

•激光技术•

## 高精度远距离激光测距系统设计

刘宗新, 刘景鹏

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

**摘要:**针对目前激光测距系统时间测量误差大、测距精度低、测量范围小等缺点,设计一种基于延迟线插入法的高精度远距离激光测距系统。分析了系统的工作原理,叙述了系统的硬件设计和软件算法设计,详细介绍了高精度时间测量单元,并研制出了高精度远距离激光测距系统。实验结果验证了测距系统的可行性,系统运行稳定可靠,有广阔的应用前景。

**关键词:**激光测距;延迟线插入法;时间计量

中图分类号:TN249

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-05-0001-04

## Design of High Precision Long Range Laser Rang-finding System

LIU Zong-xin, LIU Jing-peng

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

**Abstract:** For the disadvantages of high error of time measure, low precision of range-finding and small range in the laser range-finding system, a high precision and long range laser range-finding system based on delay line interpolation method is designed. The operation principle of the system is analyzed. The hardware and software algorithm designs of the system are introduced. The high precision time measure unit of the system is introduced. And a high precision and long range laser rang-finding system is developed. Experimental results show that the system is feasible, stable and reliable and has a greater prospect.

**Key words:** laser range-finding; delay line interpolation method; time measure

激光测距分为脉冲式激光测距和连续波激光测距,脉冲式激光测距适用于长距离高精度测距系统,时间测量精度直接决定脉冲式激光测距精度,目前有两种方式计量时间,第一种以时钟计时方式计量时间<sup>[2]</sup>,其时间测量精度取决于时钟精度和时钟频率,一般误差均在几个纳秒以上,第二种以CPLD或者FPGA内部构建延迟线测量时间<sup>[1-3]</sup>,其理论精度可以达到皮秒级,但是因硬件内部布线不均匀,会造成不可预测的时间测量误差,并且器件随温度漂移而产生相应测量误差,而且基于延迟线方法计量时间超过毫秒以上时,由于硬件容量有限,无法长时间计量时间,未能应用于远距离测距。以上两种方式无法满足高精度远距离激光测距系统要求。设计了一款基于延迟线插入法的高精度远

距离激光测距系统,系统采用基于延迟线插入法的时间测量方法计量时间,计量时间可达到皮秒级,不但提高测距系统的测距精度,而且提高了测量范围,测距范围可达到几百公里。文中着重介绍基于延迟线插入法的时间测量方法。

### 1 系统工作原理

激光测距系统由激光发射模块、激光接收模块、时间测量模块和电源模块组成,系统组成框图如图1所示。其中电源模块提供整机电源;激光发射模块发射测距激光;激光接收模块接收出射激光和经目标漫反射返回的激光,并输出光采样信号和回波信号至时间测量模块;时间测量模块计算光采

收稿日期:2016-09-11

作者简介:刘宗新(1973-),男,本科,研究方向为光电工程技术;刘景鹏(1987-),男,硕士,研究方向为光电工程技术。

样信号与回波信号时间长度,并输出距离信息。

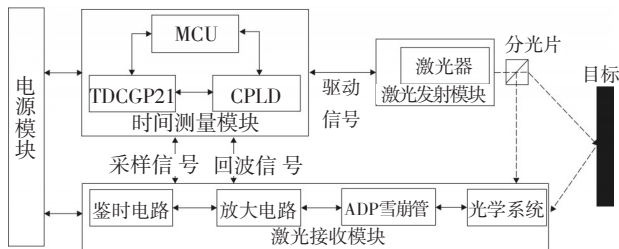


图1 激光测距系统框图

工作原理:激光发射模块发射测距激光,出射激光中部分激光经分光片进入激光接收模块,激光接收模块进行光电转换输出光采样信号至时间测量模块,出射激光经目标漫反射后返回到激光接收模块,激光接收模块将光信号转变为电信号,并输出回波信号至时间测量模块,时间测量模块计算时间长度,根据光速计算目标距离,参照距离测量误差值修正测距值,输出最终测距数据。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 激光接收模块设计

激光接收模块完成光电转换,并输出光采样信号和回波信号。激光接收模块由光学系统、光电探测器、信号放大电路和鉴时电路等组成。

#### (1) 光电探测器

为了使测距系统具有远距离测量能力,在激光器能量固定的基础上,需要提高激光接收模块的接收灵敏度,选用雪崩光电二极管作为光电探测器,其具有响应快、灵敏度高等特点,是激光测距中广泛采用的探测器,响应波长从400~1100 nm,响应曲线如图2所示。同时探测器内部还集成了前置放大器,具体电路如图3所示。

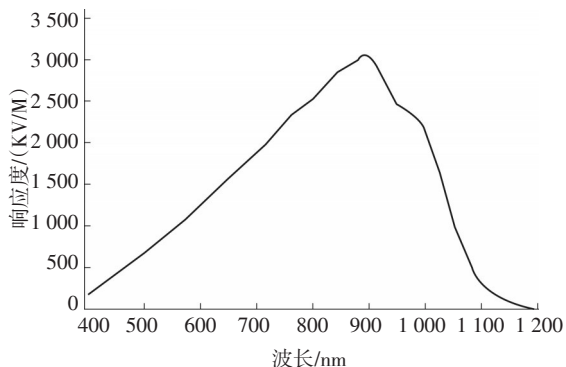


图2 探测器光谱响应曲线图

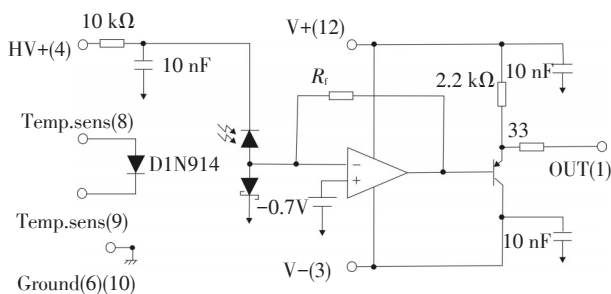


图3 探测器内部放大电路图

#### (2) 鉴时电路

激光经光电探测器转换为模拟信号,需转换成数字脉冲信号触发时间计量,一般采用阈值比较法,将输入模拟信号与固定的阈值信号比较,分辨输入信号是否有效,由于激光脉冲不是规则的方形,而是钟形脉冲,采用单一阈值鉴别方法影响激光鉴时精度,采用鉴时电路可以有效避免激光脉宽带来的测量误差。

### 2.2 时间测量模块设计

时间测量模块计算光采样信号与回波信号时间长度,并输出最终距离数值,时间测量精度越高,测距精度越高,若采用时钟计量时间,由于时钟精度以及时钟频率等多方面因素影响测量精度。采用基于延迟线方法测量时间,测量精度可达到皮秒级,其应用内部逻辑门延迟实现高精度时间测量,其测量精度取决于内部信号通过逻辑门的传播时间,其测量原理图如图4所示。

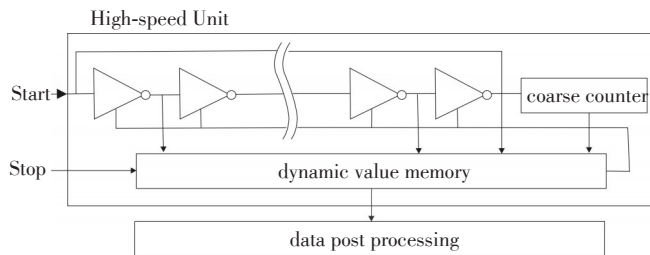


图4 延迟线测量原理框图

外部输入光采样信号至Start接口,信号经过每个延迟门的时间固定,直到回波信号输入到Stop接口,停止计时,时间计时模块计算信号所经过的延迟门个数,根据每个延迟门延迟时间计算时间。对于毫秒级时间测量范围,因延迟线内部结构,无法

构建大容量硬件延迟系统,测量时间范围较小,无法满足长时间计时要求。

延迟线方法可精确测量时间,如果进行长时间计时,延迟线整体硬件结构及逻辑数量较大,采用延迟线插入法技术可解决高精度时间计量问题和宽范围时间计量问题。延迟线插入法时间测量单元内部包含延迟线计时模块和时钟计时模块,延迟线计时模块用于计量小于时钟  $T_{ref}$  的时间长度,时钟模块用于计量大于单个时钟  $T_{ref}$  的时间长度。其测量原理图如图5所示。

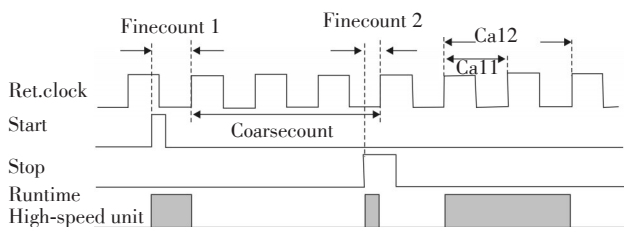


图5 延迟线插入法测量原理框图

延迟线不测量整个时间长度,分别测量从 START 信号和 STOP 信号到相邻基准时钟  $T_{ref}$  上升沿之间的时间 Finecount1 和 Finecount2,时钟计时模块

计算 Finecount1 和 Finecount2 之间的时钟周期个数 Coarsecount,从起始信号到停止信号总的的时间由公式1可得

$$T = T_{ref} \times Coarsecount + Finecount1 - Finecount2 \quad (1)$$

延迟线插入法计时技术不但解决了延迟线无法长时间计时问题,而且提高了时钟计量时间的计时精度,具有延迟线的高计时精度和时钟计时宽范围优点。

时间测量模块采用德国 ACAM 公司基于 CMOS 工艺设计的一种高精度时间数字转换芯片 TDC-GP21,其采用简单逻辑门的传播延迟来精密量化时间间隔,即延迟线插入法技术,其时间测量精度达到了皮秒级别。此款芯片可对两个或多个脉冲之间的时间间隔精确测量,时间测量精度可达 45 ps,测距精度可以达到厘米级,其分为两个测量范围,测量范围1为 0~1.8  $\mu$ s,测量范围2为 500 ns~4 ms,可对 0~600 km 距离范围进行精确测量。

TCD-GP21 内部包含时间测量模块 TDC、数据处理模块和通信模块,时间模块完成时间计量,数据处理模块存储计量数值和配置参数,通信模块采用 4 线 SPI 与外部通信。其内部组成框图如图6所示。

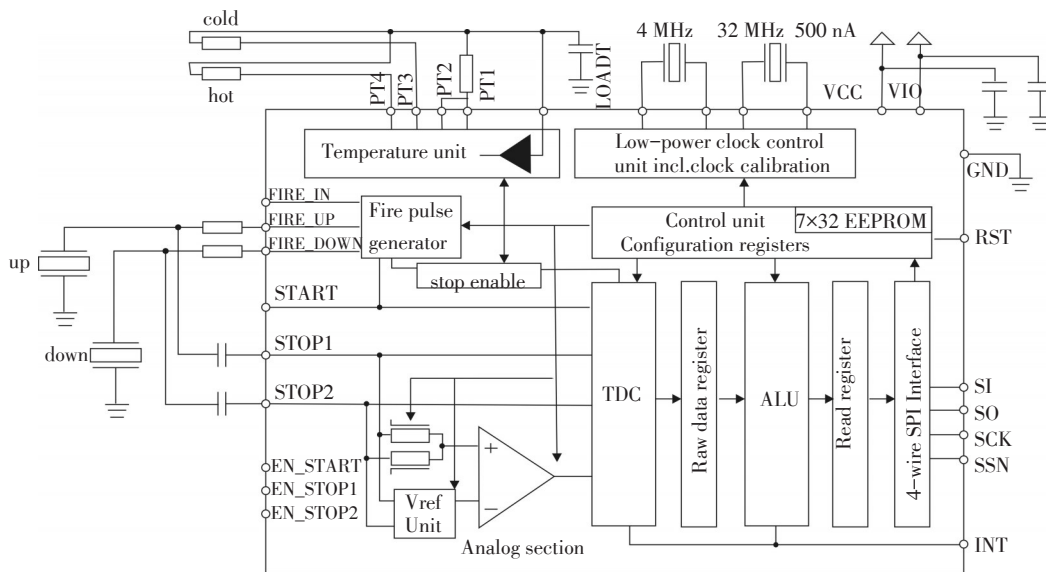


图6 TCD-GP21 组成框图

### 3 系统软件设计

以整体流程图方式进行软件设计的说明,系统软件流程图如图7所示。系统初始化并自检,待机

等待,当接收到上位机发送测距使能指令后,启动 TDC 计时模块,激光器发射激光,接收到回波信号后计算光采样信号与回波信号时间长度,根据光速计算目标距离,并上报距离值。

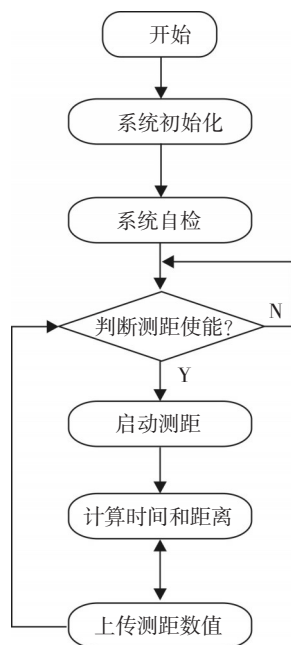


图7 系统软件流程图

## 4 实验测试

为了测试时间计量的精确度,采用脉冲信号发生器输出多个不同时间间隔脉冲对测距系统的时间测量模块进行测试,时间测量模块最终输出时间计量精度可达到 96 ps,测距精度达到 1.44 cm,验证了采用延迟线插入法技术测量时间的精确性与可行性,测试结果如表 1 所示。

表1 时间计量测量结果表

脉冲信号发生器输出脉冲时间间隔/ns	10.00	500.00
时间测量模块测量时间数值/ns	10.075	499.921
测量误差/ps	75	79
理论测距误差/cm	1.125	1.185
脉冲信号发生器输出脉冲时间间隔/ns	200 500	3 600 000
时间测量模块测量时间数值/ns	200 500.092	3 599 999.904
测量误差/ps	92	96
理论测距误差/cm	1.38	1.44

对整机进行实验,对不同距离目标测距,时间计时精度可达到皮秒级,测距精确可达到 30 cm 以内,分析原因为激光器输出激光脉宽为 7 个纳秒,导致回波最窄脉宽为 2 个纳秒,所以不能达到几厘米的测距精度,若采用更窄脉宽激光,可实现更高精

度测距功能。

## 5 结论

设计了一款基于延迟线插入法的高精度激光测距系统,通过采用高精度时钟与延迟线相结合的方法计量时间,降低了激光测距系统中时间计量所带来的误差,有效地提高了激光测距系统时间测量精度和测量范围。实验证明,采用延迟线插入法测量时间,时间测量精度可达到皮秒级,时间测量误差小于 96 ps,测距误差小于 1.44 cm;时间测量范围达到 4 ms,测距范围达到 600 km,基于延迟线插入法的时间测量系统解决了高精度长时间计量时间问题,满足高精度测距系统要求。

## 参考文献

- [1] 孙杰,潘继飞.高精度时间间隔测量方法综述[J]. 计算机测量与控制,2007,15(2):145-148.
- [2] 吴刚,李春来,刘银年,等.脉冲激光测距系统中高精度时间间隔测量模块的研究[J]. 红外与毫米波学报,2007,26(3):213-216.
- [3] 余向东,张在宣,王剑锋.一种小型高精度脉冲式半导体激光测距仪[J]. 激光与红外,2008,38(5):458-461.
- [4] 丁建国,沈保国,刘松强.基于数字延迟线的高分辨率 TDC 系统[J]. 核技术,2005,28(3):173-175.
- [5] Arthur James Lowery, Malin Premaratne. Design and simulation of a simple laser rangefinder using a semiconductor optical amplifier-detector[J]. Optics Express, 2005, 13(10):3647-3652.
- [6] Vincent Delaye, Pierre Labeye. High-resolution eye safe time of flight laser range finding[J]. Proceeding of SPIE, 2000, 4035:216-225.
- [7] Rasmussen AL, Sanders A A. Transfer standards for energy and peak power of low-level 1.064 micrometer laser pulses and continuous wave laser power[J]. Optical Engineering, 1986, 25(2):277-280.
- [8] Kostinva, Sysinve, Tikhomirov S. Precision photometer for measuring low levels of maximum power of a pulsed laser [J]. Measurement Techniques, 1983, 26(9):763-765.
- [9] 霍玉晶,陈千颂,潘志文.脉冲激光雷达的时间间隔测量综述[J]. 激光与红外,2001,31(3):136-139.
- [10] 肖洪梅,苏心智,陈长庚.微弱激光脉冲信号的相关检测实验[J]. 激光技术,2004,28(3):65-67.
- [11] 胡以华,舒嵘.地面目标激光回波特征实验研究[J]. 红外与激光工程,2002,31(2):31-33.