

脉冲激光测距机的测距误差分析

戴炳明 张 维 李东石
(军械工程学院, 石家庄, 050003)

摘要: 从理论上分析了脉冲激光测距机的测距误差, 主要由晶体振荡器的振荡频率稳定度、接收系统的响应时间以及激光脉冲宽度三个因素的影响所致, 测距误差范围是 $-5\text{m} \sim 10\text{m}$ 。

关键词: 脉冲激光 测距机 测距误差

Analysis of ranging error of pulse laser ranger

Dai Bingming, Zhang Chu, Li Dongshi

(College of Ordnance Engineering, Shijiazhuang, 050003)

Abstract: This paper theoretically analyzed the ranging error of a pulse laser ranger. We considered the main factors of ranging circuits, such as the stability of oscillating frequency of crystal oscillator, response time of receiving system and width of laser pulse. The ranging error can be controlled in the range $-5\text{m} \sim 10\text{m}$ for design of a pulse laser ranger.

Key words: pulse laser ranger ranging error

引言

由于激光具有方向性好、单色性好、亮度高的特点, 因此, 激光测距和光学测距相比, 有精

越大, 接收到的光信号越多, 信号强度也越大。但模拟情况是 FOV 大了, 效果反而不好。这只能说明, FOV 加大以后, 虽然接收到的目标信号有所增加, 但同时也使多次散射对总的接收信号的贡献加强, 即接收到的背景噪声也越大。故 FOV 的增大造成了目标信号相对幅度变小。

通过以上分析, 我们得出如下结论: 接收机视场角 FOV 既不能太大, 也不能太小。视场角太大, 接收到的背景噪声随之加大, 目标信号的相对幅度减小; 视场角太小, 虽然背景噪声减少, 但目标信号强度也大大减小, 目标信号的相对幅度还是会降低。由模拟计算结果, 我们认为激光雷达的接收机视场角 $\text{FOV} = 20\text{mrad} \sim 30\text{mrad}$ 是非常适宜的。

参考文献

- 1 Zaccanti G, Bruscaiglioni P, Gurioli M *et al.* Appl Opt, 1993; 32(9): 1590 ~ 1597
- 2 Bissonnette L R. Appl Opt, 1996; 35(33): 6449 ~ 6465
- 3 Steinvall K O, Koppari K K, Karlsson V C M. Opt Engng, 1993; 32(6): 1307 ~ 1321
- 4 Poole L R, Venable D D, Campbell J W. Appl Opt, 1981; 20(20): 3653 ~ 3656
- 5 Tinetti E, Avriplier S, Tualle J M. J O S A A, 1996; 13(9): 1903 ~ 1915
- 6 Platt C M R. J Atm Sci, 1981; 38(1): 156 ~ 167
- 7 Gornette W M, Shanks J G. Appl Opt, 1992; 31(6): 3152 ~ 3160

作者简介: 卢益民, 男, 1945年8月出生。教授。主要从事图像处理、激光通信及探测的教学与研究。

收稿日期: 1997-07-29

度高、快速、测得远的优点^[1]。近年来,各国生产和装备于部队坦克、地炮、舰炮、高炮及火控系统激光测距机已有 170 余种,并且已经形成了标准化和系列化的产品。除军事应用外,它在大地上测量、国民经济建设工程施工中及空间目标的测量方面也被广泛地应用。

1 脉冲激光测距机原理

脉冲激光测距机的测距原理见图 1。由激光发射器对准目标发射一个激光脉冲,然后由接收系统接收从目标反射回来的回波脉冲,通过测定脉冲在待测距离上往返时间 t ,已知光速为 c ,则可用(1)式求得待测目标的距离 S 为:

$$S = ct/2 \quad (1)$$

由于时间 t 十分短,所以必须用能产生标准固定频率的时标振荡器和电子计数器来记录。如果时标振荡器振荡频率为 f ,在测距机和目标之间往返的时间 t 内(即取样信号和回波信号之间的时间间隔)包含时标脉冲个数为 n ,则待测距离 S 为:

$$S = cn/(2f) \quad (2)$$

式中, c 和 f 均为已知,只要测出 n ,便可由(2)式求出待测距离 S 。

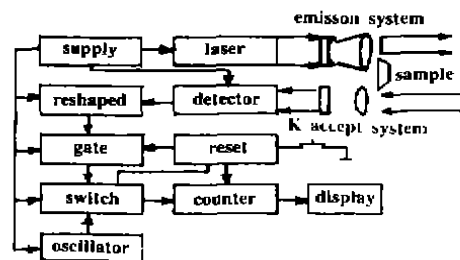


Fig. 1 Schematic of pulse laser ranger

2 测距误差分析

激光测距机的测距精度主要依赖于计数器的计数精度和仪器的测距误差。计数精度决定于计数器中基准振荡频率,也就是说,基准振荡器频率一定,那么计数精度就是一个定值。而测距误差是指测距机的显示结果与实际距离之差,下面我们从三个因素对产生脉冲激光测距机的测距误差进行分析。

2.1 晶体振荡器频率稳定度的影响

由(2)式可见,测距误差由 c , n 和 f 决定。光在空气中传播时,由于受介质、气压、温度、湿度的影响,传播速度会有一定的变化,其变化范围是 $12 \times 10^{-6} \text{ km/s}$,这对于 10km 的测距范围来说,其影响可以忽略。

对于光速为 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$,若测距机晶体振荡器频率 $f = 30 \times 10^6 \text{ Hz}$,在理想情况下, n 的误差值为 ± 1 ,则测距机测距读数精度有 $\pm 5 \text{ m}$ 的误差。

实际应用中,测距机的晶体振荡器受温度影响,也会有一定变化,其用数字频率计测得的数值见表 1。

Table 1

frequency	low temperature(-40°C)	normal temperature(22°C)	high temperature(50°C)
f_1	29.98093MHz		
f_n		29.97977MHz	
f_h			29.97868MHz
f_p		29.97979MHz	
Δf		$ f_1 - f_h = 2.25 \text{ kHz}$	
stability		$\Delta f/f_p = 0.75 \times 10^{-4} < 1 \times 10^{-4}$	

由表 1 及(2)式可算出,在 10km 距离下,晶体稳定度引起计数误差 $\Delta n = \pm 0.15$,相当于测距误差为:

$$\Delta S_{\text{晶}} \leq 5 \times (\pm 0.15) = \pm 0.75 \text{ m} \quad (3)$$

2.2 接收系统响应时间的影响

在理想情况下,接收系统门电路的开闭反应时间都是假定为瞬时的,也就是说,激光发射时,门电路同时打开,当激光回波回到测距机的瞬间,门电路同时关闭,此时计数器本身存在一个固定误差,这个固定误差是由于基准振荡器产生的振荡脉冲与门电路的开闭时间相位不同引起的,如图 2 所示。在理想情况下,门电路开启时间是基准振荡周期的 4 倍多。但由于基准振荡器产生的基准振荡与门电路开启相位不同,所以门电路输出的基准振荡就有可能是 5 个,也有可能是 4 个。而基准振荡器的相位是随机的,因此,计数器在计数时就可能会有 ± 1 个计数误差,在 $f = 30\text{MHz}$ 时,每个计数就代表 $\pm 5\text{m}$ 的距离,因此 $\Delta S_{\text{计}} = \pm 5\text{m}$ (4)

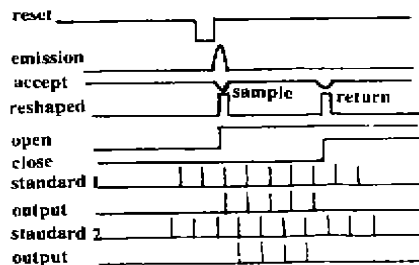


Fig. 2 Output wave of ideal gate

2.3 激光脉冲宽度的影响

脉冲激光测距机上用的掺钕钇铝石榴石调 Q 激光器,其脉冲半宽度约为 $6 \sim 8\text{ns}$ 左右,配合雪崩光电二极管用的放大器增益较高,为了减少噪声干扰,放大器的带宽应有一定限制。放大器后面的成形单稳态的阈值,一般是一定的,激光取样电脉冲的形状、幅值也是基本固定的。

但是由于大气衰减,目标反射特性的影响,激光回波光脉冲的相位、幅度就会随距离、气候条件、目标反射特性的改变而改变,所以激光测距机的测距误差就会随激光回波脉冲的相位、幅度的变化而变化。如图 3 所示,曲线 1 为取样电脉冲,曲线 2 为回波电脉冲,曲线 3 为倾斜大目标回波电脉冲(如山坡), V_i 为成形单稳态电路的阈值。由图可以明显看出,测距误差在理想情况下,从曲线 3 中的 t_{p1} 可看出要增大 3ns 左右,即相当于 1m 左右的距离。在大的倾斜目标情况下,从曲线 3 中的 t_{p2} 可看出,增大测距误差要比 t_{p1} 大得多,甚至要大于二倍。

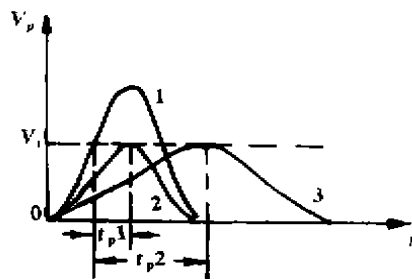


Fig. 3 Effect of laser pulse width

3 结果分析

综上所述,用同一台脉冲激光测距机测量同一远距离目标时,测距机的测距误差为 $\Delta S_{\text{总}} = \Delta S_{\text{振}} + \Delta S_{\text{计}} + \Delta S_{\text{脉}}$ 。

经上述分析表明,测距机的测距误差的设计数据是,负总误差可控制在 -5m 以内,而正总误差在大的倾斜目标(如山坡)情况下,可能接近 10m 。因此,系统在没有达到设计要求时,是不可能达到精度为 $\pm 5\text{m}$ 这一指标的。另外,即使测距机完全达到设计要求,有时也会因为外界因素的影响而超出这个范围,这是我们必须注意的。

参 考 文 献

- 1 中国矿业学院矿山测量教研室编,激光测距仪,北京:煤炭工业出版社,1980

作者简介:戴炳明,男,1940 年 1 月出生。教授。现从事光电测量技术方面的教学和科研工作。

收稿日期:1997-08-27 收到修改稿日期:1998-09-22