之中。

OSSTPLR 的被测距离  $D$  也可表示为(2)式,结合式(4),可以得到 OSSTPLR 的距离方程:

$$D = \frac{c}{2} \left( \frac{T_N}{N} - \right) \quad (5)$$

其形式与(3)一致,但此处的系统延时  $T = t_1 + t_2 + t_3$ ,不包括脉冲宽度  $t_0$ 。

### 3 实验

图 5 为测距实验装置及测距示意图。其中被测目标由高反平面镜、5 维调节架和位移平台组成;毛

玻璃用于扩大接收光斑,以减小光探测器接收到的发射光功率,以提高系统稳定性。发射激光器选用 5mW、650nm 多模半导体激光器,光探测器采用 Agilent HFBR - 2526PIN 管。使用 Agilent 53131A 计数器测量测距信号的周期, Tektronix TDS210 示波器观测测距信号波形。由光接收和光发射构成 RSSTPLR 或 OSSTPLR 的核心功能模块。

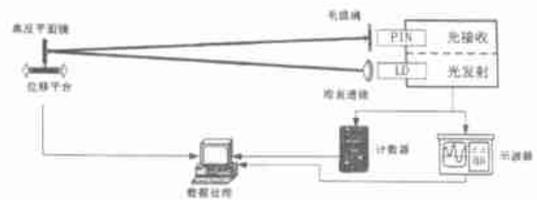


图 5 测距实验装置及示意图

实验分稳定性测量实验和距离测量实验两部分。稳定性测量主要测试测距系统的时间稳定性,以 2min 为步长,连续测量 16 个时间点,得到稳定性曲线  $W$ 。图 6 为 RSSTPLR 在 3m 处的稳定性测量结果,横坐标为时间点,纵坐标为测距信号周期。周期抖动的标准偏差为 1.18ps,此处相当于 0.15mm。同样,对 OSSTPLR 测距系统在 3m 处进行稳定性测量,得到其周期抖动的标准偏差为 1.50ps,相当于 0.23mm。

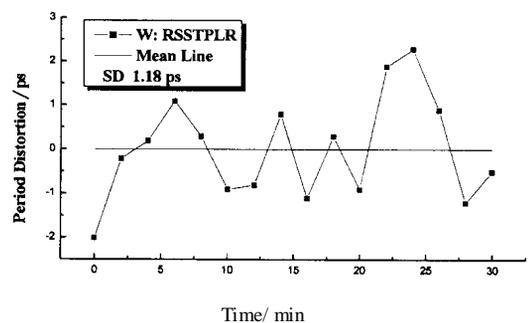


图 6 RSSTPLR 稳定性测量(3m)

图 7 为 RSSTPLR 在 3m 处的距离测量结果,纵坐标表示实际距离值  $D_{real}$ 。利用位移平台调节,调节步长为 1mm,调节精度为 1/120mm。从 3000mm 到 3050mm,测量了 51 个点。横坐标是测得距离值  $D_{out}$ 。  $L_{Dout}$  为测量数据点,它反映了测得距离值与实际距离值的对应关系。直线(Corrected Range-Line)为对测量数据进行线性回归分析处理得到的距离测量直线,对应的距离方程为:

$$D_{out} = 3000 + \frac{1}{7.63602} (T_0 - 99984.09) \quad (6)$$

利用该距离方程,可以通过测得的测距信号周期  $T_0$

**FC CASTECH®**  
**福建福晶科技有限公司**

全球唯一的LBO晶体专利拥有者

持续改善质量体系 提升顾客满意度

福晶公司是国际著名的光电高科技企业,于1988年由中科院福建物质结构研究所创立,2002年改制成为股份有限公司。主要从事应用于激光及光纤光源器件的晶体材料及其光学元器件的研发,加工与销售业务。非线性光学晶体LBO是一种在国际上被广泛应用于各种工业、科研用途激光器中的优良晶体,福晶公司在中国、美国和日本拥有LBO专利权。任何其他公司未经许可在上述地区生产、销售LBO晶体器件,或在产品中使用了非福晶公司生产、销售的LBO器件的行为,均构成侵权行为。福晶公司将保留追究相关法律责任。目前,福晶公司是美国并授权其他任何公司、组织或个人,在各种有关场合,以任何形式与福晶公司建立联系。福晶公司也是美国最大的、良BBO和Nd:YVO<sub>4</sub>、KTiOPO等晶体供应商。

**Nd:YVO<sub>4</sub> & KTP胶合晶体**  
目前市场上热销的激光二极管泵浦的低功率绿光激光器(DPSS LASER)中,该晶体是其核心部件。

**其他各类晶体**  
本公司提供以下各种优质的不同用途晶体:  
非线性晶体: LBO, BBO, KTP, KDP, LiNbO<sub>3</sub>等;  
激光晶体: Nd:YVO<sub>4</sub>, Nd:YAG, Ti:Sapphire等;  
声光晶体、电光晶体、光学元器件、及光纤光源器件等。

**LBO器件**

中国专利号: 88 1 02084.2  
美国专利号: 4,826,283  
日本专利号: 2023845

**联系方式:**  
联系人: 陈秋华, 余养祝  
地址: 福建省福州市杨桥西路155号  
联系电话: 0591-3710533 (3791703)  
传真: 0591-3711593  
电子邮箱: castech@public.fz.fj.cn sales@castech.com  
网页: www.castech.com

来求得距离  $D_{out}$ 。令距离测得值  $D_{out}$  与实际距离值的差的标准偏差 SD 为距离测量误差,此处为 0.96 mm。采用相同的距离测量实验和数据处理方法,可以得到 OSSTPLR 在 3m 处的距离测量误差为 0.62mm。

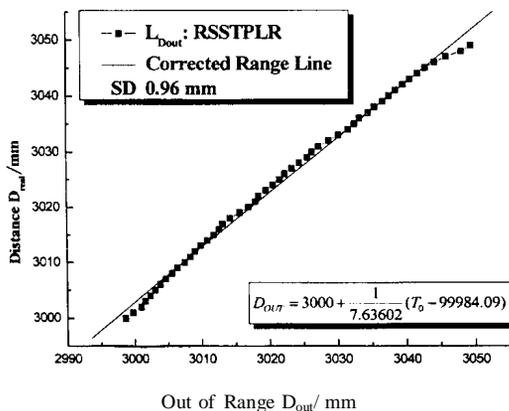


图7 修正后的距离测量曲线

#### 4 结论

本文首次提出了两类单自触发脉冲激光测距技术:反向单自触发脉冲激光测距技术和同向单自触发脉冲激光测距技术,并对它们进行了理论分析,给出了各自的距离方程。设计了实验测距系统,进行

了稳定性测量和距离测量实验,得到了修正后的距离方程。在距离为 3m 处得到距离测量误差分别为 0.96mm 和 0.62mm 的测量结果。单自触发脉冲激光测距技术具有高精度高速测量的优点,适用于几米到几十米的近距离大尺寸测量。实现测距系统的仪器化,提高环境抗干扰能力是进一步研究的方向和重点。

#### 参考文献:

- [1] T Bosch, M Lescure, eds. Selected Papers on Laser Distance Measurements[C], Vol. MS 115 of SPIE Milestone Series (SPIE, Bellingham, Wash., 1995).
- [2] 陈千颂, 杨成伟, 潘志文, 等. 激光飞行时间测距关键技术进展[J]. 激光与红外, 2002, 32(1): 7 - 10.
- [3] 霍玉晶, 陈千颂, 潘志文. 脉冲激光雷达的时间间隔测量综述[J]. 激光与红外, 2001, 31(3): 136 - 139.
- [4] T Ruotsalainen, P Paloj-rvi, 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.
- [5] 陈千颂, 赵大龙, 秦来贵, 等. 自触发脉冲飞行时间激光测距技术研究[J]. 中国激光. (已录用)