

激光引信脉冲测距精度浅析

张红旗 罗尚文

(中国空空导弹研究院 河南洛阳, 471009)

摘 要:在现代战争中由于战场电磁环境的恶化, 激光体制的武器系统成为众多国家的新宠。本文针对激光引信脉冲测距中常遇到的测距精度问题, 分析了影响脉冲精度的因素, 提出了几种简单易用的解决方法, 对于激光引信的工程使用具有一定的参考价值。

关键词:激光脉冲测距 测距精度 激光引信

1 引言

在现代战争中, 战场电磁环境不断恶化, 作为识别近距目标的激光雷达系统, 激光引信可以在恶劣的战场环境下保持良好的全向探测能力和优良的抗干扰能力、无旁瓣、体积小、质量小, 这些优点引起了世界各国的注意。早在 20 世纪 70 年代中期, 美国首先在 AIM-9L 空空导弹中使用了激光引信, 80 年代法国研制成功攻击武装直升机的西北风激光引信。特别是上个世纪末发生的几场高技术局部战争, 激光技术经受了实战的考验, 更加验证了其可行性。

在国内, 激光引信技术仍然处于起步阶段, 目前基本上局限于简单的测距功能, 测距如果不准, 很多进一步的信号处理就无法进行, 因此关于激光引信测距精度的分析对于激光引信的工程化有着一定的指导意义。

2 激光脉冲测距原理

目前, 由于激光引信对于体积和重量有着近乎苛刻的要求, 激光引信一般为激光脉冲测距雷达, 优点是系统体积小, 测量迅速。由于其他体制的激光引信工程应用很少, 本文仅讨论脉冲体制的激光引信。作为一种非相干激光雷达, 它应用的是脉冲法测距, 即利用脉冲激光器发射一个或一系列很窄的激光脉冲, 通过测量回波与发射主波之间的脉冲延迟

时间来测量距离, 即测量飞行时间法。在灵敏度足够和不产生测距模糊的情况下, 其最大测量距离为

$$R_{\max} = \frac{c}{2} T_r = \frac{c}{2f_r}$$

式中: c 是光速; T_r 是激光往返于发射器和目标之间的飞行时间, 在这里它等于发射脉冲的重复周期; f_r 是激光发射脉冲的重复频率。

用来确定回波脉冲是否到达的同步标志就决定了测距的准确度。目前常用的同步判据是阈值门方法。其工作过程为: 同步信号由信号处理机给出, 一路送到发射机作为发射同步时钟, 另一路作为计数器的起始信号, 计数器开始计数。有目标反射回来的回波经过光学系统到达探测器转变为电信号, 放大后经比较器, 超过阈值的信号作为计数器的停止信号, 计数器停止计数。此时计数器的数值即为光波往返于发射器和目标之间的飞行时间, 因而是目标距离的一种度量。如果在预定时间内没有目标回波信号, 则计数器清零等待下一周期的脉冲。

3 影响脉冲测距精度的因素

影响脉冲测距精度的主要因素由激光测距机各部分误差和大气传输引起的误差两部分组成, 它也可以分为系统误差和随机误差两种。系统误差主要分为计数器频率误差、大气折射误差、电光延迟误差。随机误差主要分为大气修正残差、计数器频率不稳定引起的距离误差、计数器有限量化值引起的距离误差、起动与停止脉冲触发前沿不同引起的距离误差。

在激光引信中由于传输距离很近, 大气影响较

小,一般不考虑大气传输影响,对于系统误差和随机误差,由于系统误差一般可以通过校正而改善,所以这里主要讨论的是随机误差。

在脉冲激光测距雷达中,能够影响测距精度的因素可归纳为^[1]:

- (1) 发射的激光脉冲上升时间和持续时间(即脉冲宽度);
- (2) 激光接收机带宽;
- (3) 信号处理电路中的距离计数器计数精度;
- (4) 激光脉冲被目标展宽的程度;
- (5) 激光光束传播路程上的折射率变化;
- (6) 激光脉冲回波信号起伏;
- (7) 统计性的脉冲失真;
- (8) 接收机的信噪比。

对于现在常用的阈值门方法,由于激光引信的特点决定,回波信号的幅度变化范围很大(见图1)。根据激光雷达探测距离公式,随着收发光束束散角的变化,目标回波信号与弹目距离的三次方甚至四次方成反比,对于近距离目标(取0.8 m)和远距离目标(取8 m),目标回波信号变化范围高达60 dB以上。

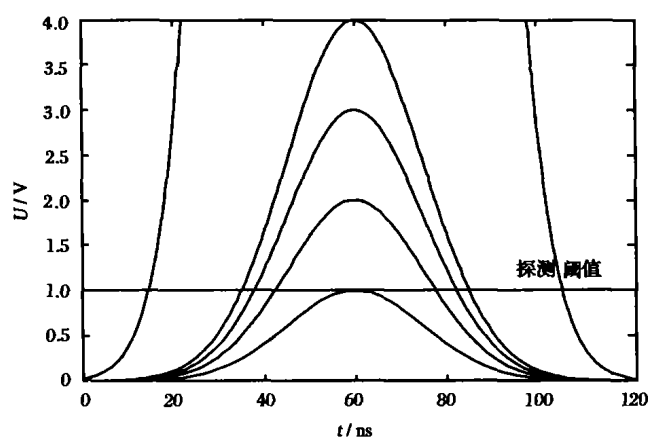


图1 幅度变化导致定时点变化

由图1可以看出,对于固定的1 V的阈值,由于相同距离处的目标回波幅度的变化(反射率不同)和脉冲前后沿的影响,对应通过阈值点变化很大,引起到达时间的误差和脉冲宽度的变化,进一步导致激光引信测距误差。定时点引起的最大时移就是整个波形的上升时间 τ_r ,例如,50 ns脉冲前沿的最大测距误差约为 ± 4 m,对于引信来说已基本丧失测距功能,严重影响后续的综合目标识别等信号处理。

4 提高脉冲测距精度的几种方法

从以上的误差分析可以看出,影响测距精度的因素很多,需要引信的各个部分共同采取措施来提

高测距精度。

4.1 发射机

分析幅度变化导致定时点的变化,其根本原因是由于脉冲并非理想脉冲信号造成的,发射脉冲越窄,脉冲前沿越陡,则定时点对幅度变化越不敏感。在信噪比不变的条件下,提高脉冲宽度,会使测距分辨率降低,由前面的分析也可以看出减小上升时间可以显著提高测距精度。

目前在保证足够的功率前提下,半导体激光器的光脉冲宽度一般在几十纳秒到上百纳秒,脉冲前沿一般在几十纳秒,所以提高发射驱动技术对于提高测距精度有着重要作用。现在,微脉冲激光雷达采用二极管泵浦的全固态激光系统技术(Diode Pump Solid System, DPSS),激光器发射脉宽非常窄,在10 ns以下,可以有效提高测距精度,但体积偏大,用在空空导弹激光引信上还需要做好小型化工作。

4.2 接收机

提高测距精度在要求发射脉冲前沿陡直的同时要求接收机有足够带宽,以减小波形失真,对于直接检波的脉冲体制激光引信,接收机带宽 Δf 遵循下式:

$$\Delta f = \frac{0.35 \sim 0.45}{t_r}$$

式中, t_r 为回波脉冲前沿。

对于50 ns脉冲前沿要求接收机带宽为7~9 MHz,如果脉冲前沿减小为10 ns,则接收机带宽相应提高到35~45 MHz。这时会导致整个引信的信噪比降低,处理不当会影响到引信作用距离。

为了消除幅度变化对定时点的影响,确保回波信号不失真,为信号处理提供准确的信息,在接收机中还应广泛采用自动增益控制(AGC)技术,增大接收机的动态范围。可以采用对数放大器、AGC电路、光学AGC等。对于激光引信,由于发射脉冲宽度很窄,普通的AGC时间常数过大,故需要采用快速AGC电路,这种情况下可更多地使用对数放大器和光学AGC控制。

4.3 信号处理

4.3.1 采用脉冲前沿微分^[2]

回波脉冲不出现饱和失真时,可以通过微分电路使脉冲变窄,前沿时间变短,当微分电路中 $R = 50 \Omega$, $C = 20$ pF时,其脉冲前沿约为3 ns,可显著降低定时点误差。当脉冲为典型钟形脉冲、无平顶时,也可以在微分后采用过零点检测来识别定时点。

4.3.2 提高时钟频率

由前面的分析可以看出, 阈值门方法使用计数器计数值作为激光脉冲飞行时间的度量, 被测距离 R_x 可以表示为:

$$R_x = c(N \pm 1)/2f_0$$

式中, c 为光速, N 为计数器计数值, f_0 为计数器时钟频率。

式中的 ± 1 是由于主回波开关门与时钟异步造成的计数误差, 可见提高 f_0 可以提高测距分辨率, 同时可以降低计数器有限量化值引起的误差, ± 1 m 的分辨率要求 150 MHz 的时钟频率。

4.3.3 采用脉冲中点辨别技术

信号处理中不用回波前沿作基准, 使用波形的中点(对于波形被散射展宽的并不适合)作为基准,

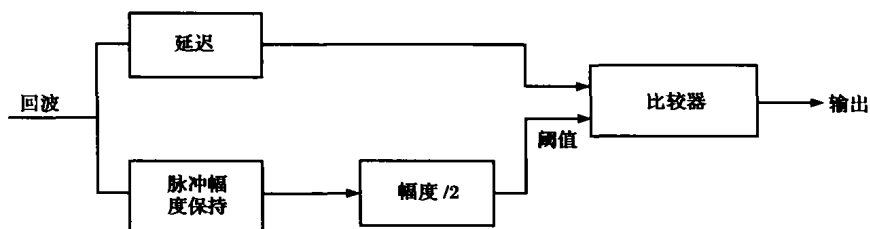


图2 恒比定时电路

持(Peak Sample - Hold, PSAH)电路, 用信号幅度的一半作为阈值, 在实际电路中, 可以采用任一固定的脉冲高度比进行计时, 这种方法简单、精度高, 只要波形不变, 即使幅度变化很大, 定时点也是不变的。在实现中的难点为精确的延迟与脉冲幅度保持。

4.3.5 AD 采集法

针对传统的阈值门方法主要是由脉冲波形幅度变化造成误差, 可以不用门控电路控制脉冲计数, 而直接利用高速数据采集卡结合弹载计算机进行数据采集和处理, 可以获得大量的回波信息, 从而得到精确的距离信息。但由于回波脉冲一般很窄, 需要的采样频率较高, 一般在 100 MHz 以上, 有一定的难度, 所以本方法使用受到一定限制。

4.4 光学系统

为了保证进入信号处理的信号不失真, 不仅需

在波形不失真、不被展宽(或展宽较小)时, 可以达到很好的精度。由于现在信号处理中广泛使用 CPLD 等可编程逻辑器件, 可以在软件中轻易实现脉冲中点的辨别, 由于非因果系统的物理不可实现性, 需要在整个脉冲出现后进行非实时处理, 会造成一些系统延迟, 但可以通过校正抵消掉。

4.3.4 采用恒比定时技术^[2]

在脉冲波形形状不变时, 可以认为脉冲上升沿相同幅度比例点对应的时间不变, 所以可采取在脉冲的固定点触发计数器等措施来提高测距精度。定时比例点的选取要视回波形状而定, 一般取前沿上变化率最大点作为定时点, 以获取较高的定时精度。原理框图见图 2。

在恒比电路中, 脉冲幅度保持采用峰值取样保

要在接收电路采用 AGC, 而且光学系统也要采用 AGC 控制。主要利用远距和近距时目标在视场的不同位置, 采用异型探测器, 在光学上实现 AGC 可以避免电路 AGC 响应时间过大的弊端, 两者结合可以更好地探测目标。

5 结 束 语

随着激光引信的发展, 精确引炸和对抗各种干扰的需要使其信号处理也日趋复杂, 很多算法都需要获得精确的距离信息, 针对工程中激光引信测距的问题, 本文提出了一些基本的解决方法, 希望能够起到抛砖引玉的效果。

参 考 文 献

- 1 戴永江. 激光雷达原理. 北京: 国防工业出版社, 2002
- 2 熊辉丰. 激光雷达. 北京: 宇航出版社, 1994

敬 告 读 者

2005 年,《航空兵器》在编排及版面上将进行一次较大的改版, 相应地对投稿文章也有了更高的要求, 敬请各位读者朋友关注封四所载征稿启事, 以便您投稿时按正确格式及要求书写。

本刊编辑部