

文章编号: 1001-5078(2008)05-0458-04

· 光电技术与系统 ·

一种小型高精度脉冲式半导体激光测距仪

余向东, 张在宣, 王剑锋

(中国计量学院光学与电子科技分院光学工程学科, 浙江 杭州 310018)

摘要:介绍了一种小型、低成本的脉冲式半导体激光测距仪, 该测距仪采用了定比例鉴别(CFD)和时间放大技术, 有效地减少了因接收信号幅度变化而引起的漂移误差和晶振时钟计时的误差。当接收脉冲信号幅度在0.2~2.2V范围内变化时, 该测距仪可获优于 $\pm 7\text{cm}$ 的单次测量精度。

关键词:激光测距仪; 定比例鉴别; 时间放大

中图分类号: P225.2; TN958.98 **文献标识码:** A

A Mini, High Precision Pulsed Semiconductor Laser Range Finder

YU Xiang-dong, ZHANG Zai-xuan, Wang Jian-fang

(Department of Optical Engineering, College of Opto-electronics, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A mini, low-cost, pulsed semiconductor laser range finder is introduced in this paper. In this range finder, a constant fraction discriminator (CFD) and a time amplifier are used to reduce effectively the work error because of the changes of signal amplitude and the count error of crystal clock. It achieves a single-shot precision of better than $\pm 7\text{cm}$ when the signal amplitude of the CFD in the range of 0.2 ~ 2.2V.

Key words: range finder; CFD; time amplifier

1 引言

在脉冲式测距仪中, 距离值一般是通过测量激光脉冲发射时刻(star)和接收到被测目标的反射光脉冲时刻(stop)之间的激光飞行时间来确定的, 激光飞行时间的测量精度决定了整个系统的精度。激光飞行时间的测量一般分为两个步骤, 首先将对应的激光发射电脉冲和接收到的目标反射电脉冲送给距离-时间转换器, 产生一个和激光飞行时间相对应的脉冲信号, 时间脉冲的起始时刻对应着star时刻, 终止时刻对应着stop时刻。其次, 系统对该时间脉冲信号进行时间测量, 最后得出反应激光飞行时间的值。因此, 飞行时间测量的准确度由两方面的因素决定, 一是时间脉冲信号产生的准确性, 二是对时间脉冲测量的准确性。在实际测距过程中, 因距离、目标反射率和天气状况的变化, 测距仪接收到的目标反射信号幅度会发生剧烈的变化^[1], 从而造成stop时刻的定位也产生相应的漂

移, 对于一个采用传统比较器进行stop时刻定位的系统, 其定位时间漂移可达几纳秒, 对应引起的距离偏差可达米级。对时间脉冲的测量一般采用晶振时钟计数的方法进行。在一般的小型测距仪中, 考虑到系统的成本、体积和耗电量, 其处理器一般采用单片机, 对时间的测量也采用单片机的晶振进行。假设采用10MHz的晶振, 则对时间的测量精度为 $\pm 100\text{ns}$, 对应的距离精度为 $\pm 15\text{m}$ 。显然, 这样的测距精度是无法满足需要的。针对以上这两个问题, 本文将介绍一种小型、低成本的脉冲式半导体激光测距仪, 该测距仪采用定比例鉴别器(constant fraction discriminator, CFD)进行stop时刻定位, 以消除定位漂移。同时, 采用时间放大器对时间脉冲进行放大, 以减少晶振时钟计数测时的误差。当接收

作者简介: 余向东(1968-), 男, 高级工程师, 主要从事光电子领域的研究。E-mail: yuxd@cjl. edu. cn

收稿日期: 2007-10-23

脉冲信号幅度在 0.2 ~ 2.2V 范围内变化时,该测距仪可获厘米级的测量精度。

2 系统工作原理

系统原理框图如图 1 所示。单片机发出 100Hz 左右的驱动脉冲送给激光驱动器,驱动半导体激光器(LD)发出同频的上、下沿为 5ns 左右,脉宽为 10ns 左右,波长为 905nm 的激光脉冲,同时产生一个电脉冲信号,作为起始信号送给距离-时间转换电路。激光器发出的光脉冲经发射透镜准直,向外发射。接收透镜将被测目标反射回的光信号聚焦,送给雪崩光电二极管(APD)转换成光电流信号,经跨阻前置放大器、增益可调放大器,将光电流信号转换成电压脉冲信号,经定比例鉴别器(CFD),转换成数字逻辑电平信号作为终止信号送给距离-时间转换电路。距离-时间转换电路根据起始、终止信号的间隔时间,产生一个和激光飞行时间有关的时间脉冲,为了减少晶振时钟计数误差,该时间脉冲经时间放大器放大,送给单片机计数。单片机经计数、校准、数据处理,最后显示和距离一致的数值。信号幅度判别电路随时监视增益可调放大器输出的信号,一旦发现信号幅度超出预定范围,立即通知单片机,单片机首先将本次测得的时间计数值置为无效,然后调节可调增益放大器的增益,甚至激光驱动器的工作高压值,并接收下一个脉冲信号,直至信号幅度回至预定范围之内,此时单片机将测得的时间计数值置为有效,经处理送给显示器显示^[2]。

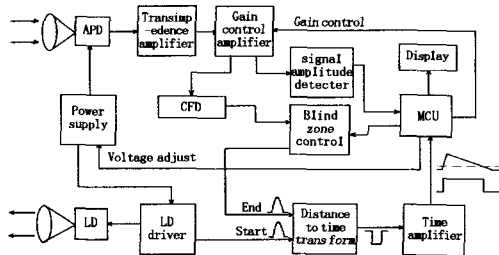


图 1 系统原理框图
Fig. 1 configuration of LRF system

3 CFD 电路

CFD 电路的电路原理图如图 2 所示。图 3 所示为 CFD 电路产生的波形图。CFD 电路由积分电路、微分电路、比较电路和偏置电路组成^[3]。目标反射光信号经 APD、跨阻放大器、可调增益放大器转换成电脉冲信号送给 CFD 电路,CFD 电路将输入信号分成两路,一路经积分电路送给超快速比较器 AD-CM553 的正端,另一路经微分电路送给比较器的负端,积分电路产生的波形和微分电路产生的波形产生交叉点,比较器在交叉点翻转,送出一个负脉冲给距离-时间转换电路。交叉点的时刻即对应的 stop

时刻。为了防止噪声触发比较器,偏置电路在比较器的正负端之间设置了一个偏置电压。当 CFD 电路的输入信号幅度由小到大变化时,由于积分电路和微分电路的作用,交叉点的时间位置基本保持不变,从而起到减少时间漂移的作用。

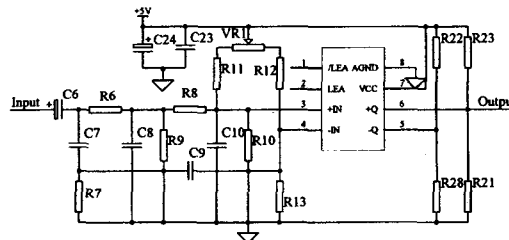


图 2 CFD 电路图
Fig. 2 schematics of CFD

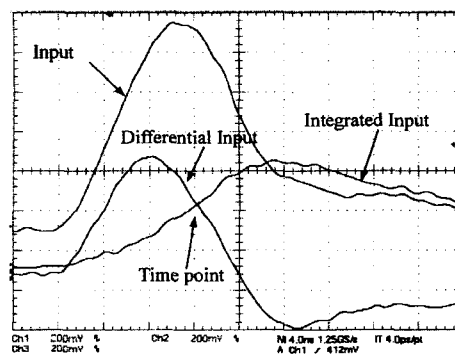


图 3 CFD 电路波形图
Fig. 3 waveform of CFD

CFD 电路并不能完全消除时间漂移,其主要原因是当输入信号幅度变化时,在交叉点信号的压摆率也相应发生变化,在偏置电压的共同作用下,交叉点的时间位置也发生相应漂移,信号幅度越小,产生的漂移值越大,偏置电压值越大,产生的漂移值越大。此外,比较器的延迟时间和输入信号的压摆率也有关系。图 4 为偏置电压为 28mV 时输入信号幅度和漂移误差的关系图,当输入信号幅度从 0.2V 到 2.2V 变化时,对应的时间漂移值为 -233 ~ 33ps,引起的距离漂移值的变化范围在 -35 ~ 5mm 之内。

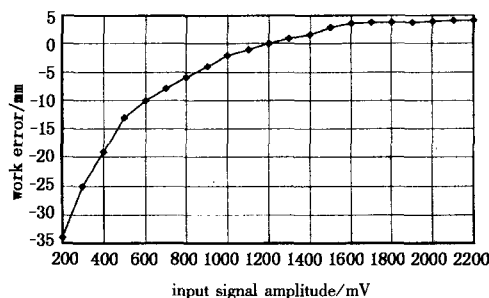


图 4 28mV 偏置时 CFD 的漂移误差

Fig. 4 walkerror of CFD with 28mV offset voltage

CFD 电路的偏置电压的设置是为了防止噪声触发比较器,为尽可能减少时间漂移,偏置电压不应

设置过高,因此 CFD 电路对输入信号的信噪比(信号脉冲幅度和噪声的 RMS 值之比)有较高的要求,一般要求大于 10。本系统采用 C30902E 雪崩光电二极管、AD8015 跨阻放大器(10kΩ 跨阻,240MHz 带宽)、CLC5523 可变增益放大器组成光电接收电路,3dB 带宽控制在 70MHz,在跨阻放大器输入端的等效噪声电流频谱密度约为 3pA/Hz^{1/2},可变增益放大器的放大倍数最大为 25 倍,整个光电接收电路输出的噪声 RMS 值最大可控制在 20mV 之内。

4 时间放大器

时间放大器电路图由图 5 所示。对应激光飞行时间的负脉冲经 TRIG 脚送给时间放大器,当负脉冲到来时,晶体管 T5 导通,电源经电阻 R14、晶体管 T5 对电容 C8 充电,当负脉冲结束时,晶体管 T5 关闭,电容 C8 经晶体管 T7 和电阻 R20 放电,电阻 R20 的取值应大于电阻 R14 的取值,这样,电容 C8 的充电电流较大(大约为 10mA),而放电电流较小(大约为 10μA),相应之下,C8 的充电时间短,放电时间长。当比较器 IC4A 输入正端的电平高于输入负端电平时,输出高电平,此时单片机计数器开始计数,当 IC4A 输出低电平时,计数器停止计数。由于采用了上述的时间放大机制,实际送给单片机计数器进行计数的时间脉冲宽度将得到大大拓宽,从而大大降低了因单片机计数时钟频率不够高而引起的计数误差,本系统取放大倍数为 1000 倍,采用 AT90S8535 单片机,计数器时钟频率为 8M,则时间误差将由原来的 ±125ns 降低为 ±125ps,对应的距离值大约为 ±1.9cm。

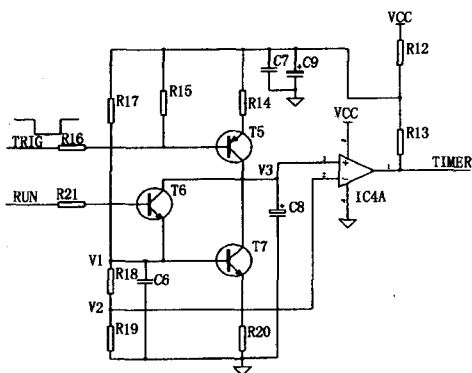


图 5 时间放大器电路原理图
Fig. 5 schematic of time amplifier

时间放大器的工作过程可分为零校准、标准脉冲校准和飞行时间测量三部分。零校准、标准脉冲校准的使用主要是为了消除因电子元件的延迟、温度漂移及失调漂移而产生的误差。零校准、标准脉冲校准和飞行时间测量三部分的工作原理示意图分别由图 6(a)、图 6(b)、图 6(c) 所示。

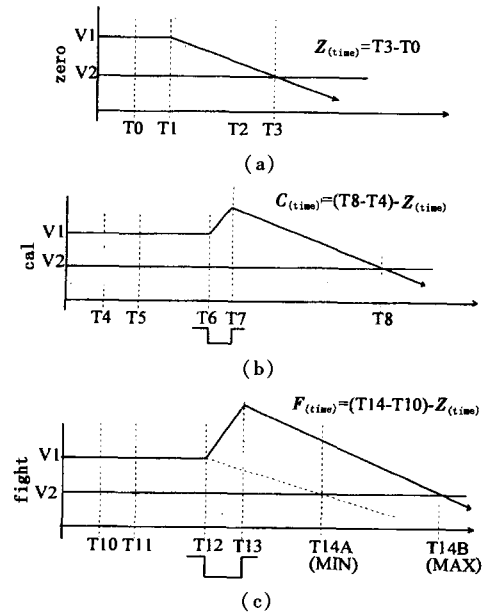


图 6 时间放大器的三个工作步骤
Fig. 6 tree step of time amplifier

在零校准期间(如图 6(a)所示),晶体管 T5 关闭,单片机通过引线 RUN 输出高电平,使晶体管 T6 导通,C8 的正端电位为约 V1。在 T0 时刻,线 TIME 为高电平,单片机计数器从零开始计数,经过大约为十几条指令的时间,在 T1 时刻,单片机置 RUN 为低电平,使晶体管 T6 关闭,电容 C8 开始缓慢放电,当比较器 IC4A3 脚电平 V3 低于 V2 时,TIME 翻转为低电平,计数器停止计数,此时的计数值对应的时间应为 T3 - T0,设为 Z_(time)。单片机将计数器计数值 Z_(time) 保存起来,作为零校准数据。

在标准脉冲校准期间(如图 6(b)所示),T4 时刻晶体管 T6 导通,电容 C8 正端电平 V3 约为 V1 大于 V2,TIME 为高电平,单片机计数器从零开始计数,和零校准模式类似,延时一段时间后,在 T5 时刻晶体管 T6 关闭。在 T6 时刻,标准脉冲使晶体管 T5 导通,电容 C8 快速充电,在 T7 时刻,晶体管 T6 关闭,电容 C8 以和零校准模式相同的速度放电,在 T8 时刻,V3 小于 V2,TIME 翻转为低电平,计数器停止计数,单片机获得的计数值为 T8 - T4,而标准脉冲校准时间 C_(time) 应为:(T8 - T4) - Z_(time)。T5 到 T6 的间隔时间大约为 50μs,以保证晶体管 T6 有充足的关闭时间。

图 6(c) 为激光飞行时间测量的工作示意图。激光飞行时间测量的工作过程和标准脉冲校准模式的工作过程基本类似,不同的只是在 TRG 端输入的是反应激光飞行时间的负脉冲。激光实际飞行时间对应的计数值 F_(time) 应为(T14 - T10) - Z_(time),时刻 T14 的计数值可等于或大于时刻 T3 的计数值。从

理论上,最近的测量距离可近至零,但在实际应用中最近距离的极限值受限于晶体管的响应速度,通常最短可测的飞行时间大约为 10ns。

最后,测距仪的测量距离应为: $K \times F_{(time)} / C_{(time)}$ 其中, K 为转换系数。

电子元件产生的延迟、温度漂移及失调漂移会对时间放大器产生影响,使得测距仪对同一距离目标在不同时间测得的结果产生变化。零校准和标准脉冲校准的使用正是为了消除这类因素的影响。测距仪在每次开机时自动进行零校准和标准脉冲校准。零校准的目的是为了消除时间放大器的零漂。标准脉冲校准主要起时基的作用。标准脉冲由高稳定晶振时钟经移位寄存器产生,因晶振的温漂极小,因此产生的标准脉冲比较稳定。 $C_{(time)} = (T8 - T4) - Z_{(time)}$ 对应于标准脉冲的时间,而该值是已知的。测距仪在测量实际激光飞行时间时以 $C_{(time)}$ 为时间基准,从而达到精确测量的目的。

(上接第 453 页)

用时间越长,获得附加能量的分子越多,从而使这个体系的内能增加。由于物质内部趋向于尽可能多地生成氢键以降低体系的能量,又因为氢键的键能小,形成的空间条件较灵活,它的形成和断裂所需活化能也很小,在具备形成氢键条件的丙酮水溶液中会尽可能多地生成氢键。因此,从本文可以得出结论:①丙酮水溶液在磁场作用下红外光谱会发生一定的变化。磁场作用使丙酮分子 CH_3 基团伸缩振动能量增加,同时原子键长缩短。②丙酮水溶液中氢键作用强度随磁场作用的时间而增强。但是对于丙酮水溶液中由于氢键而形成的分子复合物的动力学,用普通的红外光谱法不能得到一个明确的结果,还需要结合其他方法,进行进一步的研究,从而得到丙酮水溶液中氢键生成的详细过程以及外界条件变化时氢键变化的根本机理。

参考文献:

- [1] 颜承农,李杨,关中杰,等. 荧光光谱法研究丙酮与牛血清白蛋白的相互作用特征[J]. 环境科学学报,2004(11):1880-1885.
- [2] 徐桂云,范金石,李鹏. 氢键对丙酮水溶液粘度的影响[J]. 山东轻工学院院报,1999(13):22-24.
- [3] 王小燕,陈映. 丙酮红外光谱的溶剂效应[J]. 温州大学学报,2004(2):26-30.
- [4] 许雪松,胡湛,金明星. 丙酮分子团簇结构的量子化学从头计算研究[J]. 原子核物理评论,2002(2):1-2.

6 结论

本系统由于采用了定比例鉴别(CFD)和时间放大技术,有效地减少了因信号幅度变化而引起的时间漂移以及晶振时钟计时的误差,在基本不增加系统成本的前提下大大提高了测距精度。当接收脉冲信号幅度在 0.2~2.2V 范围内变化时,该测距仪可获优于 $\pm 7\text{cm}$ 的单次测量精度。

参考文献:

- [1] 张在宣,余向东,郭宁,等. 小型低值 LD 激光测距仪[J]. 激光与红外,1999,29(1):21-23.
- [2] 余向东,张在宣,郭宁,等. 宽测量范围的半导体激光测距仪[J]. 光电子激光,2001,12(10):1054-1057.
- [3] Jin Long Zhang, Ari Kilpelä, Kari Määttä, et al. Low-noise, wide-band receiver for imaging lidar in space application[J]. J. Opt., 1998, 29:216-219.
- [4] 余向东,张在宣,郭宁,等. 具有自动增益控制的零盲距半导体激光测距仪[J]. 激光与红外,2001,31(5):298-303.
- [5] Hui Ning, S Wiegand. Experimental investigation of the Soret effect in acetone/water dimethylsulfoxide/water mixtures[J]. The Journal of Chemical Physics, 2006, 125: 12418-12602.
- [6] Leonardo Bernasconi, Michiel Sprik, Jürg Hutter. Time dependent density functional theory study of charge-transfer and intramolecular electronic excitations in acetone-water systems[J]. Journal of Chemical Physics., 2003, 119: 12418-12602.
- [7] 邓波,庞小峰. 在静磁场作用后水的光学特性的改变[J]. 科学通报,2007,(5):999-1002.
- [8] Jean-Joseph Maxa, Camille Chapados. Infrared spectroscopy of acetone-water liquid mixtures: II Molecular model[J]. Journal of Chemical Physics, 2004, 120: 6625-6643.
- [9] V A Zubov. Cluster structure of liquid alcohols, water and n-hexane[J]. Journal of Applied Spectroscopy, 2005, 2:73.
- [10] Adachi D, Katsumoto Y, Sato H, et al. Near-infrared spectroscopic study of interaction between methyl group and water in water-methanol mixtures[J]. Appl. Spectrosc., 2002, 56(3):357.
- [11] A D Buckingham. The hydrogen bond, and the structure and properties of water and the water dimer. [J]. Journal of Molecular. Structure, 1991, 250:111.
- [12] P Luck, H Borgholte, T Habermehl. H-bonds in methanol-water mixtures; indications of non-H-bonded OH in liquid water[J]. Journal of Molecular. Structure, 1988, 177: 523.