脉冲激光测距时刻鉴别方法的研究

纪荣祎 赵长明 任学成 (北京理工大学光电学院,北京 100081)

摘 要:介绍了一种用于脉冲激光测距技术的双阈值前沿时刻鉴别方法。分析了由接 收信号幅度变化引起的计时误差。采用双阈值前沿时刻鉴别方法产生了飞行时间测量 的停止信号和与幅度相关的时间点信号。使用高精度时间测量芯片测量了脉冲信号飞 行时间和信号幅度相关的时间间隔,并对由时刻鉴别器产生的漂移误差进行了修正, 获得了误差为±3cm 的测距结果。与其它时刻鉴别方法相比,该方法无需增益控制, 其电路结构简单,动态范围宽,而且在脉冲幅度饱和后仍能对漂移误差进行修正。

关键词:脉冲测距;时刻鉴别;时间间隔测量;漂移误差

中图分类号: TP249 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.11.008

Study of Timing Discriminator for Pulsed Laser Rangefinder

JI Rong-yi, ZHAO Chang-ming, REN Xue-cheng

(College of Photo-electricity Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: A dual threshold leading edge timing discrimination method for pulsed laser ranging is presented. The timing error caused by the amplitude variation of the received pulse is analyzed. The dual threshold leading edge timing discrimination method is used to generate a stop signal for flight time measurement and a time point signal related to the pulse amplitude. A high-precision interval measuring chip is used to measure the actual flight time of the laser pulse and the time interval related to the pulse amplitude and is also used to compensate the drift error caused by the timing discrimination. As a result, the ranging precision of ± 3 cm is obtained. Compared with other timing discrimination methods, this method has the features of no AGC unit, simple circuit structure and wide dynamic range. Moreover, it can still compensate the drift error even when the pulse amplitude is saturated.

Key words: laser rangefinding; timing discrimination; time interval measurement; drift error

1 引言

脉冲激光测距技术是通过使用具有低发散性的激光脉冲光束来对远距离目标进行非接触 式测量的。通过测量激光脉冲的飞行时间(TOF) 可获得距离信息。与相位测距相比,脉冲激光测 距具有可通过单次测量获得距离信息和可测量 动态目标距离信息的优势;同时,激光脉冲的峰 值功率更高,在没有合作目标的情况下,它可测 量更远的距离。这些特性使脉冲激光测距在军 事、工业、民用、工程和交通领域有着广泛的应 用^[1]。

收稿日期: 2010-06-21

基金项目: 国防科技工业技术基础科研项目 (J172009C001)

INFRARED (MONTHLY)/VOL.31, NO.11, NOV 2010

作者简介:纪荣祎(1984-),男,陕西富平人,博士研究生,主要从事三维扫描激光探测系统方面的研究。E-mail: xiaoxiao8673@163.com

脉冲激光测距的基本原理如图 1 所示。触发 信号驱动激光器产生激光脉冲,激光脉冲再通 过准直光学系统发射到目标上。光电探测器接收 一部分返回的信号光,产生电脉冲信号,然后接 收通道对其进行放大和时刻鉴别,产生一个用 来标志光信号返回时间的逻辑脉冲。时间间隔 测量部分 (TDC) 获得触发信号和接收通道的输 出脉冲,测出它们之间的时间间隔。由式 (1) 便 可计算出所测得的距离数据。

$$R = \frac{1}{2}c\Delta t \tag{1}$$

由式(1)可知,距离测量精度是由时间间隔测量 的计时精度决定的^[2]。为了获得高的计时精度, 必须对触发信号和接收通道的输出信号进行时 刻鉴别。



图 1 脉冲激光测距的基本原理图

时刻鉴别的实现方法一般有前沿鉴别法和 恒定比值鉴别法两种。前沿鉴别法将输入信号 与固定的阈值电压进行比较,并使用比较器判 断过阈时间,这样可以简单而快速地鉴别时间 点。恒定比值鉴别法首先对输入信号分别进行线 性衰减和延迟,再通过比较器判断过阈时间,然 后以恒定比值获得不受幅度变化影响的计时信 号。前沿鉴别法只关心输入信号前沿是否过阈 值点,信号的动态范围宽,但会由于信号幅度变 化而产生漂移误差。恒比鉴别法可消除漂移误 差,但须对输入信号进行线性处理,这会限制接 收通道的动态范围,而且其信号处理过程复杂。

本文介绍一种双阈值前沿时刻鉴别方法, 它可修正由幅度变化引起的漂移误差,扩大信 号动态范围,从而提高测距精度。

2 漂移误差的产生及分析

前沿时刻鉴别法通过恒定的阈值电压对输

http://journal.sitp.ac.cn/hw

入脉冲进行时刻鉴别。由于接收到的激光脉冲 信号的功率变化和电路本身的非理想性,前沿 鉴别法会产生由输入脉冲的幅度变化引起的漂 移误差。在图 2 中,漂移误差由两部分组成:第 一部分 t_g,由输入脉冲过阈值的时间点变化引 起,称作几何漂移误差;第二部分 t_{RC},由比较器 输出信号的延迟引起,称作 RC 延迟误差^[3,4]。

我们可以使用脉冲信号线性化模型对漂移 误差进行估算,如图 3 所示^[5]。



图 2 前沿鉴别漂移误差的示意图



(a) 几何误差模型



(b) RC 延迟误差模型图 3 前沿鉴别误差估算的简化模型

在图 3(a) 中, V_{th} 为阈值比较电压, v_{p1} 和 v_{p2} 为两个输入脉冲信号的幅度, V_{clip} 为放大器饱和时脉冲信号被截断的电压, t_r 为脉冲信号上升沿, 两个脉冲的鉴别时间点的变化为

$$\Delta t_{p} = \frac{V_{th}}{v_{p2}} t_{r} - \frac{V_{th}}{v_{p1}} t_{r} = \left(\frac{1}{v_{p2}} - \frac{1}{v_{p1}}\right) V_{th} t_{r} \qquad (2)$$

INFRARED (MONTHLY)/VOL.31, NO.11, NOV 2010

红 外

由式 (2) 可知, 当阈值 V_{th} =100mV, 上升时 间 t_r =3ns, 输入信号的幅度为 200mV ~ 3V 时, 产生的几何漂移误差为 1.4ns。在实际应用中, 输入脉冲的最大幅度会更大些,因此时间点的 几何漂移误差可估算为 1.5ns。几何漂移误差可 通过降低阈值和减小上升时间来减小。

漂移误差的第二部分是由比较器的电路延迟引起的,比较器有限带宽的 RC 参数是其中的 主要原因。在图 3(b)中,当输入信号为 v_p时, 输出信号波形 v_{out} 为

$$v_{out} = v_p \left[1 - e^{-t/(RC)} \right] \tag{3}$$

式中, *RC* 是与带宽相关的时间常数。使用式 (3) 计算过阈值点的延迟: 当 *RC* =1.4ns (对应于 116MHz 带宽), *V_{th}* 为 100mV,最大输入信号幅 度为 3V 时,最小延迟为 47ps;最大延迟在最小 输入信号时产生,为 1.4ns。

结合以上分析可知, 漂移误差是输入信号 幅度的函数。

3 漂移误差的修正

由式 (2) 和式 (3) 可知, 漂移误差的产生与 输入脉冲信号的幅度有关。因此, 我们可使用脉 冲幅度信息对产生的漂移误差进行修正。

在图 4(a) 中,不同幅度的脉冲信号对应于 不同的上升沿斜率,因此可将对脉冲幅度的测 量转换为对上升沿斜率的测量。使用阈值 V_{th1} 和 CV_{th1} 对输入信号的上升沿进行鉴别。不同幅度 的输入脉冲信号 A₁ 和 A₂ 在双阈值之间的时间 间隔可由下式分别计算出来:

$$\Delta t = \frac{CV_{th1}}{v_p} t_r - \frac{V_{th1}}{v_p} t_r = \frac{(C-1)V_{th1}}{v_p} t_r \qquad (4)$$

式中, v_p 为信号幅度, t_r 为信号上升沿。式(4) 表明,当脉冲的上升时间和两个阈值确定时,输 入信号的幅度与双阈值之间的时间间隔 Δt 成反 比,且具有严格的数值关系。因此,可以通过测 量双阈值之间的时间间隔来修正漂移误差^[6]。

双阈值前沿时间测量系统由两个阈值比较 单元和一个时间测量单元组成,其结构框图如 图 4(b) 所示。

Infrared (monthly)/Vol.31, No.11, Nov 2010

当接收通道输出的信号幅度为 200mV ~ 3V, 阈值为 V_{th1} =100mV,上升时间 t_r =3ns 时,无修正时的漂移误差如图 5 所示。令 CV_{th1} =200mV,在同样的条件下,由式 (4)可得到信号幅度与时间间隔 Δt (STOPtr-STOP)的关系 (见图 5)。



(a) 补偿原理的波形示意图



(b) 系统结构框图

图 4 双阈补偿原理及其系统的结构组成



在图 5 中,最大计时漂移误差可达 2.7ns, 对应的距离误差为 80cm 左右。同时,可根据信 号幅度与时间间隔 Δt (STOPtr-STOP)的关系曲 线对漂移误差进行修正。

4 实验结果及分析

用 SPL-LL90 脉冲半导体激光器产生用于距

离测量的脉冲宽度为 8ns、上升沿时间为 3ns 的 激光脉冲。然后用可变光学衰减器控制接收器 接收的激光信号,以模拟由距离和目标反射率 引起的功率衰减。

当测量距离为 20m 时,接收通道输出的脉冲 信号的幅度为 3.2V 左右。用光学衰减器将接收 通道输出的信号幅度从 200mV 逐步控制到 3V, 同时进行测距实验。

在不同的脉冲信号幅度下,对相同距离进 行了测量,测得的结果如图6所示。



图 6 未修正的测距结果曲线

由图 6 可知, 当未进行修正时, 漂移误差对 测距结果有很大影响, 最大误差为 0.8m 左右。

用双阈值前沿鉴别法测量了信号上升沿时 间间隔变化,对漂移误差进行了修正。修正后的 测距结果曲线如图 7 所示。



图 7 时间域修正后的测距结果曲线

由图 7 可知, 修正后的漂移误差明显减小, 测量距离分布在 20.05m ~ 19.98m 之间, 有效地 修正了由信号幅度变化引起的漂移误差。此外, 残余误差与时间间隔测量芯片的测量分辨率和 电信号的抖动有关。本设计使用的时间间隔测量芯片的最小分辨率为 65ps,给飞行时间间隔的测量和时间域修正带来了 130ps 的残余误差;同时,电信号的抖动也使得测量结果在一定范围内发生变化,因此造成了 ± 3cm 左右的测距误差。

5 总结

本文介绍了一种使用误差修正的双阈值前 沿时刻鉴别法。由实验结果可知,它对由输入信 号幅度变化引起的漂移误差具有明显的修正作 用,可将测距误差减小至±3cm左右,而且对接 收通道的动态范围没有限制,可在宽动态范围 内进行修正。同时,时间间隔测量单元的最小分 辨率对飞行时间测量和漂移误差修正有一定的 影响。为了获得更高的测量精度,必须采用分辨 率更小的时间间隔测量方法。

参考文献

- 张在宣,陈庆根,余向东,等.小型低值 LD 激光 测距仪的测距能力与系统的信噪比 [J]. 光子学报, 1998, 127(10): 944–947.
- [2] 吴刚,李春来,刘银年,等.脉冲激光测距系统中 高精度时间间隔测量模块的研究 [J]. 红外与毫米 波学报, 2007, 26(3): 213-221.
- [3] P Palojärvi, T Ruotsalainen, J Kostamovaara. A 250-MHz BiCMOS receiver channel with leading edge timing discriminator for a pulsed time-of-flight laser rangefinder [J]. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2005, **40**(6): 1341–1349.
- [4] R J Plassche, P Baltus. An 8-bit 100-MHz full-Nyquist analog-to-digital converter [J]. *IEEE Solid-State Circuits*, 1988, **23**(6): 1334–1344.
- [5] Rudy J van de Plassche. CMOS Integrated Analogto-Digital and Digital-to-Analog Converters [M].
 Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [6] Nissinen J, Kostamovaara J. A 0.13μm CMOS Laser Radar Receiver with Leading Edge Detection and Time Domain Error Compensation [J]. *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2009: 900–903.