

文章编号: 1007-5461(2007)01-0096-04

激光测高系统中基于 GP1 的飞行时间测量

赵欣, 戚俊, 涂碧海, 陈结祥,
张毅, 李季, 刘建国*, 赵平建

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 激光测高仪是测量激光脉冲的飞行时间来获得测高仪与探测目标之间的距离, 因此激光飞行时间测量的准确性是衡量其系统能力的根本指标。采用了一种专用的时间数字转换芯片设计了时间间隔测量模块, 它采用延时线技术, 测量频率快, 时间分辨率高, 受外界环境干扰小, 完全适合激光测高的要求。在给出软硬件实现方法的同时, 也给出了测量结果。

关键词: 光电子学; 激光测高; 时间间隔测量; 延时线

中图分类号: TN249

文献标识码: A

1 引言

激光测高仪可看作为一种激光雷达, 它一般搭载在空基上, 通过单脉冲激光测距分析激光发射脉冲和回波脉冲之间的往返时间、回波波形、回波幅度来获得地形地貌的三维轮廓图, 因此要准确获得地貌三维轮廓就需要采取某些方法对激光的飞行时间间隔进行精确测量。目前在测高国际上流行的时间间隔测量方法主要有以下 3 种^[1]: 纯计数法、模拟内插法、数字内插法。纯计数法电路简单、测程长、但精度低, 因此一般不单独采用; 而模拟内插法可把计数法精度改善到皮秒量级, 但由于其基于电容的冲放电技术, 线性度差、测量时间长、受温度和电磁辐射干扰大, 不适合测高系统中要求的高实时性和苛刻的工作环境; 数字内插法是基于延时线技术, 其单脉冲测量精度高、测量范围大、并可进行高重复率测量, 因此非常适合于本测高系统。TDC-GP1^[2] 是 ACAM 公司基于 $0.8 \mu\text{CMOS}$ 工艺设计的高精度时间数字转换芯片 (Time digital converter), 它利用延时线法可对两个脉冲或多个脉冲之间的时间间隔进行精确测量, 单通道测量精度为 250 ps, 双通道耦合精度可达 150 ps, 每个通道能响应 4 个 Stop 脉冲信号, 测量范围从 3 ns~200 ms 不等, 因此其不但测量精度高, 测量范围也很大。本文则基于 GP1 芯片在激光测高系统中设计了单通道时间间隔测量单元, 其电路集成度高、实现简便、功耗低, 为激光测高精度的提高及系统工作的稳定性提供了有利保障。

2 飞行时间间隔测量单元设计

2.1 硬件设计

如图 1 所示为包含 GP1 的激光测高仪飞行时间测量结构图^[3~5]。研制的激光测高仪采用同轴光学系统, 发射激光器为 Nd:YAG 半导体泵浦光源, 波长为 1064 nm, 由计算机通过 7250 数字板卡控制 CPLD 触发激光器发射, 重复频率为 1~20 Hz, 可通过 CPLD 连续可调; 接收望远镜为卡塞格林式, 把接收光直接汇聚在高速雪崩光电二极管 (APD) 上产生电信号。工作过程为首先单片机控制激光器发射激光, 并且产生 Start 信号进入 GP1 作为测量开始信号; 在激光发射出去的同时有部分光被耦合进入光纤传输直接进入

收稿日期: 2005-12-21; 修改日期: 2006-02-16

* 通信联系人

接收望远镜产生 STOP1 自校正信号，以得到因光路和电路而产生的距离漂移误差，同时为避免激光调 Q 影响内校正光路的波形，光纤长度选择在 300 m 左右；出射光经目标物反射后被望远镜接收产生 STOP2 信号，则两个停止信号与一个开始信号之间的时间间隔被测出后直接相减，再加上光在光纤中传播的距离就可得到目标物与测高仪之间的距离。整个飞行时间测量模块是以 TDC-GP1 为工作核心，GP1 的结构主要包括两个延时线测量单元（即两个测量通道），运算器和控制寄存器等，时间间隔测量主要靠延时通道完成，运算器是完成延时码到 16 进制转换等，GP1 工作模式由内含的 11 个控制寄存器设定，而寄存器值由外部单片机写入。

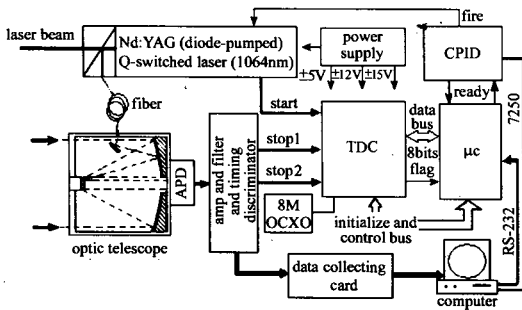


Fig.1 Measurement time interval in altimeter

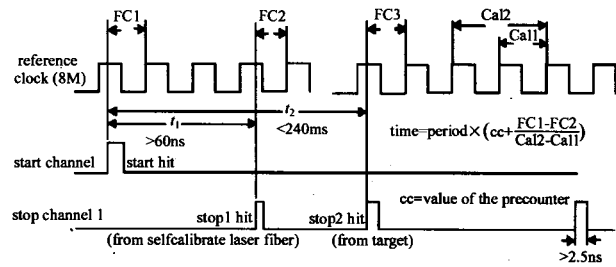


Fig.2 The scheduling of measuring time interval

根据测高指标（测程为 500 km，对应约 1.67 ms 飞行时间间隔）和测高回波时序特征（如图 2 所示），设计时间间隔测量模块，并结合高分辨率模式，即由内部前置计数器和延时通道合作完成。工作中通道 2 关闭，两个 STOP 信号先后进入通道 1 触发 GP1 测量，得到两个值 t_1 和 t_2 ，直接储存在结果寄存器中等待单片机读取。由于激光打在不同的目标物上造成回波的幅度和上跳沿的时间存在差异，因此在 STOP 信号进入 GP1 前先通过滞后比较器整成方波，再转换为 TTL 电平进入测量模块。值得注意的是为避免激光调 Q 引起的误触发，需选择合适的阈值电压，以及设置 START 通道只响应一个 START 上跳沿。在每发射一次激光脉冲后，单片机读出数据通过 RS-232 接口传给上位机的同时在下次激光脉冲发射前对 TDC 进行初始化，以准备开始另一次测量。由于 GP1 的测量需要引入外部时钟进行刻度，我们选取的是 8M 的晶振，在 GP1 完成每次测量后会生成图 2 中的 Cal1 和 Cal2 值对时钟进行校正，这大大减少了因外部时钟抖动引起的 GP1 内部计数及门传播误差，对测高精度的提高有很大好处。

GP1 是一种不含模拟元件的全数字化器件，并且采用门延迟法取得测量的高精度，因此需要良好的电源，建议使用高电容，低电感的供应电源，其次与电源并联的电容大小必须与对应的测量时间相一致，并建议使用低阻抗和低阻值的电容。由于 GP1 所有的输入口和 I/O 口没有上拉和下拉电阻，因此所有的信号必须连接，且数据总线不允许有长时间的悬浮。当然为提高测距精度，输入信号的脉宽也很重要，上升沿应尽可能的陡。

2.2 软件设计

整个测量单元工作模式设定、数据传输和计算都是靠单片机内部程序来完成。GP1 提供了一个标准的微控制器接口，包括 4 位地址线和 8 位数据线，可方便的通过单片机进行寄存器设置和数据传输，图 3 为测量单元的程序流程图。

对于 GP1 的软件编程主要分两部分，一部分为寄存器的初始化，以此确定 GP1 的工作模式；第二部分为数据的读出和转换。首先对 GP1 进行初始化，初始化中先设置寄存器 2，在测量开始前先禁止任何通道，防止误触发。初始化后进行测量读取数据，因读出的值是 16 进制的，并且一次只能读出 8 位，因此一个校准值需要分 4 次读出，再通过校准时钟完成计算，读数据时地址指针可放在数据区的起始位置顺序读取。读出的结果经单片机进行判断，如不正确则进行删除，重新校准 GP1，等待测量；需要注意的是每开始一次单独测量，最好对 GP1 重新初始化，以保证每次测量值的正确。表 1 给出本测高系统寄存器的设

置值:

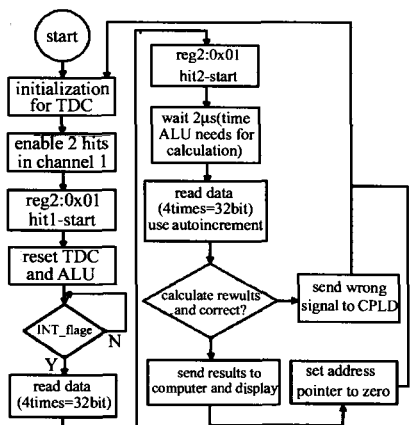


Fig.3 Controlling flow chart of time interval module

Table 1 The values for control register in measurement range 2, high resolution mode

Typical register contents(reference clock 8 MHz)		
Reg0:	0x54	Auto_cal+Calibrate+Meas Range2
Reg1:	0x4D	High_Res, adjust value
Reg2:	0x01	Hit1-Start
Reg3:	0xXX	Default
Reg4:	0x00	(8 MHz(Refclk)-125 ns)
Reg5:	0xXX	Default
Reg6:	0x02	Default
Reg7:	0x02	Enable 2 Hits at stop 1
Reg8-10:	0x00, 0x00, 0x80	Default

3 系统测量结果及分析

验证该模块在测高系统中的性能时, 采用消光法来模拟实测距离。测量目标为设置在靶场的漫反射板, 对应 1064 nm 的激光波长反射率为 99.2465%, 距离测高仪 1345 m 左右, 面积 50 cm×50 cm, 根据扩束镜发散角为 0.2 rad, 可保证光斑完全落在靶面内。激光测高仪重复频率为 20 Hz, 考虑到需要验证测高仪最大测程, 我们直接把衰减片加到 500 km 处, 取得两组测量数据, 如图 4 所示。(a) 图为在大气能见度为 1.6 km 情况下, 所加衰减片为 41.1 dB, (b) 图为在大气能见度为 10 km 情况下, 所加衰减片为 50.3 dB

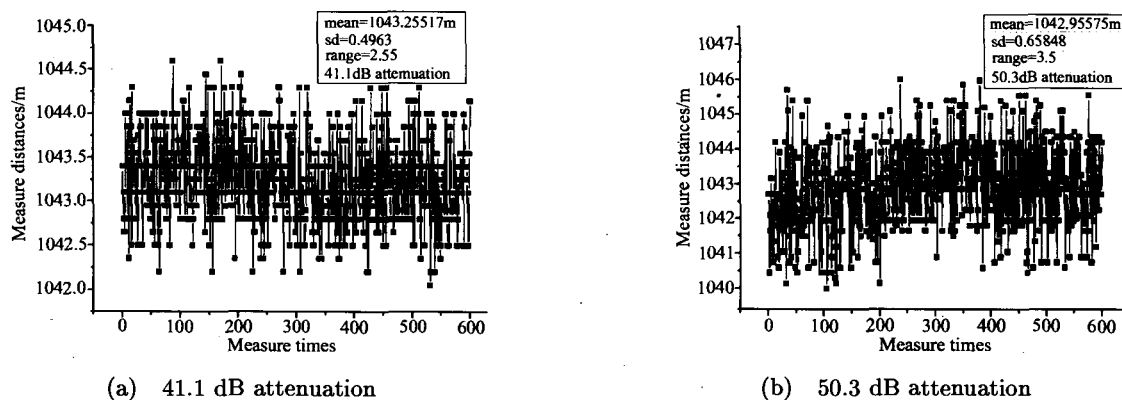


Fig.4 Measured results with different attenuation under 20 Hz single-shot laser frequencies

下的测量结果。横坐标均为连续 600 次测量次数, 纵坐标为测量距离 (加上 300 m 固定光纤长度即为实测距离), 数据结果显示, 研制的飞行时间测量模块使得测距精度达到了 ± 1 m 以内, 标准偏差可达 0.4963。图 (b) 比图 (a) 测距精度有所降低, 经过示波器同步跟踪分析, 因为其衰减片衰减系数大导致激光能量衰减大, 回波的信噪比偏低测距结果不稳, 此问题可在后级采用平均法或小波滤波等后续处理使得回波信噪比提高, 精度可明显改善。经过多次测量发现, 测量结果有微量抖动, 这是因为飞行时间测量模块是采用延时线插入法测量的, 在工作时间过长或外界温差较大时会产生热效应, 导致延时链受温度影响而延时时间变化所致, 解决方法可采用控制 TDC 的工作电压来达到稳定延时线延时常数; 同时测量结果存在一定的量化效应, 这跟 GP1 的数据输出比特数和延时线的最小延时单元有关, 如果采用更好的测量芯片, 误差可减小。

4 结 论

本测高系统在采用研制的飞行时间测量模块后,不但测距精度得到很大的提高,系统结构也紧凑了很多,功耗和体积都有所降低,稳定性增强,控制也很简便,在空气能见度较好情况下可获得 ± 1 m 左右的测距精度。在实际应用中^[6],除了时间间隔测量单元对测距精度有重要影响外,激光峰值功率的稳定性,光学接受单元,确定起止时刻的时间鉴别单元等等都非常关键;考虑外部因素,大气环境,目标物形状与反射率对测高也有影响,因此要提高测高精度需各方面配合,这也是我们进一步完善测高系统的研究方向。

参考文献:

- [1] Kalisz J. Review of methods for time interval measurements with picosecond resolution [J]. *Institute of Physics Metrologia*, 2004, 41: 17-32.
- [2] ACAM corporation. *TDC-GP1 Functional Description* [Z]. Germany: 2001.
- [3] Nutt R. Digital time intervals meter [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1968, 39: 1342-5.
- [4] Maatta K, Kostamovaara J. A high-precision time-to-digital converter for pulsed time-of-flight laser radar applications [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1998, 47(2).
- [5] Kalisz J, Pelka R, Poniecki A. Precision time counter for laser ranging to satellites [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1994, 65(3): 736-741.
- [6] Bi Yunfeng, et al. Analysis of laser altimeter echo energy attenuation in atmosphere transfer medium [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics* (量子电子学报), 2005, 22(6): 918-922 (in Chinese).

Time-of-flight measurements with TDC-GP1 in laser altimeter

ZHAO Xin, QI Jun, TU Bi-hai, CHENG Jie-xiang,
ZHANG Yi, LI Ji, LIU Jian-guo, ZHAO Ping-jian

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Pulsed time-of-flight laser altimeter operates by transmitting a short laser pulse to an optical visible target and by detecting the reflected pulse with an optical detector. The measured distance is calculated from this flight time. So the accuracy of laser time interval is a basic beacon to measure its system capability. We use a special time-digital-converter chip to develop a high resolution time interval module. Based on delay chain, it has high frequency and precision, suffer no outside environmental interference, completely suite for laser altimeter. Finally the soft and hardware realization method and measurement result are given.

Key words: optoelectronics; laser altimetry; time interval measurement; delay chain

作者简介: 赵欣 (1979 -), 男, 合肥市人, 博士生, 主要从事激光测距测高研究方面的工作。E-mail: zhaoxin79@163.com

导师简介: 刘建国 (1968 -), 男, 博士, 研究员, 研究领域为环境污染检测新技术, 目标散射特性及遥感监测技术。

E-mail: jgliu@aiofm.ac.cn