

一种高精度时间间隔测量方法的研究

乔晓峰 康 敏 周荣华¹

(南京农业大学工学院,南京 210031;常州大地测绘科技有限公司¹,常州 213022)

摘要 为了提高测量精度,利用高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2 的测量范围 2 进行测量,通过延时的方法避免了测量范围量程不足的问题;同时结合模拟法的优点进行不足一个时钟周期的测量。为了在测量过程中解决时间间隔测量的非线性问题,利用模数转换的方法进行了精确测量。实验结果表明,该方法能够有效的提高测量精度。

关键词 激光测距 时间间隔测量 TDC-GP2 TVC

中图法分类号 TM935.45; **文献标志码** A

在激光测距中,时间间隔测量是影响激光测距精度的核心因素。脉冲式激光测距以其工作原理简单、峰值功率高、测程远、测距精度高、远距离测距不需要合作目标等优点获得越来越广泛的应用。在脉冲激光测距中,通过提高测频可以提高测距精度。例如当测频为 150 MHz 的时候,测距精度可以达到 1 m,但是由于受电路参数、元器件性能、温度等因素的影响,仅靠提高测量频率来提高测量精度是不可行的。

本文利用 TDC-GP2 高精度时间间隔测量芯片特有的测量范围 2 的特点,结合模拟法的优点,对时间间隔进行测量,可以有效地提高测量精度。

1 测量原理及误差分析

目前时间间隔测量采用的主要方法是电子计数法,主要通过将被测的时间间隔量与测频进行比较,进而得到相应的时间。电子计数法的精度主要取决于系统时钟的频率,如图 1 所示。

在一段时间间隔 T_x 中,由主波作为打开计数器的开门信号,回波作为关闭计数器的关门信号,其中

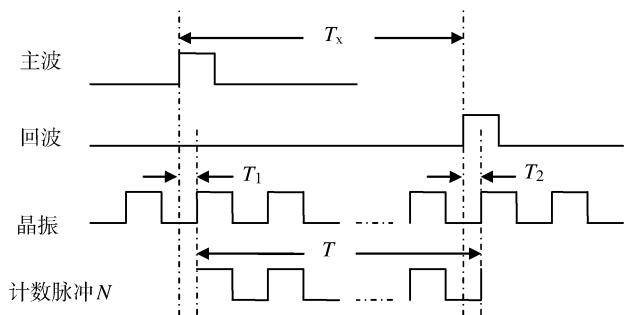


图 1 计数法测量图

主波信号是激光器发出的光脉冲经光电转换、滤波、放大等处理电路到达计数器的信号,回波信号是光波达到目标并由目标反射回来经接收、滤波、放大等处理电路到达计数器的信号。在计数门被打开期间,作为和时间间隔测量基准单位同步的晶振脉冲到达计数器,记录下通过的脉冲个数,从而求出待测时间。

这种方法的主要优点是线性好,与测量范围无关。只要计数器得到通过计数门的脉冲数就可以得到时间间隔。缺点是由于测量精度主要受时钟频率限制,最高测量精度为正负一个时钟周期。图中实际时间间隔为: $T_x = T + T_1 - T_2$ 。也就是说,在测量时间间隔的时候,由于主波、回波信号在开启或者关闭计数门那一刻并不与时钟频率完全同步,存在测不到的不满一个时钟周期的“盲区”,在图 1 中也就

2009 年 9 月 18 日收到

第一作者简介:乔晓峰(1984—),男,山西忻州人,硕士研究生,研究方向:机电一体化。E-mail:qxf402@163.com。

是无法测量 T_1 和 T_2 , 实际测得的时间为 T 。因此, 通过一定的方法在提高时钟频率的同时, 又能够有效的减小测量盲区, 是改进激光测距系统性能的有效措施。本系统中采用 TDC-GP2 芯片对图中满足时钟周期整数倍的时间间隔 T 进行测量, 不足一个时钟周期的时间间隔 T_1 、 T_2 采用模拟法进行测量。

TDC-GP2 是德国 ACAM 公司生产的高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2, 单次测量分辨率为 65 ps, 功耗低, 集成度高, 测量灵活性高, 在脉冲激光测距领域获得越来越广泛的应用^[1]。具有两个测量范围: 测量范围 1 和测量范围 2。测量范围 1 的可测量时间间隔为 3.5 ns—1.8 μs。转换为距离, 最远可测距离为 270 m。测量范围 2 的可测量时间间隔为两倍的时钟周期到 4 ms。如果采用 4 M 的高速晶振作为参与测量的晶振时钟的话, 那么时钟周期为 250 ns。也就是说, 测量范围 2 的可测量时间间隔为 500 ns—4 ms。转换为距离值, 最短开始可测量的距离为 75 m。

结合两个测量范围, 可以得知, 要测量 1 000 m 之内的距离值时, 在只能选择一个测量模式的情况下, 芯片将无法进行测量。为了解决上述问题, 我们将测量范围 2 开始工作的时刻进行一段时间的延迟, 之后再进行测量, 由于测量范围 2 的最远可测时间为 4 ms, 换算为距离达到几百公里远, 远远满足要测量的测程。这样就避开了不能测量的最小两倍时钟周期的时间间隔。值得注意的是, 这个延迟时间要大于两倍的时钟周期, 只有这样才能保证测量结果准确。

图 1 中两部分不足一个时钟周期的时间间隔 T_1 和 T_2 , 利用将模拟法进行扩展后得到的 TVC (time-to-voltage converter) 电路进行测量。模拟法就是在一段待测的时间间隔内, 通过对电容在不同时间段内进行充放电, 然后利用原来的时钟频率进行测量, 进而测得时间间隔的一种方法^[2]。由于电容在充放电的过程中, 充放电之间的关系不是绝对线性的, 存在非线性误差, 这就限制了测量范围, 或者说随着测量范围的增加, 精度会降低; 另外电容的充放电性能受温度的影响非常大 [达到 (10—30) ps/°C], 对于

测量系统的温度特性要求非常苛刻^[3]。

为了解决非线性误差带来的影响, 可以采用 TVC 电路加以克服^[4,5]。图 1 中, 主波较下一个计数脉冲早到 T_1 时间, 为了能够测量出不足一个时钟周期的时间间隔 T_1 , 可以采用将 T_1 变换为电信号的方法让主波前沿作为起始触发信号, 启动一个恒流源 I 给电容 C 充电, 恒流源内部电阻为 R, 那么电容 C 上的电压与充电时间的关系为:

$$V_c = RI(1 - e^{-t/RC})。$$

然后, 主波后的第一个有效计数脉冲的前沿作为控制信号停止对电容进行充电, 这时电容电压停止增加, 假设此时的电压值为 V'_c , 此时,

$$V'_c = RI(1 - e^{-T/RC})。$$

在第一个计数脉冲前沿让电容停止充电时, 电容上的电压 V'_c 通过隔离放大器送到 ADC 电路进行模拟数字转换, 得到一个数码输出 N' 。为了便于分析计算, 设置放大器的放大增益为单位增益。同时设置 ADC 转换位数为 m , 满量程输入电压为 V'_{cm} , 那么存在:

$$N' = 2^m (V'_c / V'_{cm})。$$

这样, 由以上三式可得到:

$$T = -RC \ln \left\{ 1 - \frac{N' V'_{cm}}{2^m RI} \right\}。$$

通过上式, 可以较为精确地确定不足一个时钟周期的时间间隔 T_1 , 从而有效的减小了时间扩展的非线性给测量带来的误差。同理可以测得回波到达时不足一个时钟周期的时间间隔 T_2 。

2 电路及系统实现

测量分两部分进行, 第一部分利用高精度测量芯片对整个时间间隔进行测量。第二部分利用模拟法对不满足一个时钟周期的时间间隔进行测量。将两部分测量结果综合, 经过距离转换, 便可得到要测量的距离 S。结构图如图 2。

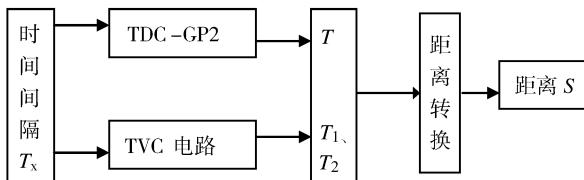


图 2 测量结构图

2.1 TDC-GP2 外围电路

TDC-GP2 采用两种时钟信号：4 MHz 的高速时钟进行校准使用；32.768 kHz 的基准时钟来控制高速时钟和进行时钟校准使用。在 TDC-GP2 的测量范围 2 中，高速时钟信号还作为时间间隔测量单元的一部分。

由于芯片具有两个测量范围，在利用测量范围 2 进行测量的时候，先要对寄存器进行设置：设置 register0 的 bit3，MRange2 = 1。这样在测量的时候

就是用芯片的测量范围 2 进行测量。

采用测量范围 2 的时候，如图 3 所示，芯片的 start 管脚为开始计时的管脚，stop1 管脚为接收激光脉冲回波的管脚，也就是结束计时的管脚。在这个过程中，计数门开启和关闭，进行计数。在测量过程中，可以通过设置寄存器，选择 start 和 stop1 是上升沿触发还是下降沿触发。本系统中一律采用上升沿触发，通过设置 register0 的 bit0—2 (NEG_START, NEG_STOP1) 进行设置。在开始按键测距的那一刻，单片机触发产生一个信号送到 TDC-GP2 的 start 管脚，使得 TDC-GP2 开始计时，由于在测量范围 2 中采用延时方式进行测量，所以在 start 开始计时那一刻开始，经过设定的延时时间，单片机触发激光管发射激光脉冲，发出的激光脉冲在射向目标的时候，经过目标漫反射等因素影响，反射回来的能量变得较

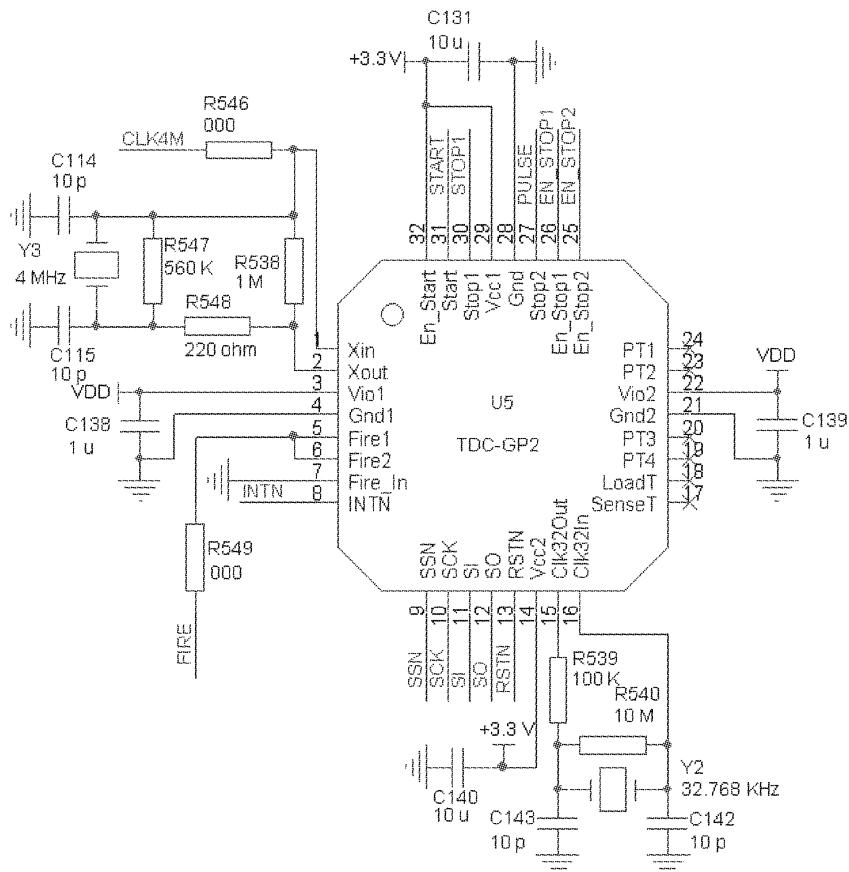


图 3 TDC-GP2 外围电路图

为微弱,它被 APD 雪崩光电探测器接收,转换为幅值为一定值的电脉冲,然后经过前置放大器的放大、定比鉴别器整形处理,得到理想的电脉冲,送给 TDC-GP2 的 stop1 管脚,TDC-GP2 在接收到回波信号后,结束计数。通过时间转换就可以得到时间间隔 T ,时间 T 值应为计数器得到的时间值与延时的时间值之差。

芯片测量方式的延时可以通过软件进行设置,如果系统采用 4 MHz 的晶振作为测量时钟的话,那么时钟周期为 250 ns,我们采用延时三倍时钟周期,也就是 750 ns,大于两倍的始终周期 500 ns。

为了有效地避免噪声干扰,可以规定在 Start 脉冲后多少秒到达的 Stop 脉冲才有效,可以通过 REG2,REG3,REG4 进行相关设置。

单片机采用宏晶公司生产的 STC12C5A40S2,它的工作电压为 3.3 V,采用 48 脚 LQFP 封装,具有较小的封装体积,与 TDC-GP2 通过 4 线 SPI 口进行通信。

2.2 模拟法电路图

如图 4 所示,利用脉冲前沿触发门控电路作为开启信号,关闭开关 S_1 ,使恒流源 i 开始对电容 C 充电,经时间 T_1 后, S_1 由主波后的第一个有效计数脉冲的上升沿打开,结束充电。经过放大的电压与充电时间成正比,模拟信号经由 A/D 转换器转换为数值(其对应时间为 T_1)。

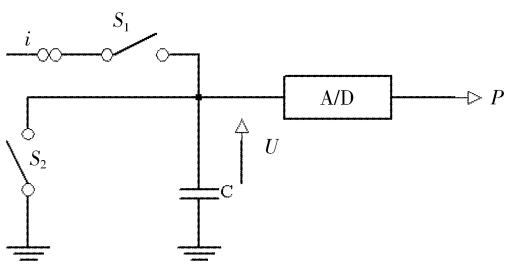


图 4 模拟法电路图

当单片机读出该数之后,迅速关闭 S_2 ,使电容放电,以保证下一次测量的正常进行。

3 结论

实验时,先对距离进行标定,转换为标定时间值,然后进行时间间隔测量,将测量值和标定值进行比较,见表 1。

表 1 实测数据表

组数	标定值/ns	实测值/ns	相对误差/%
1	118.172	120	1.546
2	169.591	170	0.2411
3	226.278	230	1.644
4	272.467	270	0.905
5	326.735	320	1.951
6	373.376	380	1.774
7	427.156	440	3.000
8	481.591	490	1.746
9	534.872	530	0.910
10	580.848	580	0.100

从实测数据可以看出,利用 4 MHz 晶振对时间间隔测量的相对误差基本可以达到 2% 以内,与简单的计数器测频系统相比精度有了很大的提高,该方法有效的提高了测量精度。测量过程中,保证开关元器件的速度足够高,选择介质损耗小的电容作为充电电容,均对提高测量精度有帮助。

另外,激光脉冲在飞行过程中不可避免的会有衰减和畸变,这将直接导致发射脉冲和接收脉冲在形状和幅度等方面有很大的不同,如何准确的确定起始时刻和终了时刻,将测量误差降到最低,将是时间间隔测量的一个研究重点。

(下转第 80 页)

Design of Softwareand Digital Phase-locked Loop Based on LabVIEW

SUN Xiu-gui, ZHANG Hong-bin¹, ZHANG Shu-chao

(Dali University¹, Dali 671003, P. R. China; Dali Power Supply Bureau¹, Dali 671000, P. R. China)

[Abstract] Phase-locked loop (PLL) has broad application in the field of measurement and control, digital signal processing. The software PLL has became a trend of the development of PLL. With a great capacity of digital computing and signal analysis, a software and digital PLL is designed based on the basic principles and composition. Experimental and simulation results show that the software PLL has better performance of capture and tracking. The PLL designed by software has a higher flexibility and versatility than that by hardware, at the same time it has the advantages of simple in structure and flexible design parameters and etc.

[Key words] software PLL LabVIEW phase detector Sub-VI

(上接第 68 页)

参 考 文 献

- 1 ACAM. TDC-GP2 (Univeral 2 Channel Time-to-Digital Converter). Datasheet. WWW. acam. de/t. leadmin/Download/pdf/English/DB GP2 e. pdf. 2007;1
- 2 Raisanen-ruotsalainen E ,Rahkonen T ,Kostmov J. AARA integrated time-to-digital converters based on interpolation. Analog Intergrated

Circuits and Signal Processing, 1997;15:49—57

- 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.激光与红外,2001;31(3):730—731,831,931
- 4 潘继飞,蒋秋喜,毕大平.模拟内插法机器测量误差分析.电光与控制,2007;14(1):147—150
- 5 杨德麟.红外测距原理及检测.北京:测绘出版社,1995:77—83

Research for a Method about the High Presicion Time Measurement

QIAO Xiao-feng, KANG Min, ZHOU Rong-hua¹

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, P. R. China;
Changzhou Dadi Surveying science&technology Co., Ltd¹, Changzhou 213022, P. R. China)

[Abstract] A method of increasing the measuring precision is introduced, the time interval is measured using the high precision, time interval measurement chip TDC-GP2's second measuring range. The problem of lacking measuring range can be avoided by time delaying. The time measurement of less than a clock period can be solved by the merit of the simulation method in order to solve the nonlinearities in the time interval measurement, the A/D convert method is introduced, and the result of the experiment show that the measuring precision is improved effectively.

[Key words] laser ranging time interval measurement TDC-GP2 TVC