

·光电探测·

一种提高脉冲激光测距精度的方法

朱福, 林一楠

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:在介绍脉冲激光测距原理的基础上,分析了影响脉冲激光测距精度的两种主要原因,脉冲时刻鉴别误差和时间间隔测量误差对测距精度的影响。指出了针对这两种原因的解决措施,介绍了采用高通容阻时刻鉴别法和差分延迟线法时间测量等技术,实现较高的测距精度的方法,对其工作原理作了介绍。

关键词:脉冲激光测距;时间间隔测量;高通容阻时刻鉴别;差分延迟线

中图分类号:TN247

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)02-0042-03

Method to Improve Accuracy of Pulse Laser Ranging

ZHU Fu, LIN Yi-nan

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The principle of pulse laser ranging is introduced, the two main reasons such as pulse time discrimination error and time interval measurement error, which affect the pulse laser ranging accuracy are analyzed. Aiming at the solution of above two reasons, a higher accuracy method is provided, which uses CR-high pass time discrimination and differential delay line time interval measurement, and its working principle is introduced.

Key words: pulse laser ranging; time interval measurement; CR-high pass time discrimination; differential delay line

目前的激光测距从工作机理上分主要有脉冲激光测距体制和连续波激光测距体制。脉冲激光测距体制是通过直接测量光脉冲发出的时间和光脉冲返回的时间并进行计算得到距离的方法,可以具有较高的脉冲峰值功率,适用于中长距离的测量;连续波激光测距体制,一般采用较低的激光功率,被测对象处有合作目标,适用于中短距离的测量。脉冲激光测距系统结构较为简单,使用方便,因此应用比较广泛。

测距精度是激光测距机的重要技术指标之一,在对精度要求不高的情况下,比如米量级,不需要采取任何技术手段,只需采用普通的直接计数法就可以实现,其精度取决于计数的时钟频率。在时钟频率已经很高的情况下,要使测距精度进一步提

高,比如到厘米量级以下,则必需采取一些技术手段方可实现。文中就其中比较重要的问题和解决方法进行了探讨。

1 脉冲激光测距的基本原理

脉冲激光测距的过程一般是用激光器向待测目标发射激光脉冲,并用一个探测器对发射的激光脉冲进行采样,以触发测距机的时间测量系统开始计时,光脉冲到达目标后经漫反射返回到激光测距机的探测器,产生信号停止计时,然后根据光速计算出目标距离的方法。基本公式为

$$D=ct/2 \quad (1)$$

式中, D 为探测器到探测目标之间的距离; t 为激光

收稿日期:2011-01-24

基金项目:国家部委基金项目

作者简介:朱福(1973-),男,江苏靖江人,硕士,主要研究方向为光电技术应用。

脉冲往返经过的时间; c 为光速。可以看出,脉冲式激光测距中距离测量的问题转化为激光脉冲飞行时间测量的问题。

2 影响脉冲激光测距精度的主要因素

2.1 脉冲时刻鉴别误差因素

对于脉冲激光测距系统,影响测量精度的因素可以分为外部因素和内部因素两类。外部因素主要是指大气折射率的变化等,这部分因素不可控;内部因素主要是指由于测距系统自身的因素,包括系统带宽、脉冲时刻鉴别^[1,2]、时间测量精度等,这些因素可以通过合理的设计,避免或消除其影响,从而提高测距精度。

在激光测距机的信号处理系统中,用来确定计时开始和结束的信号是光电转换器的输出信号,是模拟量,需转换成数字电路中的脉冲信号才能用来触发计时系统工作。通常采用的转换方法是单一阈值法,即把输入信号与一个固定的阈值进行比较,以阈值点作为脉冲时间的参考点。由于激光脉冲是钟形脉冲,而且受激光传输距离和目标反射率等影响有较大的幅度变化,采用的单一阈值的鉴别方法会在激光脉冲幅度变化时产生误差 Δt ,对测量精度造成很大的影响,见图1。在高精度的激光测距中,脉冲时刻的鉴别是一个必需考虑的问题。

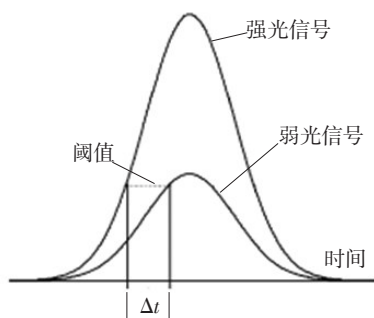


图1 单一阈值时间鉴别示意图

2.2 时间间隔测量精度因素

对于脉冲信号时间间隔的测量^[3-7],普通的测量系统中主要采用直接计数法,提高测量精度的方法是提高计数时钟频率。但电路的工作频率并不能无限提高,目前普通电路只能达到纳秒级的精度,若要在更高的时钟频率下工作,由于电路分布参数效应的影响,准确性难以保证。要想进一步提

高测量精度,就要采用一定的技术手段,来达到与提高时钟频率相当的效果。如图2所示,总的时间 $t=nT-t_s+t_e$ 。式中, n 是计数值; T 是时钟周期; t_s 是由于把第一个计数周期都看作完整周期而多出来的时间; t_e 是在结束前被计数系统丢掉的时间。要想进一步提高测量精度,就要把 t_s 和 t_e 精确测量出来。因为 $t=nT+(T-t_s)-(T-t_e)$, $(T-t_s)$ 和 $(T-t_e)$ 都是以探测器信号为起点的信号,便于数字电路处理,所以可以先测量 $(T-t_s)$ 和 $(T-t_e)$,然后计算出 t_s 和 t_e 。

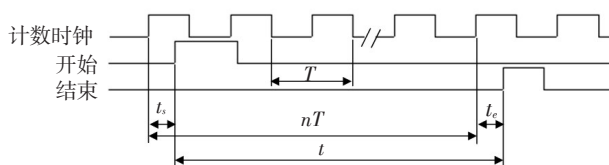


图2 时间测量时序图

3 提高脉冲激光测距精度的措施

3.1 高通容阻时刻鉴别法

激光脉冲经远距离传输和反射后,脉冲的幅值会改变,但脉冲峰值点的时刻不变,为了消除单一阈值脉冲时刻鉴别所带来的误差,可以选用一种检测脉冲峰值点的方法,高通容阻鉴别法就是这样一种方法。如图3所示,接收通道输出的脉冲信号通过一个高通的容阻滤波电路,由于微分效应,钟形脉冲变成近似正弦波,极值点变为零点,以此作为起止时刻点,将不受脉冲幅值的影响。采用此方法时,由于时刻鉴别所带来的误差大约为 ± 3.5 ps(对应0.5 mm的测距精度)。

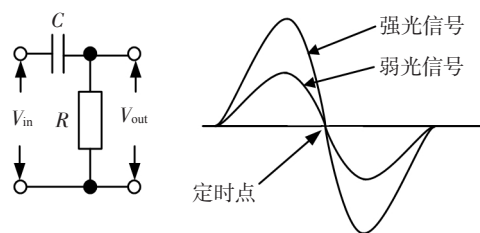


图3 高通容阻时刻鉴别法

此外还有恒定比值鉴别法,其原理主要是利用在脉冲波形形状不变时,脉冲上升沿相同幅度比例点对应的的时间不变原理,获取脉冲的固定比值点来定时,从而提高测距精度^[2]。

3.2 差分延迟线法

差分延迟线法是随着近年来大规模集成电路

的发展而产生出来的精确测时方法之一。在早期,用导线来实现延迟,为了实现高精度测量,需要很长的导线,以至于这个技术无法推广。随着大规模集成电路的发展,这种方法被移植到集成电路里,能够采用内部的某些电路元件作为延迟线,才使得这种方法具有实用性。得到迅速推广。此外还有抽头延迟线法,也是可以在大规模集成电路内实现的一种高精度时间测量方法,由于只使用一种延迟线对时间进行细分,因此精度较低。差分延迟线法的工作原理类似于游标法,也称作游标延迟线法,采用两种延迟线的差来对时间进行细分,因此可以达到更高的测量精度。

经过高通容阻时刻鉴别所确定的脉冲时间间隔,可以采用时序分割电路把开始和结束两个时间段($T-t_s$)和($T-t_e$)分割出来,中间部分仍用直接计数法进行测量, ($T-t_s$)和($T-t_e$)段采用差分延迟线法进行测量,以提高测量精度。

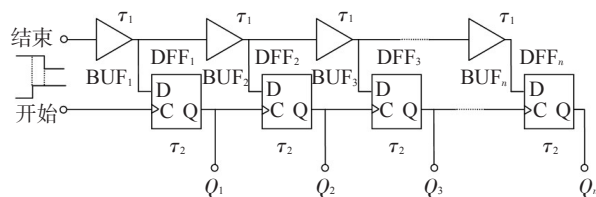


图4 差分延迟线法电路结构

如图4所示,两组延迟线分别由一组缓冲器 $BUF_1 \sim BUF_n$ 和一组D触发器 $DFF_1 \sim DFF_n$ 构成,缓冲器的延时为 τ_1 ,D触发器的延时为 τ_2 , $\tau_2 > \tau_1$,结束信号的传输速度大于开始信号的传输速度。在测量过程中,开始信号的上升沿和结束信号的下降沿分别在两条延迟线上传输,在经过若干级传输以后,结束信号超过开始信号,后面的D触发器不再翻转,开始信号停止传输。D触发器的另一个作用是输出采样结果。如果有 m 个D触发器翻转,即可计算出开始到结束信号之间时间间隔为 $m \times (\tau_2 - \tau_1)$,延迟线级数 n 满足 $n \times (\tau_2 - \tau_1) = T$ 。可见时间测量系统的分辨率由 T 提高到了 $\tau_2 - \tau_1 = T/n$ 。

由于CPLD和FPGA结构上的不同,采用CPLD和FPGA来实现这样的延迟线时有所区别,CPLD的连续式布线结构决定了它的时序延迟是均匀的、可预测的,而FPGA的分段式布线结构决定了其延迟的不可预测性^[8]。在采用FPGA时,为了减小逻辑单元连线所带来的延迟,这部分电路需要采取人

工布局、布线并锁定的手段来实现。不同速度等级的器件,其基本单元的延迟也不一样,因此在选用一种逻辑器件后,要先测出其基本单元的延时参数,再根据主计数时钟确定差分延迟线的级数。

4 试验验证

时间测量部分采用Altera公司的MAX II系列CPLD EPM570T10015进行试验。经测定,LCELL缓冲器的延迟为280 ps,D触发器的延迟为1 ns, τ_1 采用3级LCELL,可得 $\tau_2 - \tau_1 = 160$ ps,可使测距精度达到2.4 cm。因为不同型号的器件的延时参数不相同,因此在选取某些更高速的器件时,可以获取更小的 τ ,从而达到更高的精度。如果采用ASIC器件,时间分辨率可达到20~30 ps,可使激光测距机的精度达到0.3~0.45 cm。试验表明,使用高通容阻时刻鉴别和差分延迟线法时间测量两项关键技术,可以在不提高时钟频率、不增加额外定时芯片的情况下,使脉冲激光测距的精度大幅提高。

5 结束语

对于时间测量,目前已出现了基于延迟线原理的专用高精度计时芯片TDC-GPx,分辨率可达到65 ps,使用这种芯片,可使测距精度达到0.98 cm。除了上面介绍的差分延迟线法和抽头延迟线法外,还有时间间隔扩展法、时间幅度转换法、游标法等,也都可达到20~30 ps的时间测量精度,但其实现过程均比较复杂。时间间隔扩展法采用电容充放电原理,精度高的采用恒流源,但都存在非线性大,转换时间长,受温度、电压等的影响较大,已不常用,时间幅度转换法采用A/D转换代替了时间间隔扩展法中的放电过程,使测量时间缩短,但仍存在非线性难以消除的问题。游标法采用了游标卡尺的工作原理,需要两个高精度的可启动的振荡器,实现难度很大,其应用也很少。还有一种称作并行计数法的方法,其实质是抽头延迟线法。在实际设计中应根据系统需求选用合适的方法。

参考文献

- [1] 马业伟,赵尚弘,蒙文,等.激光测距信号内插法研究[J].现代电子技术,2007(2):171-173.
- [2] 文暄,邓甲昊,李月琴.脉冲激光高精度测距的数据处理方法研究[J].红外与激光工程,2009,36(S):150-153.

(下转第52页)

- detectivity dilute nitride strained layer superlattice detectors for LWIR and VLWIR applications[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2009, 52:310-316.
- [30] Seung-Hwan Kim, Sheng S Li. Theoretical investigation of InAs/GaInSb type-II superlattice. infrared detectors for longwavelength and very longwavelength infrared applications[J]. *Physica E*, 2003 (16):199-208.
- [31] M Razeghi, Y Wei, A Hood, et al. Type II Superlattice Photodetectors for MWIR to VLWIR Focal Plane Arrays[C]//SPIE, 2006, 6206:62060N(7页).
- [32] G J Brown, F Szmulowicz, K Mahalingam, et al. Recent Advances in InAs/GaSb Superlattices for Very Long Wavelength Infrared Detection[C]//SPIE, 2003, 4999:457-466.
- [33] K A Anselm, H Ren, M Viela, et al. Long-wavelength infrared InAs/InGaSb type-II superlattice photovoltaic detectors [C]//SPIE, 2001, 4288:183-190.
- [34] C-H Lin, A Anselm, C -H. Kuo, et al. Type-II InAs/InGaSb SL photodetectors [C]//SPIE, 2000, 3948:133-144.
- [35] 王忆锋, 唐利斌. Kronig-Penney能带模型的MATLAB分析与计算[J]. *激光与红外*, 2010, 40(7): 770-774.
- [36] E H Aifer, E M Jackson, G Boishin, et al. Very-long wave ternary antimonide superlattice photodiode with 21 μm cutoff [J]. *Applied Physics Letters*, 2003, 82(25): 4411-4413.
- [37] F Szmulowicz, H Haugan, G J Brown. Effect of interfaces and the spin-orbit band on the band gaps of InAs/GaSb superlattices beyond the standard envelope-function approximation [J]. *Physical Review B*, 2004, 69(15):155321(17页).
- [38] W H Lau, M E Flatté. Effect of interface structure on the optical properties of InAs/GaSb laser active regions [J]. *Applied Physics Letters*, 2002, 80(10):1683-1685.
- [39] Y Wei, M Razeghi. Modeling of type-II InAs/GaSb superlattices using an empirical tight-binding method and interface engineering[J]. *Physical Review B*, 2004, 69(8): 085316(7页).
- [40] Y Wei, M Razeghi, G J Brown, et al. Modeling type-II InAs/GaSb superlattices using empirical tight-binding method: new aspects [C]//SPIE, 2004, 5359:301-308.
- [41] Manijeh Razeghi. Nanostructured Sensors[J]. *SPIE Professional*, 2008(7): (3页).
- [42] Pierre-Yves Delaunay, Binh-Minh Nguyen, Darin Hoffman, et al. Substrate removal for high quantum efficiency back side illuminated type-II InAs/GaSb photodetectors [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 91(23): 231106(3页).
- [43] P Y Delaunay, M Razeghi. High-performance focal-plane array based on type-II InAs/GaSb superlattice heterostructures [C]//SPIE, 2008, 6900: 69000M(10页).
- [44] E H Aifer, J G Tischler, J H Warner, et al. Dual band LWIR/VLWIR type-II superlattice photodiodes [C]//SPIE, 2005, 5783:112-122.
- [45] D Hoffman, B M Nguyen, P Y Delaunay, et al. Beryllium compensation doping of InAs/GaSb infrared superlattice photodiodes [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 91(14):143507(3页).
- [46] Andrew Hood, Manijeh Razeghi, Edward H Aifer, et al. On the performance and surface passivation of type II InAs/GaSb superlattice photodiodes for the very-long-wavelength infrared[J]. *Applied Physics Letters*, 2005, 87(15):151113(3页).
- [47] Jagmohan Bajaj, Gerry Sullivan, Don Lee. Comparison of Type-II Superlattice and HgCdTe Infrared Detector Technologies[C]//SPIE, 2007, 6542:654209(11页).

(上接第44页)

- [3] 端木琼, 刘常杰. 基于FPGA的高分辨率时间數位转换器设计[J]. *现代科学仪器*, 2008(5):33-35.
- [4] 姚萍萍, 赵欣, 张毅, 等. 激光测高仪中基于现场可编程门阵列的高精度飞行时间测量[J]. *中国激光*, 2008, 35(5):752-755.
- [5] 王海, 周渭, 刘畅生, 等. 一种新的短时间间隔测量方法[J]. *西安电子科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 35(2):267-271.
- [6] 张廷华, 樊桂花, 孙华燕. 基于FPGA的高精度时间间隔测量方法研究与实现[J]. *光学技术*, 2006, 32(s): 452-454.
- [7] 冯国旭, 常保成. 高精度激光测距技术研究[J]. *激光与红外*, 2007, 37(11):1137-1140.
- [8] 童世华, 付蔚. 谈ASIC、FPGA/CPLD的区别与发展[J]. *重庆职业技术学院学报*, 2007, 16(6):146-149.