

文章编号: 1672-8785(2014)11-0010-05

TDC-GP2 芯片在脉冲激光测距系统中的应用

宋 盛 郭 颖 洪光烈

(中国科学院上海技术物理研究所空间主动光电技术与系统实验室, 上海 200083)

摘 要: 脉冲激光测距系统在各个领域均有广泛应用, 而时间测量精度决定了距离测量精度。传统的时间测量方法都存在自身缺陷, 难以实现精度高且响应灵敏的脉冲时间间隔测量, 因此详细介绍了一款时间数字转换芯片——TDC-GP2 芯片。该芯片利用逻辑门延迟来实现高精度时间测量, 其配合粗值计数器使用时的最大测量范围为 4 ms。基于 TDC-GP2 芯片的测量范围 1 可实现典型分辨率为 50 ps (均方根值)、测量范围为 0 ~ 1.8 μ s 的高精度时间间隔测量。该研究在各类测时方法中处于领先水平。

关键词: TDC-GP2; 时间测量; 脉冲激光测距系统

中图分类号: TN249 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.11.003

Application of TDC-GP2 in Pulsed Laser Ranging System

SONG Sheng, GUO Ying, HONG Guang-lie

(Laboratory of Space Active Electro-Optical Technology and Systems, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: A pulsed laser ranging system has a wide range of applications in different fields and its ranging accuracy depends on its time measurement accuracy. Because of some shortcomings, it is difficult for a traditional time measurement method to implement pulsed time measurement with high accuracy and sensitivity. A time-to-digital converter chip TDC-GP2 is described in detail. The chip utilizes the delay of logic gates to implement high accuracy time measurement. When it is used with a coarse counter, its maximum measurement range is 4 ms. On the basis of range 1 of the TDC-GP2 chip, high accuracy time measurement with typical resolution of 50 ps RMS in a measurement range from 0 to 1.8 μ s can be implemented. This study is in a leading level among all kinds of time measurement methods.

Key words: TDC-GP2; time measurement; pulsed laser ranging system

0 引言

脉冲激光测距技术具有峰值功率高、探测距离远、测距精度高、分辨率 (即对颇近目标的分辨本领) 高、光源相干性要求低、抗干扰能力

强以及结构较简单等优点, 因此在建筑测量、地质勘探、气象监测、军事制导与导航、污染监测等方面有着广泛应用。该技术通过测量激光脉冲从发射到返回之间的时间间隔来计算距离,

收稿日期: 2014-09-01

基金项目: 国家科技支撑计划课题项目 (2012BAH34B02)

作者简介: 宋盛 (1990-), 男, 上海人, 博士研究生, 主要从事激光遥感探测技术研究。E-mail: songsheng03@gmail.com

因此时间测量精度对于脉冲激光测距系统至关重要。由于激光速度非常快, 只有实现高精度时间分辨率, 才能得到高精度距离分辨率^[1]。

传统的时间测量方法(如直接计数法)用于计算时间间隔内时钟周期的个数, 其精度通常较低。当精度要求为 1 ns 时, 系统的时钟频率至少要达到 1 GHz。这就给电路设计带来了极大难度。而采用模拟内插法(如时间幅度转换法和双扩展内插法)可以实现高分辨率, 但其测量过程耗时较长, 且易受系统噪声的影响^[3]。

德国 ACAM 公司研制的 TDC-GP2 时间测量芯片利用内部的逻辑门延迟来进行时间间隔测量, 可以实现精度高和响应灵敏的时间测量。本文以基于 TDC-GP2 设计的脉冲激光测距系统为背景, 为实现高精度时间间隔测量提供了一种切实可行的方法。

1 脉冲激光测距系统

脉冲激光测距系统的工作原理十分简单, 即激光发射装置发射激光脉冲, 其中有一小部分能量立即被传输到接收电路; 此后光脉冲被转换成电脉冲, 并作为 Start 信号触发时差测量。激光脉冲的大部分能量传播到自由空间中, 遇到目标物体后发生反射并传播到接收电路上, 作为 Stop 信号终止测量, 至此时差测量全部完成。从 Start 脉冲到 Stop 脉冲之间的时差被 TDC-GP2 芯片

精确记录下来, 用于计算所测物体与发射端的距离^[5]。在以上测量原理中, 除了与 TDC-GP2 芯片的时差测量精度有关之外, 距离测量精度还与很多其他因素有关, 比如激光束的发散程度、光的传输媒体以及光接收部分的灵敏度等等。本文并不对脉冲激光测距系统进行详细介绍, 而是将重点放在激光脉冲的时间间隔测量上。

图 1 为基于 TDC-GP2 芯片的脉冲激光测距系统的结构框图。选择 STM32 单片机作为整个系统的核心控制器, 用于对 TDC-GP2 芯片进行寄存器配置以及时间测量控制。W5100 芯片是一款集成了硬件 TCP/IP 协议栈的网络接口芯片。利用 W5100 芯片实现网络接口的数据传输, 并将采集到的时间测量数据传递给上位机进行分析处理。

2 TDC-GP2 芯片的工作原理

TDC-GP2 芯片是一种基于 CMOS 工艺设计的高精度时间数字转换芯片。它通过用逻辑门的传播延迟精密量化时间间隔(达到 ps 级别), 可对两个或多个脉冲之间的时间间隔进行精确测量。在脉冲激光测距中, 其精度可以达到 1 cm 以内。TDC-GP2 芯片的系统结构包括时间数字转换单元、算术逻辑单元、时钟控制单元以及 4 线串行外设接口(连续数据输出率的最大值为 1

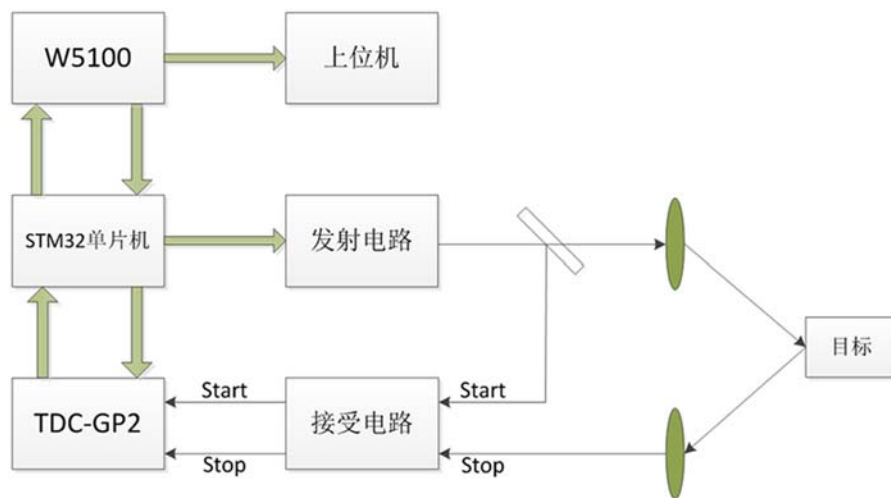


图 1 脉冲激光测距系统的结构框图

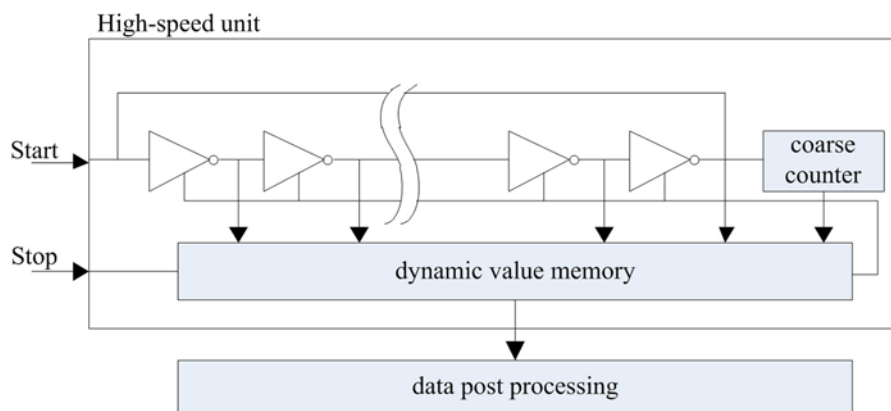


图 2 时间数字转换构架

MHz) 等。该芯片的温度测量功能主要适合于热量测量应用, 在此不作讨论^[6]。

TDC-GP2 芯片具有两个测量范围: 测量范围 1 为 $0 \sim 1.8 \mu\text{s}$; 测量范围 2 为 $500 \text{ ns} \sim 4 \text{ ms}$ 。以上两个测量范围的分辨率均可达 65 ps 。根据测量距离需求, 本测距系统利用该芯片的测量范围 1 实现高精度时间间隔测量。

时间数字转换 (Time-to-Digital Converter, TDC) 技术是以信号通过内部门电路的传播延迟来进行高精度时间间隔测量的。图 2 所示为这种用于测量绝对时间的 TDC 方法的主要构架。芯片可获得的最高测量精度由芯片内部门电路的最短传播延迟时间决定。

测量单元由 Start 信号触发, 并在接收到 Stop 信号后停止工作。通过环形振荡器的位置和粗值计数器的计数值可以计算出 Start 信号与 Stop 信号之间的时间间隔, 其测量范围可达 20 位。在数字 TDC 时间测量系统中, 温度和电压对门电路的传播延迟时间具有很大影响。通常可通过校准来补偿由温度和电压变化所引起的误差。校准计算中, 在测量外部脉冲的同时, 测量一个已知的时间间隔; 测量完成后, 采用根据高稳定时间值得到的测量结果, 对外部测量结果与已知时间间隔的测量值进行对比, 消除由温度和电压变化所带来的误差^[6]。在校准过程中, 用 TDC 测量一个和两个校准时钟周期。

图 3 和图 4 所示为 TDC 校准原理。其中, T_{ref} 为参考时钟周期; C_{al1} 和 C_{al2} 分别为参考时钟的 1 倍和 2 倍时钟周期计数值; R_{ES_X} 为测量

外部脉冲时得到的时间间隔计数值; t 为外部脉冲间隔的校准时间测量值。根据校准原理, 校准时间的测量值为

$$t = R_{ES_X} \times T_{ref} / (C_{al1} - C_{al2}) \quad (1)$$

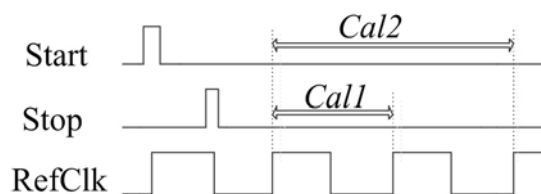


图 3 TDC 校准原理 (1)

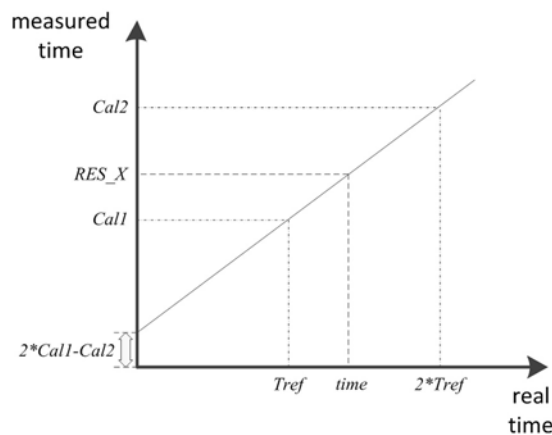


图 4 TDC 校准原理 (2)

3 基于 TDC-GP2 芯片的脉冲时差测量

TDC-GP2 芯片有 6 个 32 位配置寄存器, 高 24 位用作配置, 只可写入而不可读取。这些寄存器用于设置 TDC-GP2 芯片的具体测量方案。该

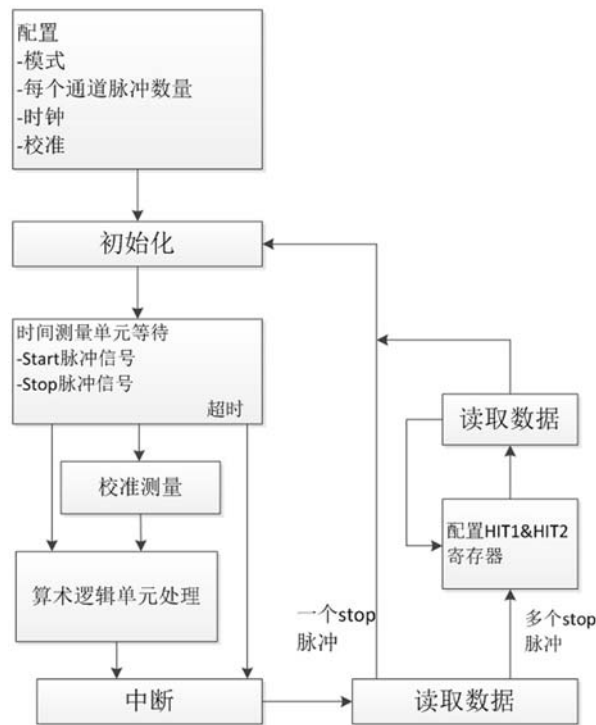


图 5 TDC-GP2 芯片的测量流程

表 1 测量数据及其分析

Standard value/ns	Measured value/ns							Mean value/ns	Standard value/ps	Relative error
	1	2	3	...	2998	2999	3000			
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
600	559.853	559.929	600.006	...	559.868	559.807	559.969	599.919	49.8	0.013%
620	619.979	619.903	619.979	...	619.888	619.750	619.888	619.888	56.1	0.018%
640	639.923	639.923	639.862	...	639.846	639.846	639.907	639.894	54.2	0.016%
660	659.866	659.866	659.820	...	659.835	659.835	659.912	659.893	51.8	0.016%
680	679.870	679.870	679.946	...	679.809	679.946	679.885	679.897	52.0	0.015%
700	699.951	699.905	699.981	...	699.996	700.012	699.935	699.929	57.0	0.010%
720	719.970	719.940	719.879	...	719.879	719.940	720.016	719.917	57.6	0.011%
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

芯片还有 4 个用于存储测量结果的 32 位结果寄存器和 1 个用于指示测量时间溢出等状态的 16 位状态寄存器。图 5 所示为 TDC-GP2 芯片的具体测量流程。

本测距系统的测量距离约为 100 m，其激光脉冲的传播距离是测量距离的 2 倍，对应的时间为 660 ns。用泰克信号发生器产生两个具有一定时间间隔、脉宽为 50 ns 的脉冲信号，并将其作

为标准参考源。模拟真实的测量环境，并对 660 ns 附近的时间间隔数据进行测量。表 1 列出了部分测量数据及其分析情况。

可以看出，TDC-GP2 芯片的时间测量标准差小于 60 ps。如果不考虑其他测量误差的存在，那么该测距系统的距离分辨率在理论上可达 1.8 cm。由于测量时激光脉冲会被目标物反射回来，其误差也会折半，因此距离测量精度在

0.9 cm 以内。结果表明, TDC-GP2 芯片非常适用于高精度脉冲激光测距系统。

4 结 束 语

本文详细介绍了 TDC-GP2 高精度时间数字转换芯片的工作原理及其脉冲时间间隔测量的实现方法。实验结果表明, TDC-GP 芯片的时间测量标准差小于 60 ps。基于 TDC-GP2 芯片的近距离脉冲激光测距系统的距离分辨率在理论上可达 1.8 cm, 且价格低廉, 因此该芯片是实现高精度脉冲激光测距系统的理想选择。

参考文献

- [1] 王洪, 辛德胜, 张剑家, 等. 脉冲激光测距时间间隔测量技术 [J]. *强激光与粒子束*, 2010, **22**(8): 1751-1754.
- [2] 杨成伟, 陈千颂, 林彦, 等. 脉冲激光测距时间间隔测量及误差分析 [J]. *红外与激光工程*, 2003, **32**(2): 123-126.
- [3] 陈瑞强, 江月松. 脉冲激光测距的时间间隔测量方法 [J]. *光学学报*, 2013, **33**(2): 0212004.
- [4] 宋娜, 邓甲昊, 崔静. 基于高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2 的脉冲激光引信定距系统 [J]. *兵工自动化*, 2012, **31**(10): 64-66.
- [5] 杨佩, 徐军, 王菲. 基于 TDC-GP2 的高精度时差测量系统设计 [J]. *电子科技*, 2010, **23**(7): 77-81.
- [6] ACAM Corporation. TDC-GP2 Datasheet [Z]. Germany, 2006.
- [7] 沈迪, 李成范, 赵俊娟, 等. 基于变分贝叶斯 ICA 的火山灰云检测研究 [J]. *红外技术*, 2014, **36**(2): 120-124.
- [8] Rose WI, Self S, Murrow PJ, et al. Nature and Significance of Small Volume Fall Deposits at Composite Volcanoes: Insights from the October 14, 1974 Fuego Eruption, Guatemala [J]. *Bulletion of Volcanology*, 2008, **70**(9): 1043-1067.
- [9] Thomas H E, Watson I M. Observations of Volcanic Emissions from Space: Current and Future Perspectives [J]. *Natural Hazards*, 2010, **54**(2): 323-354.
- [10] Piscini A, Corradini S, Marchese F, et al. Volcanic Ash Cloud Detection from Space: A Comparison between the RSTASH Technique and the Water Vapor Corrected BTM Procedure [J]. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2011, **2**(3): 263-277.
- [11] Folch A, Costa A, Basart S. Validation of the FALL 3D Ash Dispersion Model Using Observations of the 2010 Eyjafjallajökull Volcanic Ash Clouds [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **48**(2): 165-183.
- [12] Webley P W, Atkinson D, Collins R L, et al. Predicting and Validating the Tracking of a Volcanic Ash Cloud during the 2006 Eruption of Mt. Augustine Volcano [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2008, **89**(11): 1647-1658.
- [13] Marzano F S, Picciotti E, Vulpiani G, et al. Synthetic Signatures of Volcanic Ash Cloud Particles from X-band Dual-polarization Radar [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2012, **50**(1): 193-211.
- [14] Michael J P, Wayne F F, Andrew K H, et al. A Day-time Complement to the Reverse Absorption Technique for Improved Automated Detection of Volcanic Ash [J]. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology*, 2006, **23**(11): 1422-1444.
- [15] 朱琳, 刘健, 刘诚, 等. 复杂气象条件下火山灰云遥感监测新方法 [J]. *中国科学 (地球科学)*, 2011, **41**(7): 1029-1036.
- [16] Donald W H. Principal Component Image Analysis of MODIS for Volcanic Ash, Part II: Simulation of Current GOES and GOES-M Imagers [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2002, **41**(10): 1003-1010.
- [17] 李成范, 戴羊羊, 赵俊娟, 等. 利用独立分量分析进行火山灰云遥感检测 [J]. *地震地质*, 2014, **36**(1): 137-147.
- [18] 赵谊, 马宝君, 施行觉. 火山空降碎屑灾害预测软件包的研制 [J]. *地震地质*, 2003, **25**(3): 480-490.
- [19] 尹京苑, 沈迪, 李成范. 卫星遥感技术在火山灰云监测中的应用 [J]. *地震地质*, 2013, **35**(2): 347-362.
- [20] Li C F, Dai Y Y, Zhao J J, et al. Diffusion Source Detection of Volcanic Ash Cloud Using MODIS Satellite Data [J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2014, **42**(3): 611-619.