维普资讯 http://www.cqvip.com

激光多周期测距方法

郝建华，曾 峦

（装备指挥技术学院测量控制系，北京 101416）

摘要：介绍了脉冲激光测距的工作原理，分析了脉冲激光测距存在的问题，在此基础上提出了激光多周期测距方法，即用接收到的回波信号驱动发射激光主波脉冲，从而形成振荡，通过测量多个周期内的时间积累后取平均而计算距离的一种方法。阐述该方法的基本工作原理，并就提高测量精度的方法和影响因素进行了分析。给出了实现该方法的系统组成框图，分析了提高其精度的关键技术，实验证明该方法是一种成本低、测量速度快、精度高的短距离测距新方法。

关 键 词： 激光测距； 多周期测量法； 精度

中图分类号：TN24 **文献标识码**：A **文章编号**：1007-2276(2002)02-0109-04

Multi-cycle laser range measurement

HAO Jian-hua, ZENG Luan

(Department of Measure and Control, Institute of Equipment and Command Technology, Beijing 101416, China)

Abstract: The principle and problems of pulse laser finder are described. And a method of multi-cycle laser range measurement is proposed. The oscillating is generated via the received echo driving main pulse of laser, and the range is gotten by calculating the averaged time of multi-cycle of oscillating. The principle and the system structure of this method are given. And the key techniques for improving precision are also analyzed. Experiments show that this method has the advantages of low cost, high measurement speed and high precision, and suit for short distance measurement.

Key words: Laser range measurement; Multi-cycle measurement method; Precision

1 引 言

激光测距在国防工业中有非常广泛的应用，从体制上可分为脉冲和连续波测距两类[1]。脉冲测距根据发射一个脉冲到接收该脉冲的时间来计算距离，主要用于远距离测量，如天体、靶场试验、大地测量等，精度可达到1m，通常需加合作目标。在近距离测量时（如1km内），相对误差太大，不实用，通常采用连续波相位测距，即发射固定频率的连续脉冲，根据接收与发射脉冲的相位差计算距离的一种方法，精度可达到1cm。但采用这种测距方法的系统比较复杂，

收稿日期：2001-07-23； **修订日期**：2001-11-05

作者简介：郝建华（1973-），男，陕西延川县人，讲师，硕士，主要研究方向为光电测量与模式识别，发表论文多篇，参加"十五"国防预研项目1项。

维普资讯 http://www.cqvip.com

需要两套相位检测系统：粗测与精测，因此对本振频率要求非常严格。文中提出的多周期测量方法结合了两种方法的特点，通过发射激光脉冲，用回波再次触发主波，从而形成振荡频率随距离远近而变化的连续脉冲序列。通过对多个周期计数，可以达到提高精度、简化系统的测距效果。

2 脉冲激光测距原理

脉冲激光测距原理是利用激光传播往返时间差的测量来完成的。当所计往返时间差为 t，光速为 c，计数频率为 f，所测距离 d 为：

$$d = \frac{1}{2}ct = \frac{1}{2f}cn \tag{1}$$

图1为激光测距原理框图[2]。由脉冲激光发射系统、接收系统、控制电路、时钟脉冲振荡器和计数显示电路等组成。其工作过程为：按下启动按扭，使复位电路给出复位信号使整机复原，处于准备测量状态，同时触发脉冲激光发生器，产生激光脉冲输出。该脉冲光中一小部分由参考信号取样器直接送到接收系统，作为计时的起始点信号，而大部分激光射向目标，经目标反射后返回测距仪，并由接收系统接收，形成测距信号。由于激光光速很快，计数频率的高低直接影响着所获得的测距精度。当测距为1500m时，光脉冲往返时间 $t=2d/c=10\mu s$，如果这时采用的时钟脉

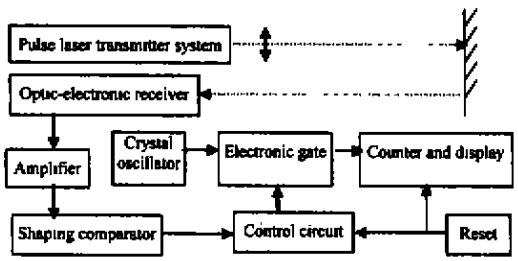

图1 激光测距原理框图

Fig.1 Schematic diagram for laser finder

冲频率为150MHz，那么在10μs时间间隔内应记数1500个脉冲，也就是说每个脉冲所代表的距离为1m。在检测中如有一个脉冲的误差，其测距误差则是1m。这对远距离测量来说尚能允许，但对近距离如50m来说，其相对误差就太大了。通过提高时钟脉冲的频率可以减少这一误差，如果要得到1cm的测量精度，则要求计数频率为15GHz，显然这对整个测量系统的要求太高，相应就会带来两个问题：(1)过高的时钟脉冲不易获得；(2)普通器件无法保证精度，必须选用高频器件，这势必提高产品价格。

3 多周期测距原理

多周期测距的办法，简单地讲就是通过测量激光往返多个周期累计时间求平均的一种方法。即发射系统发射光脉冲，从发射时刻开始计数，接收系统接收到回波光信号后不关闭计数器，而是经固定延时后再去触发发射光脉冲，这样发射-接收-延时-再次发射就形成周期振荡信号，经过多个周期后，关闭计数器。很显然距离越远，光从发射到接收所经历的时间越长，在延时一定的情况下信号的周期越长，则计数值越大。距离近则周期短、计数值小，可见计数周期的大小反映了距离的远近。把多个周期的计数值减去多个周期的延时后取平均，就得到了光脉冲往返一次所需的时间，带入公式(1)就可以得到距离。具体实现方法：发射点距待测点距离为 d，激光器发射主光波到待测面，经漫反射后返回发射点，光敏器件接收到回波后延时 t_0，再次发射主光波，如此光波在发射点与测量点之间形成周期振荡，振荡频率为 T，图2为波形图。

设计数频率为 f，通过测量 N 个周期的计数，光走过的总路程为 s，则有：

$$s = 2Nd = c(t - Nt_0) = c(n - Nn_0)\frac{1}{f} \tag{2}$$

$$d = \frac{s}{2N} = \frac{c(n - Nn_0)}{2Nf} \tag{3}$$

式中 n——计数器计数值；

n_0——延时 t_0 内计数器计数值。

首先分析没有延时情况($t_0=0$)，取 $N=150$，$f=100$MHz，则当计数值 $n=1$ 时，由上式可计算两点间的距离 $d=1$cm，也就是说，最小测量分辨率为1cm。如果采用单脉冲测距方法，将 $f=100$MHz、$n=1$ 带入公式(1)，可计算得两点间的距离 d 为1.5m，测量分辨率为1.5m。可见，采用多周期测量法在计数频率相同的情况下可提高测量分辨率 N 倍。如果降低计数频率，而其它参数不变，则当计数频率降到 $f=$

维普资讯 http://www.cqvip.com

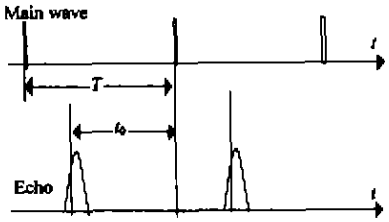

图 2　主波、回波时序图

Fig. 2　Scheduling diagram of main wave and echo

666.666kHz 时，由公式(3)可计算得两点间的距离 d 为 1.5m，此时测量分辨率为 1.5m，可见，在要求相同测量分辨率条件下，多周期测距法比单脉冲测距方法计数频率大大降低，这就对电路中计数与控制器件的要求大大降低，从而降低成本。

那么为什么加入延时呢？当测量距离很短时，如果不加入延时，由发射-接收-再发射所形成的振荡回路频率将很高。比如：距离为 1.5m 时，振荡回路频率就高达 100 MHz，对驱动放大电路响应速度要求太高，因此需要在接收到回波信号后加入延时，形成：发射-接收-延时-再发射振荡回路，就可以降低振荡频率。现在分析加入延时后的情况(取延时 $t_0=200$ns)，$N=150$，$f=100$MHz，可计算出 $n_0=20$，$Nn\backslash-0=3000$，则当计数值 $n=3001$ 时，由公式(3)可计算得两点间的距离 d 为 1cm，计数值 $n=3002$ 时，距离为 2cm，以此类推。若在计算电路中预先减去延时计数值 3000，则计数值直接就是距离。延时可以通过光路实现，也可以采用延时电路获取，图 3 为多周期测距原理框图。与图 1 不同之处在于回波经放大延时后又经过脉冲放大器驱动激光发光，形成振荡回路。

图中单片机的作用是对延时电路与计数器置数

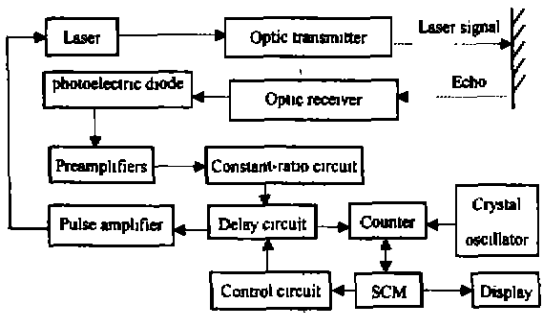

图 3　多周期激光测距原理框图

Fig. 3　Schematic diagram of multi-cycle laser range measurement

和复位，以及对计数结果进行计算与显示。

4　影响测量精度的几个因素

4.1　计数器的开启与关闭误差

如图 3 所示，光电管接收到回波，经放大比较后，在延时的开始触发控制电路使计数器开始计数，延时结束时，触发控制电路使计数器关闭计数。因为由激光器、雪崩管、放大延时组成的振荡频率比较小，而计数器频率比较高，因此在开启与关闭计数器计数时很难达到同步，从而引入计数误差。设计精密计数电路可减小计数误差，比如用延时计数器第一个计数脉冲的下降沿触发距离计数器，开启计数。在多周期测量中还可预测出该计数误差的统计平均值，并在系统误差定标时减去。

4.2　激光脉冲宽度

激光主回波受多方面因素的影响，是具有一定前沿的脉冲. 其幅度随机起伏，特别回波更为明显，但是最大脉冲误差不会超过脉冲前沿，如图 4 所示。

$$\Delta t_2-\Delta t_1\leqslant\tau_e \tag{4}$$

式中　τ_e 为回波脉冲前沿；Δt_1 为主波取样脉冲部位时间；Δt_2 为回波取样脉冲部位时间。图 4 中曲线 1、2、3 为三组强弱不同的回波信号，因此最大脉冲误差为：

$$\Delta\delta=\frac{1}{2}c\tau_e \tag{5}$$

可见，发射脉冲越窄，回波前沿越陡，则脉冲宽度引起的误差越小，因此采用响应速度快、调制频率高的半导体激光器作为发射器件。影响回波脉冲前沿的主要因素除激光发射脉冲波形、大气传输和目标特性外，探测光敏元件的响应时间、负载电阻、电容对系统截止频率有很大的影响，另外前级放大器的带宽对信号波形也有影响。需采用雪崩二极管作为探测器件，低噪宽带放大器作为前置。

4.3　比较电平

从图 5 可看出，如果对比较器取恒定的阈值 V，则信号 1、2、3 的比较时刻不同。假设信号的脉宽为 40ns，则由比较电平恒定可引入的最大误差为：

$$\Delta\delta=\frac{1}{2}c\,\tau_e=30\text{cm}$$

维普资讯 http://www.cqvip.com

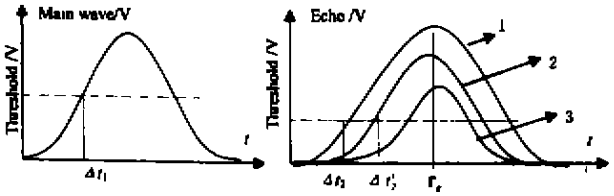

图4 主、回波波形图

Fig. 4 Diagram of main wave and echo

可见，比较电平直接决定测量精度。采用恒比定时电路[3]可以使比较时刻随信号强弱不同变化很小。图5示出，信号幅度增大时，阈值也增大，比较时刻 τ 不变。恒比定时电路原理框图如图6所示。

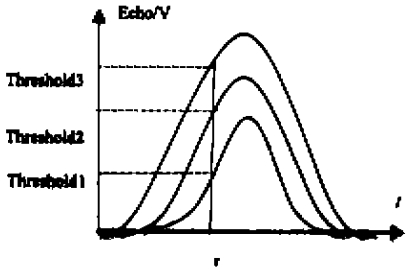

图5 恒比定时阈值变化图

Fig. 5 Threshold variety of constant-ratio time circuit

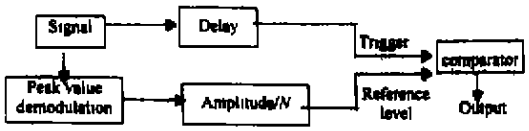

图6 恒比定时电路原理框图

Fig. 6 Schematic diagram of constant-ratio time circuit

定时比例点的选择要依据波形形状而定，为获取高定时精度，一般取前沿变化率最大的点作为定时点。在多周期测量方法中，由电路噪声、干扰引起信号幅度的随机变化可由多次振荡相互抵消，或形成一个相对比较稳定的系统误差，可通过标定去掉。

5 结 论

测距实验样机采用波长为680nm、功率为3mW的半导体激光器作光源，用摄像机镜头和硅光电二极管接收反射器反射的回波，采用普通的集成芯片设计计数、比较电路，用89C2051单片机作控制电路，证明激光多周期测距方法确实可以有效地提高测量精度、简化电路系统，在几十米范围内误差在1cm内，由于采用半导体激光器，用电池供电，体积小，可做成手持测距设备，可以满足建筑工程的需要，有较大的市场前景。

参考文献：

[1] 魏光辉，杨培根. 激光技术在兵器工业中的应用[M]. 北京：兵器工业出版社，1995.

[2] 高雅允，高岳. 光电检测技术[M]. 北京：国防工业出版社，1995. 320.

[3] 熊辉丰，华喆年，孙宝举，等. 激光雷达[M]. 北京：宇航出版社，1994. 200.

《光学系统设计》简介

第一章 基础光学与光学系统技术要求
第二章 光阑、光瞳和其它基本原理
第三章 衍射、像差和像质
第四章 光程差的概念
第五章 几何像差概述及消除方法
第六章 玻璃的选择(包括塑料)
第七章 球面和非球面
第八章 设计型式
第九章 光学设计过程
第十章 计算机性能评价
第十一章 高斯光束成像
第十二章 3～5μm和8～12μm热红外成像基础(和紫外光学系统)
第十三章 衍射光学
第十四章 照明系统设计
第十五章 性能评价与光学测试
第十六章 公差及生产率
第十七章 光学加工的考虑因素
第十八章 光学设计中的偏振问题
第十九章 光学薄膜
第二十章 硬件设计问题
第二十一章 镜头设计优化实例研究
第二十二章 光学系统的错误
第二十三章 经验法则和提示