

文章编号: 1001-3806(2008)04-0363-03

基于 CPLD 和单片机的激光测距时间间隔测量

陈佳夷, 伊小素*

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

摘要: 为了达到提高时间间隔测量精度的目的, 采用复杂可编程逻辑器件和单片机实现脉冲激光测距时间间隔测量系统中的模拟内插法的方案, 设计了测量系统与测试电路, 并对该方案进行了验证, 得到了 200ps 精度的时间间隔测量系统。结果表明, 可编程逻辑器件的使用可大大简化电路结构, 使得整个系统结构简单化。采用该设计方案的激光测距系统具有体积小、可靠性高的特点。

关键词: 测量与计量; 可编程逻辑器件; 单片机; 激光测距; 时间间隔测量; 模拟内插法

中图分类号: P225.2 **文献标识码:** A

Time interval measurement of laser ranging based on CPLD & microchip

CHEN Jia-yi, YI Xiao-su

(School of Instrument Science & Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to improve the precision of time interval measurement in pulsed laser ranging, several interpolation methods are used. Analog interpolation time-interval measurement has advantages of high precision, small blind area, long measurement range and good linearity. An analog interpolation measurement method using complex programmable logic device (CPLD) and microchip was presented. Benefiting from the use of CPLD, the circuit became simplified. Furthermore, the time-interval measurement system adapted extraordinarily to high performance portable pulsed laser rangefinder for its compactness, simple structure and high reliability.

Key words: measurement and metrology; complex programmable logic device; microchip; laser ranging; time interval measure; analog interpolation method

引 言

脉冲激光测距以其峰值功率高、探测距离远、测量速度快、结构简单并且对光源相干性要求低等优点获得广泛应用^[1]。脉冲激光测距系统的测量精确度主要依赖于接收通道的频带宽度、激光脉冲的上升沿宽度和脉冲激光飞行的时间测量精确度。其中飞行时间的测量精度对脉冲激光测距仪的测距精度起重要作用。传统的测量系统采用直接计数法来测量主波信号与回波信号之间的时间间隔, 不能满足要求有较高测量精度的场合。目前, 提高脉冲激光测距测量精度的方法主要是采用内插法^[2-4]。笔者给出了基于可编程逻辑器件 (complex programmable logic device, CPLD) 和单片机的模拟内插法, 使得整个测试系统达到了较高的精度, 并且该系统具有电路实现简单、可靠性高、易于实现激光测距仪的小型化等特点。

作者简介: 陈佳夷 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事激光测距方面研究。

* 通讯联系人。E-mail: yixiaosu@buaa.edu.cn

收稿日期: 2007-05-17; 收到修改稿日期: 2007-08-21

1 模拟内插法原理

激光脉冲测距的基本原理是用计时器计算激光脉冲从发射、经过目标反射、到接收的飞行时间, 测距距离 $d = (c \times t) / 2$, c 为光速, t 为激光脉冲飞行时间。在光速 c 一定的情况下, 测量距离 d 的精度取决于 t 。图 1 为脉冲激光测距的时序图。可见, 脉冲飞行时间 $t =$

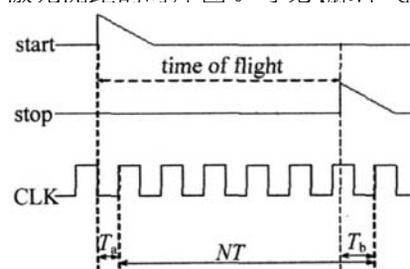


Fig 1 Schematic diagram of pulsed laser ranging

$T_a + NT + T_b$, T 为计数时钟的周期, N 为计数值, T_a 是主波脉冲上升沿与计数时钟上升沿之间的时间间隔, T_b 是回波脉冲上升沿与计数时钟上升沿之间的时间间隔。测量误差即为 $(T_a - T_b)$, 其最大值为 T 。提高测量精度的方法之一就是尽量提高计数时钟的频率。不过即使将时钟频率提高到 1GHz, 时间精度也只有纳秒

量级。由此,产生了利用内插法提高测量精度的方法。

内插法主要有延迟线内插法、差频测相法、模拟内插法。相比较,延迟线内插法^[5]无法获得很高的精度,差频测相法的测量盲区特别大。故模拟内插法因其精度高、测量盲区小、电路实现简单而得到广泛应用^[6-7]。

模拟内插法是利用电容充放电与电压的积分关系,在高精度电容 C 的电流与电荷呈线性关系的区域内,在 T_a (T_b) 时间内对电容 C 充电,得到与时间相对应的电压值 V_a (V_b),再由高速 A/D 对其采样,得到对应的采样数据。时序如图 2 所示。

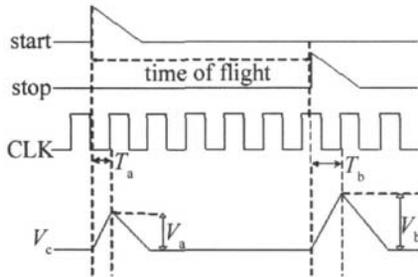


Fig 2 Schematic diagram of analog interpolation measurement

测量结果可用下式表示:

$$T_i = (C/I) g(V_{om} N / 2^m) \quad (1)$$

式中, T_i 表示 T_a 与 T_b , C 为容值, I 为充电电流, V_{om} 表示 V_a 与 V_b , N 为 N_a 与 N_b , m 是模数转换器的位数。

利用模拟内插法得到的时间测量精度为:

$$\delta t \approx T / 2^m \quad (2)$$

该方法相比传统计数法,把脉冲激光测距的测量精度提高 2^m 倍。假设采用 40MHz 的计数频率,8 位模数转换器,那么时间测量精度约为 100ps,对应的距离精度即为 15mm。

2 利用单片机和 CPLD 实现模拟内插

图 3 为时间间隔测量系统的原理框图。CPLD 与单片机是整个系统的核心部件。CPLD 的作用是主计数器、分离出 T_a 与 T_b 、控制 A/D 采样以及与单片机进行通信。单片机的作用是控制测量过程、接收 CPLD 测量数据、数据运算及与上位机进行通信。下面分别介绍 CPLD 与单片机的程序设计。

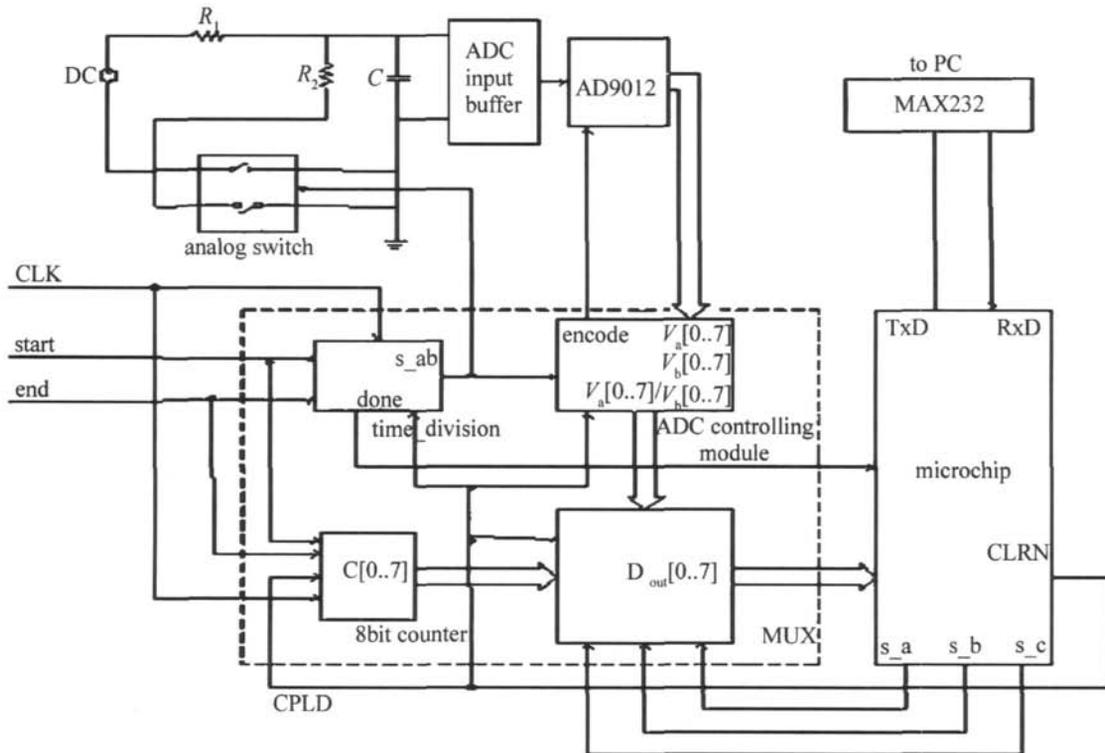


Fig 3 Schematic diagram of system structure

2.1 CPLD 的软件设计

复杂 CPLD 具有集成度高、工作速度快、编程方便和价格低廉的优点。与现场可编程门阵列 (field programmable gate array, FPGA) 相比, CPLD 内部逻辑结构简单,连线相对固定,延时小且可预测,更利于器件在高频下工作^[8]。作者采用 ALTERA 公司的 MAX7000S 系列 CPLD 进行系统开发。采用原理图编程与 VHDL 语言相结合的方法对 CPLD 进行配置。下面分别介绍

这 4 个模块。

2.1.1 时间分离模块 该模块作用是从激光脉冲飞行时间 t 内,把 T_a 与 T_b 这两段需要用内插法测量其长短的时间段分离出来。图 4 为该模块原理简图。简单说来,即利用 D 触发器的工作原理,将主波 (回波) 的上升沿与随后的第 1 个时钟信号的上升沿之间的间隔 T_a (T_b) 分离出来。

2.1.2 控制 A/D 采样模块 选择高速模数转换器可

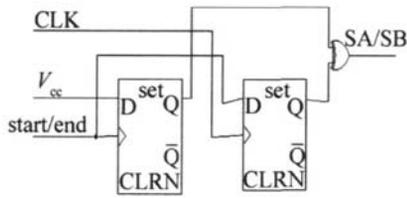


Fig 4 Schematic diagram of time division

以降低系统的测量盲区。因此,选用并行比较的、采样频率 40MHz、8 位 A/D 芯片 AD9012^[9]。在这个模块中,利用 Encode 对 AD9012 的采样时序进行控制,并设计两个寄存器,将得到的两个采样数据保存起来。图 5 为该模块的时序简图。

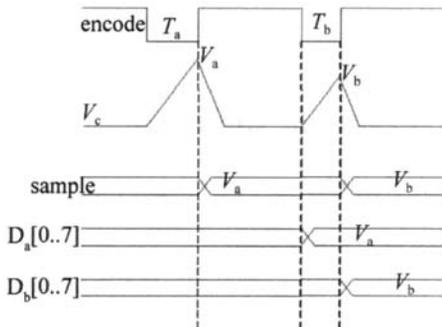


Fig 5 Schematic diagram of A/D controlling

2.1.3 主计数器模块 该模块是一个 8 位计数器,在飞行时间 t 内对时钟计数得到主计数数据。用 VHDL 语言设计过程较为简单,计数线程代码如下:

```

PROCESS (CLK) ——计数线程
BEGIN
    IF CLRN = '0' THEN
        C <= "00000000";
    ELSE IF (CLK'EVENT AND CLK = '1') THEN
        IF ENP = '1' THEN
            C <= C + '1';
        ELSE C <= C;
        END IF;
    ELSE C <= C;
    END IF;
END PROCESS;
    
```

2.1.4 与单片机数据通信模块 该模块作用是将主计数数据、两次采样数据输出到单片机的一组并口上。其原理是一个数据选择器。单片机产生 3 个控制信号,分别对应 3 组数据。其中一个控制信号有效时,CPLD 向单片机的并口送出相应数据。

2.2 单片机的程序设计

单片机是系统的控制核心。选用 8051 内核的 AT89S52 单片机,其相比较 AT89C51 的优点是在系统编程 (in system programming, ISP),降低了系统开发的复杂性^[10]。在 Keil uV ision3 集成开发环境下采

用 C51 语言对单片机开发,相比较汇编语言缩短了程序的开发时间。流程图如图 6 所示。

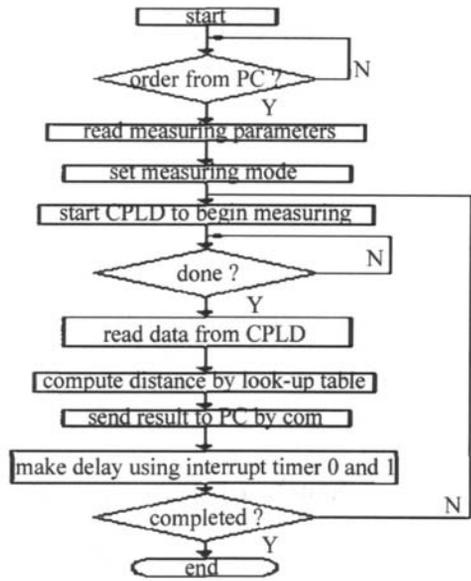


Fig 6 Flow chart of main program in microchip

3 实验结果

采用自制 PCB 板对该时间间隔测量系统进行实验分析。利用 CPLD 产生精确时间间隔,模拟激光测距中的脉冲飞行时间。该系统中,CPLD 选用 EPM7128SLC84-10,采用 40MHz 时钟。模数转换器选用 AD9012。根据测试要求的测距仪的量程,取时间间隔为 100ns~350ns,进行以下 7 组测量,用单片机的串口将数据发送到 PC 上,用 PC 的串口调试工具将其读出。每组测 10 次取平均值,所得数据见表 1。

Table 1 Testing data of time interval measurement

time interval/ns	100	150	200	250	300	350	400
corresponding distance/m	15.000	22.500	30.000	37.500	45.000	52.500	60.000
measured distance/m	15.021	22.490	30.025	37.511	45.018	52.483	60.030

测量数据表明,该时间间隔测量系统可以达到 200ps 的精度。理论上该测量系统的精度应为 100ps (15mm),导致精度下降的原因有:一是时间扩展的非线性,即电容 C 在充电过程中存在的电荷与充电电压的非线性关系;二是模数转换器器件的转换误差,对于通用的模数转换器,实际输出的数字量和理论上应得到的数字量之间的误差小于最低位的半个字到 3/4 个字。当然,实际测量中发射脉冲与回波脉冲上升沿的快慢、光电探测整形放大电路的性能等其它因素也会影响测量精度。

(下转第 369 页)

种样品的 $I_{\perp}\left(\frac{\pi}{2}\right)$, $I_{\parallel}\left(\frac{\pi}{2}\right)$ 值,再由 (1) 式和可计算出伸缩振动峰的退偏振度。具体测量数据和计算结果见表 2,与表 1 的测量结果相对应。

从上面的计算结果可以得出,样品的退偏振度大小依次是: ρ_n (蒸馏水) $<$ ρ_n (益力) $<$ ρ_n (娃哈哈) $<$ ρ_n (农夫山泉) $<$ ρ_n (白沙井水)。这是由于水分子和水中矿物质离子在水中均做布朗运动,矿物质离子与水分子的相互作用加强了水分子的振动速率,使得水分子在伸缩振动处振动的对称性减小,从而导致该处的退偏振度增加^[11]。所以水中矿物质离子浓度越大,水分子在伸缩振动处振动的对称性就越差,因而其退偏振度就越大。所以,根据退偏振度的大小也可以判断饮用水中含有微量矿物质浓度的相对大小。从表 2 的计算结果可以看出,这与上面比较样品喇曼谱半峰全宽的大小所得出的结果是一致的。

4 结 论

研究表明,伸缩振动喇曼峰的半峰全宽随水样品中含有的微量矿物质浓度的增加而减少,而伸缩振动喇曼峰处退偏振度随水样品中含有的微量矿物质浓度增加而增加。由此可见,用激光喇曼光谱直接判断饮用水中的微量矿物质浓度的相对多少是可行的。可以预测,随着对饮用水激光喇曼谱规律更深入的研究,这将为检测饮用水的水质提供简单而有效的方法。

(上接第 365 页)

4 结 论

综上所述,该基于 CPLD 与单片机的,利用模拟内插法来提高测量精度的、应用于脉冲激光测距的时间间隔测量系统,其系统集成度高、结构简单、可靠性高,降低了开发成本和周期。

参 考 文 献

- [1] ZHANG L, QIN S Q, WANG S S, *et al* MiniLD laser rangefinder used in intelligent vehicles [J]. Laser Technology, 2005, 25 (2): 130-131 (in Chinese).
- [2] YANG C W, CHEN Q S, LIN Y, *et al* Measurement on time-interval in pulsed laser ranging and error analysis [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32 (2): 123-126 (in Chinese).
- [3] HONG Y J, CHEN Q S, PAN Z W. Review on time-of-flight measurement of pulsed laser radar [J]. Laser and Infrared, 2001, 31 (3): 136-139 (in Chinese).

参 考 文 献

- [1] SHI X H, WANG X J, YU G C, *et al* Raman scattering studies of MBE-Grown ZnSe/GaAs [J]. Acta Optica Sinica, 2003, 23 (5): 619-621 (in Chinese).
- [2] MIJUNO M, TAHARA T. Novel resonance Raman enhancement of local structure around solvated electrons in water [J]. J Phys Chem, 2001, 105 (39): 8823-8826.
- [3] ZHAO Y Zh, LI Z W, GAO Sh Q, *et al* Ultra-trace analysis of biological molecules in water by means of the resonance Raman spectra in liquid-core optical fiber [J]. Laser Technology, 2004, 28 (5): 491-493 (in Chinese).
- [4] XU Y M. Raman spectroscopy in application of structure biology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 11-150 (in Chinese).
- [5] LU G, XING D, WANG H M, *et al* Study of protein in human gallstones by fourier transform infrared spectroscopy and surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22 (4): 441-446 (in Chinese).
- [6] SHONA S, JOHN SM, PATRICK J T. Water quality monitoring by Raman spectral analysis. U. S. 6950184 [P]. 2005-09-27.
- [7] CHENG G X. Raman and Brillouin scattering-principle and application[M]. Beijing: Science Press, 2001: 30-151 (in Chinese).
- [8] LI R H, JIANG Zh P, SHI Sh Q, *et al* Raman spectroscopic study of effect of CaCl_2 and MgCl_2 on structure of water [J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2003, 19 (2): 154-157 (in Chinese).
- [9] LI R H, JIANG Z P, CHEN F G, *et al* Hydrogen bonded structure of water and aqueous solutions of sodium halides: a Raman spectroscopic study [J]. Journal of Molecular Structure, 2004, 707: 83-88.
- [10] LI F Zh, ZHANG X J, LU M J. Study on liquid water cluster with ^{17}O NMR [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004, 24 (1): 6-9 (in Chinese).
- [11] WU S C, WANG Z Q. Modern physics experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 41-56 (in Chinese).
- [4] LU C J, YANG H J, LAI F. Technology of the rendezvous radar measuring the object's position [J]. Laser Technology, 2006, 30 (6): 608-610 (in Chinese).
- [5] XIE X S, FANG Y W, WU Y F, *et al* Infrared laser ranging in auto adaptive cruise control system [J]. Laser Technology, 2004, 28 (5): 521-523 (in Chinese).
- [6] LI L, WANG Z Z, SHEN Y. Discussion on the signal processing of high precision laser range finder [J]. Laser and Infrared, 2005, 35 (6): 441-443 (in Chinese).
- [7] LU Z M. Use of time interval measure system for laser ranging and the error analysis [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 20 (3): 37-39 (in Chinese).
- [8] YANG C W, HUO Y J, HE S F, *et al* The measurement of flight time for pulsed laser ranging based on CPLD [J]. Laser and Infrared, 2004, 34 (2): 106-108 (in Chinese).
- [9] Analog Devices Inc. High speed 8-Bit TIL A/D converter AD9012 [DB/CD]. Norwood, USA: Analog Devices Inc, 1998-01-05.
- [10] SUN Y C, WANG R X, SUN H F. The new ATMEL's AT89S52 and its applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 31-46 (in Chinese).