

文章编号:1001-5078(2007)04-0308-04

激光自适应引信的研制

李大社¹, 管绍鹏¹, 华臻¹, 周燕²

(1. 山东工商学院信息与电子工程学院, 山东 烟台 264005; 2. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 鉴于目前导弹在精确打击目标时困难较大, 文中引入了一种新型的激光引信——激光自适应引信。首先论述了激光引信的组成, 然后阐述该方案(性能指标、关键技术等), 最后详细地讨论了其可行性。

关键词: 激光引信; 自适应; 导弹

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

Research on Laser Adaptive Fuze

LI Da-she¹, GUAN Shao-peng¹, HUA Zhen¹, ZHOU Yan²

(1. Shandong Institute of Economic & Technology, College of Information and Electronic Engineering, Yantai 264005, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Owing to difficulty meet when missiles attract targets precisely, a new type of laser adaptive fuze——laser adaptive fuze is put forward. First composing of the laser fuze is discussed. Then the schemes (performance index, key technique and solution) is expatiated on. At last feasibility is analyzed in detail.

Key words: laser fuze; adaptive; missile

1 引言

引信是导弹武器系统和各种弹药的重要组成部分, 其性能优劣直接关系到导弹武器对目标毁伤效果^[1]。常用的引信如激光引信具有抗干扰能力强、实时测距准时引爆等优点。近年来在航空炸弹、火箭、夜航导弹和反坦克导弹上大量采用, 并取得了满意的效果^[2]。尽管同是激光引信, 但由于各种武器系统和弹药技术指标不同, 其差别很大, 采取的技术指标不同, 差别就更大, 而采取的技术体制更是五花八门。特殊用途要求和作用的激光引信也不断问世, 因此可以说激光引信的研制还是方兴未艾。本设计方案设计的激光引信是一种特殊用途的激光自适应引信。所谓自适应就是在弹药可能旋转的条件下^[3], 始终可以测出对地高度, 具有对地测距、测距精度高、测量距离近、激光重复频率高、体积小、质量

轻、具有预测功能等优点。

2 激光引信组成

2.1 激光引信组成

激光引信的组成框图如图1所示。

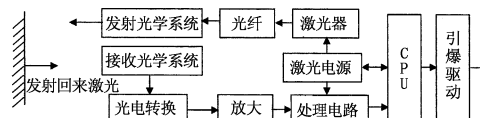


图1 激光引信组成框图

2.2 框图说明

①激光电源 激光电源不仅仅具有普通意义上给半导体激光器供电的功能, 而且是控制发出脉冲

作者简介: 李大社(1978-), 男, 硕士, 山东工商学院讲师, 主要研究方向为激光应用技术。E-mail: lidashe@126.com

收稿日期: 2006-08-10; 修订日期: 2006-10-28

宽度、计时起点信息的提供者。它在 CPU 指挥下工作,给激光器供电,同时把计时“信号”信息提供给处理电路和 CPU,作为参考“0”点;

②激光器 选用特殊砷化镓半导体激光器,它发出足够强功率、足够窄脉冲激光,并且能耗少,重频能满足要求,质量轻、体积小;

③光纤 半导体激光器的出光光束一般是一个矩形光束,即水平方向发散角约 34° ,垂直方向约 8° 。然而激光发出后让它直接进入光纤,由于入射角各不相同,经在光纤内多次全反射,光斑得到了改善,两个方向上角度差距缩小,对后面的光学系统设计极为有利;光纤的另一个作用是它的位置可以任意设置,如果不用光纤,光要耦合到发射光学系统,就要由几个棱镜组成光路耦合系统,不但体积、质量、成本会增加不少,而且它们的实验加固也是一个十分棘手的问题;

④发射光学系统 激光经光纤耦合后光束发散有了较大的改善,一般可从原来 34° 压缩到 24° 左右,但离系统设计指标 $1^\circ \sim 2^\circ$ 还相差很远。通过发射光学系统,一方面把光束发散角进一步压缩下来,另一方面它的光轴指向就代表了引信测距方向;

⑤接收光学系统 接收光学系统会聚从目标反射回来的激光。它的主要作用是对光能量放大,它的光轴指向决定它接收目标直接反射回来的光还是非直接反射光(如侧向的反射光),在测距应用中它的光轴应与发射光学系统一致或平行;

⑥光电转换 它把光能转换成电能。系统对它的响应速度、响应波长以及响应线性度有较高要求,例如响应速度应小于几纳秒等;

⑦放大 低噪声前放和主放是系统所要求的,并有一定的放大倍数;

⑧处理电路 它是本系统的核心之一,它要在极短的时间内处理出测量参数。如前所述,由于激光的脉冲宽度不可能做得很窄,它的宽度本身(如 50ns)已超出系统允许的误差范围,这个难题只能由处理电路解决;

⑨CPU 高速薄片 CPU 要完成接收来自激光电源和处理电路来的信息;计算出必要参数,及时向引爆驱动器输出引爆指令^[4];

⑩引爆驱动器 除通用要求外,系统对它的要

求是延时小、驱动能力强、安全可靠、不会在各种可能环境下产生错误引爆信号。

3 激光自适应引信方案

3.1 性能指标

炸高: 8m ; 误差: $\pm 2.5\text{m}$; 最大测距 $L_{\max} = 35\text{m}$; 最小测距 $L_{\min} = 3\text{m}$ 。

3.2 方案简介

集成光学系统镜筒在弹飞行末端要处于垂直向下位置,这时测得的距离就是所求参数,不用通过许多环节进行计算,不但精度要高得多,而且节省了许多时间上的开销,成本也会有所降低。

由于弹飞行到末端时与地面成一定角度,而垂直向下是指以水平面为参考的垂直方向,如果以弹轴为参考线,则光轴和弹轴之间有一定夹角,该夹角大小正好是着弹角的补角。垂直向下机构就是要保证当弹飞行到末端时让光轴与弹轴之间有一定夹角,示意如图 2 所示。

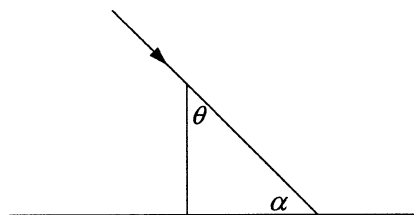


图2 垂直测高示意图

另一方面该机构务必经受弹在初始和飞行中会发生横向滚动的事实。该装置考虑采用以下机构,集成光学镜筒本身设计成一个单摆的摆锤,它可有两个自由度,一个是能绕弹轴转动自由度,不论弹横向如何滚动,它始终会置集成光学系统于向下位置,另一个自由度是单摆的摆角随着弹角不同而自动调整到补角位置上。具体结构如图 3 所示。

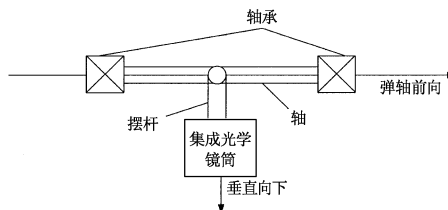


图3 二维摆结构示意图

当弹轴处在水平位置时,集成光学镜筒正好处在垂直向下位置。当弹进行横向滚动时,由于两个轴承作用,使集成光学镜筒和摆杆一起可以绕轴转

动,使摆锤也就是集成光学镜筒的光轴指向地心。当弹处于发射加速阶段时,结构上有一个锁定机构,以保证经受大加速度带来的冲击振动时摆锤可以灵活运动。当弹的加速度变为缓慢减速度时,锁紧机构放开。一旦锁紧机构开锁,此时摆垂就直接指向地心,摆线与弹轴夹角 α 就是着弹角的补角,如图4所示。

该方案的优点是显而易见的,然而这个方案也存在隐患:由于把集成光学镜筒当作摆锤,其本身体积、质量不会太小,随着弹角变化,使其所占有空间更大,因而该引信的体积不可能很小,这是其一。其二,更大的问题是会影响弹飞行的弹道。这是因为当锁紧机构松开后,极限情况可能摆锤就会从 90° 位置向下运动,根据动力学原理,载体内物体运动对载体产生一个附加力,由于摆有一定长度,而摆的重心又在集成光学镜筒上,摆绕轴旋转时产生的转矩达到最大,方向与弹轴几乎成垂直关系,当弹飞行到最高点时,这个不小的转矩会对载体产生向下的惯性力。

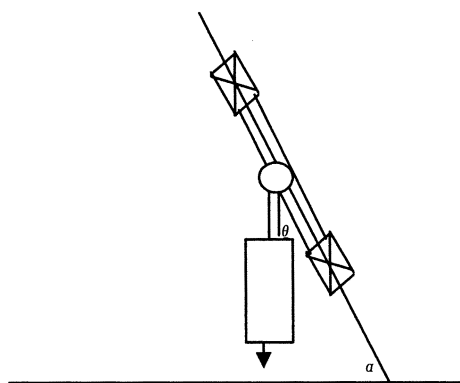


图4 弹末端摆相对位置示意图

为了解决这一问题可采取配重手段解决。阻尼是一个较好的解决途径,采用阻尼后,该摆的运动持续时间变得很慢,慢到对载体影响可以接受的程度。

采用阻尼手段有一个前提就是必须保证弹在系统测距过程中,着弹角严格不变或只变化很小角度,因为测距全过程充其量只有零点几秒的时间,大阻尼带来的长时间在最后阶段是系统不希望的。要求阻尼机构设计成一次性的,就是一旦阻尼开锁松开后,它就不起作用,让摆变为自由状态。

3.3 关键技术

本方案的最大特点就是直接获得高度参数,减

少了许多可能引起误差的环节。如果引信内部件活动,对弹影响可以接受的话,理论上比较理想,因为激光功率也不要太大,耗电也少。该方案的关键技术有两个:

(1) 配重手段尽可能克服部件活动影响

部件活动会对系统产生一定影响,通过对结构适当改进,这一影响会有较大程度的缓解,例如摆垂对轴中心而言是一头重,如果在反方向上加一个重盒,把处理电路等部件放在里面,如图5所示,集成光学镜筒的矩比配重盒矩大一些,这样,一旦松紧机构开锁后它的运动对弹的影响要小得多。

(2) 二维自由运动机构

一维为绕弹轴运动,另一维是垂直于地面方向自由摆动。该机构可示意如下:两个轴承在弹轴上支撑着轴可以绕弹轴旋转;杆一头连在轴上,另一头与集成光学镜筒连接。不论弹如何滚动或弹轴倾斜,集成光学镜的光轴都指向地心。

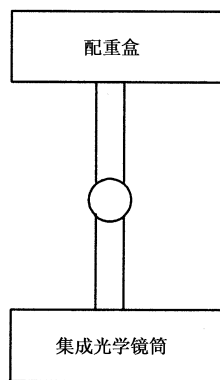


图5 带配重示意图

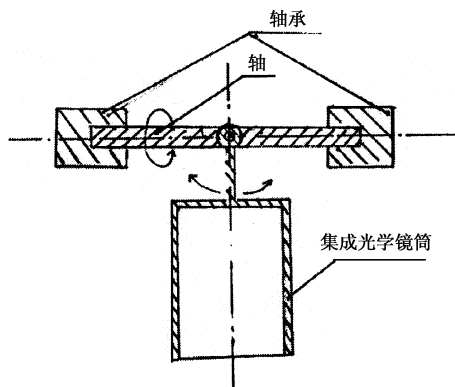


图6 二维自由运动机构示意图

4 方案可行性分析

从上面的叙述中可以看出,激光自适应引信涉及的测距精度、角度传感等关键技术,都可以解决,

因此理论上方案是可行的。对精确测距部分,设激光功率测量距离为 50m,激光重频为 2000pps,激光脉宽为 50ns,估算弹上硬件、软件工作的可行性。因为测距为 50m,则激光运行 $50 \times 2 = 100\text{m}$ 的时间为 333ns,它们的时序图如图 7 所示。

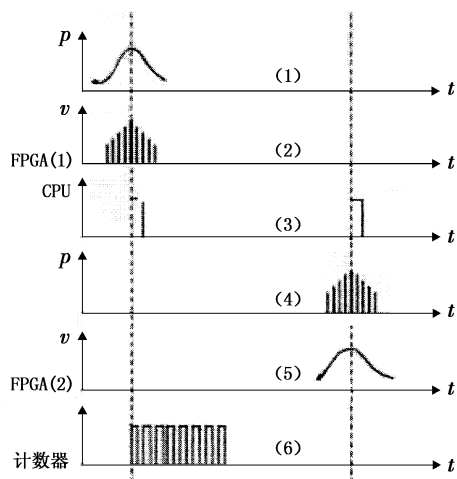


图 7 波形时序示意图

波形(1)是发射激光波形,在 $t = t_0$ 时刻达到高峰。该脉冲一方面向空间发射,另一方面进入 FPGA。 p 为发射激光脉冲的光功率。

波形(2)是 FPGA(1) 内多路阵列门波形,设每 6ns 为一个周期,则 50ns 波形被分成 9 个脉冲,该 9 个脉冲宽度一样,但高度不一样,经比较运算后,找出 t_0 脉冲最高峰值。 t_0 时刻信息送入 CPU 和计数器。 v 为取样后的光脉冲功率。

波形(3)为 CPU 收到带有时间信息脉冲,进行运算,例如 $t_0 - t_{x1}$ 时间为 333ns,则说明弹飞行高度为 50m。由于重频为 2000pps,间隔为 0.5ms;如果下一次测量时 $t_0 - t_{x2}$ 仍为 333ns,说明高度变化在测量误差之内;再隔 2 个间隔,测出 $t_0 - t_{x3}$ 为 327ns(因为 6ns 之内测不出来),则高度下降了 1m,也就是说 $0.5 \times 3 = 1.54\text{ms}$ 间隔内高度下降了 1m,系统要求在 8m 高时引爆,设引爆延时 3ms,则理论上还应该等待 $t_d, t_d = (50 - 8) \times 1.5 - 3 = 60\text{ms}$,CPU 可以预算出弹引爆时间。

波形(4)是接收激光脉冲波形;波形(5)为 FPGA(2) 运算波形;波形(6)是计数器计数脉冲序列。

计数器从 $t = t_0$ 开始计数,一直数到 t_x 为止。系统有一个下限设置。当计数器计到 8 时,如果 t_x 还未出现,它就往下数;如果此时 t_x 信号也过来,两

者相与输出,立即启动应急引爆信号。弹的炸点误差产生在引爆延时上(其实引爆延时的时间间隔可预先在软件、硬件上设置好)。仔细查阅波形图,发现 CPU 可以去掉,当然预测功能差一些(也可放在 FPGA 里),这些细节在设计时再做详细论证。

从上面的叙述中所选用器件并不是最快高档器件,例如计数器只选用 6s, FPGA 的一条指令需要 2~3ns,由于本方案处理简单,所需门数不多,这样的芯片属大众化商品。总之,本方案从硬件到软件设计都不是很困难^[5]。机械结构本身也是比较容易设计和加工的。因此该方案是切实可行的。

5 结 论

通过以上的论述可以发现该方案的优点在于引信内运动部小、造价低,而且对地测距时测距精度高、测量距离近,具有预测功能。这样必须要求:(1)激光器的重复频率必须足够高,而且激光器的功率也要足够高,在本方案中功率要在 10W 以上;(2)由于受体积限制,激光同光轴的发射接收光学系统必须设计成一体,即集成光学系统。(3)软硬件合理结合。本系统中如果全部由软件解决,不但难度较大,而且代价不低。如果全部由硬件解决,体积会变得不能接受。由于计算量不大,因而可以采用一个简单的 CPU 解决。而测距部分主要由硬件承担,软硬件有机结合是理想途径^[6]。

参考文献:

- [1] 张翼飞,石旭生,邓方林,等. 弹道导弹激光引信测高算法研究[J]. 制导与引信,2004,25(1):25-30.
- [2] 薛谦忠,吴振森,李良超,等. 激光引信目标近场散射特性理论研究[J]. 西安电子科技大学学报,2000,27(5):594-596.
- [3] 雷虎民,杨强国,刘文江,等. 导弹滚动稳定回路的一种简便自适应设计方法[J]. 电光与控制,2002,9(1):16-19.
- [4] 孙全意,唐海峰,张合,等. 人工智能引信中 DSP 实现技术研究[J]. 探测与控制学报,2001,26(5):36-39.
- [5] 林忠贤,薛晓东,等. 空空导弹制导与引信一体化设计技术研究[J]. 电光与控制,2002,9(2):51-54.
- [6] 马少杰,张河,王雨时,等. 引信软件可靠性设计技术研究[J]. 南京理工大学学报,2003,27(4):439-441.