

文章编号:1001-9014(2006)01-0077-04

激光欺骗式干扰与激光制导系统相互作用效应研究

徐代升, 王建宇

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:在时域上分析了激光欺骗式干扰作用时,激光导引头的信息处理过程.以具有抗干扰措施的激光制导系统为干扰目标,采用转发式激光欺骗干扰设备为干扰源干扰激光导引头,通过外场试验从系统级角度研究了欺骗式干扰与激光制导系统相互作用效应.用所记录的目标视线和系统光轴角误差数据表征相互作用效应,说明激光欺骗式干扰对激光导引头的影响与干扰设备的激光输出功率、欺骗信号的特性、外界环境因素以及激光导引头的信息处理方式密切相关.

关键词:激光技术;激光欺骗式干扰;激光制导系统;时域;角度误差

中图分类号:TN2;TN97 **文献标识码:**A

INTERACTIONAL EFFECT BETWEEN LASER CHEATING JAMMER AND LASER GUIDANCE SYSTEM

XU Dai-Sheng, WANG Jian-Yu

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The signal process of a laser seeker was analysed on time domain when it was interfered by a laser cheating jammer. A laser guidance system with countermeasure acting as an interfered target and a laser cheating jammer acting as an interfering source, the interactional effect between them was tested from the view of systems on field. The angle errors between the sight of target and the optical axial of a laser seeker were used to characterize the interactional effect. The results show that the effect of a laser cheating jammer on a laser seeker closely relates to the output power of the jammer and the performance of the cheating signal and environmental elements and the methods of signal processing of a laser seeker.

Key words: laser techniques; laser cheating jamming; laser guidance system; time domain; angle error

引言

在“沙漠风暴”及“沙漠之狐”行动中、在阿富汗战争中,激光制导武器所发挥的神奇作用为世人瞩目.为了遏制激光制导武器强大的杀伤力,人们开始探索对抗激光制导武器的有效方法,到目前为止,大致形成了两大类干扰方法:无源干扰(消光类干扰)和激光有源干扰(欺骗式干扰、压制式干扰).所谓无源干扰,就是在来袭激光方向上发射烟幕弹或消光弹,阻断敌方激光制导信号通路,使其变成盲弹.而激光有源欺骗式干扰技术,则是利用己方激光器照射漫反射假目标,使反射信号进入弹上的导引头,诱使其飞向假目标.从而达到保卫受攻击目标的目的;激光有源压制式干扰技术是用激光干扰信号掩

盖有用的信号或使其信噪比严重降低(严重的使信息遭到破坏),阻止敌方激光制导系统获取目标信息,从而使敌方激光制导系统失效.

关于激光有源干扰与激光制导武器相互作用相应的研究,以前多是从激光制导武器所用探测器——四象限光电探测器受到较强的干扰激光照射后,通过分析此时四象限探测器输出信号来探讨有源干扰对激光制导的影响^[1-3],而对于人们普遍关心的与制导武器作用的整体效果的研究工作尚处于起步阶段.本文以具有抗干扰措施的激光制导系统(激光导引头+激光目标指示器)为干扰目标,采用转发式激光欺骗干扰设备为干扰源干扰激光导引头,从系统级角度研究了欺骗式干扰与激光制导系统相互作用效应,得出了初步试验结论并进行了相关讨论.

收稿日期:2005-04-26,修回日期:2005-10-14

基金项目:国防预研基金资助项目

作者简介:徐代升(1968-),男,湖南常德人,博士,高级工程师,目前从事目标光学特性的研究、光电系统研制及综合性能的测试和评估等工作.

Received date: 2005-04-26, revised date: 2005-10-14

1 欺骗式干扰作用时激光导引头信息处理过程分析

激光半主动制导过程分惯性制导、目标搜索和寻的制导 3 个阶段. 导引头内信息处理过程是首先开放波门, 接收初始引导信号, 并根据设定好编码规律进行信息识别, 然后按编码规律逐次预测下位引导信号的到达时刻, 并据此设置波门, 直至攻击目标.

用于试验的激光制导系统由激光导引头(含目标视线和系统光轴角误差数据录取装置)和激光目标指示器两部分组成, 所采用的抗干扰措施主要有两种形式: 一是将目标指示信号做成具有一定规律的编码信号, 导引头上设置相应的解码电路解码; 二是在导引头上设置脉冲录取波门; 通常两种措施同时被采用. 目标指示信号采用编码方式, 可以在激光导引头瞬时视场内出现多批指示信号和干扰信号的情况下能准确分辨自己的指示信号, 而在导引头上设置脉冲录取波门, 则是为了使导引头只有在自己的指示信号到达的时刻才开放波门, 而在波门关闭期间不接收任何信号. 激光导引头设计参数跟踪范围 $\pm 11.5^\circ$, 瞬时视场为 $\pm 2^\circ$, 为了便于研究, 可对编码形式和波门大小进行设置.

转发式激光欺骗式干扰的干扰机理是, 干扰设备先通过侦察告警装置获得目标指示器所发射激光信号的有关参数, 然后指控装置转发这些参数来指挥激光发射装置按照上述参数超前同步发射激光(即对目标指示激光信号进行复制), 一般认为由于转发发射的激光信号(假信号)与目标指示器发射的激光信号(真信号)十分相似, 即真假信号具有时间、空间及特征相关性, 因此造成激光导引头难以分辨真假信号, 从而达到干扰的目的.

如果激光目标指示器发射的编码信号为精确频率码, 脉冲间隔为 T , 则其脉冲序列由给出 $X = T \times n$. 设激光导引头设置的波门录取宽度为 Δt , 欺骗式干扰信号的脉冲间隔为 T_1 , 则导引头波门及信号录取原理图如图 1 所示. 若指示信号和干扰信号均为基模激光信号, 则它们在时域上具有高斯线型. 对于目标指示信号, 其发射激光功率可表示为

$$p(t) = p_0 \exp[-4\ln 2(t - \tau/2)^2/\tau^2], \quad (1)$$

式(1)中 p_0 为指示信号的最大功率; τ 为半功率脉冲宽度. 式(1)表示的是 $t = \tau/2$ 的对称波

形. 对于欺骗式干扰信号, 其发射功率可表示为 $p_1(t) = p_{01} \exp[-4\ln 2(t + \delta - \tau_1/2)^2/\tau_1^2]$, (2)

式(2)中为 p_{01} 干扰信号的最大功率; τ_1 为半功率脉冲宽度; δ 为转发信号发射时间超前量. 一般认为目标指示信号和转发欺骗式干扰信号的脉冲宽度一致, 因此式(2)又可写为

$$p_1(t) = p_{01} \exp[-4\ln 2(t + \delta - \tau/2)^2/\tau^2]. \quad (3)$$

对于脉冲间隔为 T 的精确频率码脉冲序列, 导引头接收到的指示信号可表示为

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} kp(t - nT) = \sum_{n=0}^{\infty} kp_0 \exp[-4\ln 2(t - nT - \tau/2)^2/\tau^2], \quad (4)$$

式(4)中 k 为比例因子, 表示导引头接收的指示信号大小占整个指示信号的比例, 为脉冲间隔数. 同理若干扰信号序列进入激光导引头, 则导引头接收到的干扰信号可表示为

$$J(t) = \sum_{n=0}^{\infty} k_1 p_1(t + \delta - nT_1) = \sum_{n=0}^{\infty} k_1 p_{01} \exp[4\ln 2(t + \delta - nT_1 - \tau/2)^2/\tau^2], \quad (5)$$

式(5)中 k_1 为比例因子, 表示导引头接收的干扰信号大小占整个干扰信号的比例; T_1 为干扰信号脉冲间隔(对一确定系统可认为定值).

激光导引头信息录取波门宽度 Δt , 则导引头接收到的激光指示信号为

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} kp(t - nT) \otimes \text{rect}((t - nT)/\Delta t), \quad (6)$$

式(6)中 \otimes 表示卷积; $\text{rect}(\cdot)$ 为矩形函数. 进行干扰试验时, 若每个干扰信号都要进入信息录取波门, 由式(4)、(5)、(6)及图 1 可知, 必须满足:

$$\begin{aligned} \delta - \Delta t/2 &\leq n(T_1 - T) \leq \delta + \Delta t/2 \\ \delta &\leq \Delta t/2; n = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (7)$$

假若激光导引头为了解码电路简单, 采用“两

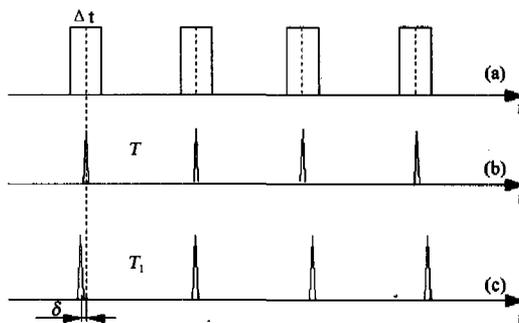


图 1 导引头波门及信号录取 (a) 脉冲录取波门 (b) 激光目标指示信号 (c) 欺骗式激光干扰信号

Fig. 1 Seeker wave-gate and signal matriculate (a) pulse matriculate wave-gate (b) laser target designating signal (c) cheating laser jamming signal

间隔三编码”解码方案,即连续 3 个激光脉冲信号出现在波门内,就认为此脉冲来自目标. 根据此原则并结合式(7),只要满足式式(8),就可在连续 3 个波门内出现干扰信号.

$$\delta/2 - \Delta t/4 \leq T_1 - T \leq \delta/2 + \Delta t/4 \quad \delta \leq \Delta t/2 \quad (8)$$

当一个指示信号和一个干扰信号同时出现在波门时,这时信号为与 $k p_0 \exp[-4 \ln^2(t - \tau/2)^2/\tau^2]$ 与 $k_1 p_{01} \exp[-4 \ln^2(t + \delta - \tau/2)^2/\tau^2]$ 之和,此时探测器上有两个光斑,导引头已分不清哪是真信号,哪是假信号,而是将光轴指向它们的能量中心,偏向能量强的信号,并据此预测下位引导信号到达时间,设置波门. 从以上分析可知,欺骗式干扰能否奏效,是由脉冲录取波门大小、干扰设备激光信号转发精度、转发时间超前量、干扰信号的强弱所决定的.

2 试验结果及讨论

图 2 给出了激光角度欺骗干扰设备和激光导引头相互作用试验布局示意图. 试验设备布局时应注意调整漫反射板 1(模拟真目标)和漫反射板 2(模拟假目标)的位置,在保证真目标和假目标同时进入激光跟踪系统瞬时视场时,还应尽可能使它们落在跟踪系统四象限探测器上的像斑位置较为分开,以便于试验后对相互作用效应的分析.

试验过程是:参试设备布设结束后,先设置目标指示器和激光导引头的编解码方式、激光导引头波门大小以及目标指示器所发射激光信号参数,然后所有参试设备开机工作,试验数据录取设备记录分析干扰效果所需的有关数据.

试验的信息流程是:目标指示器发射的激光信号经漫反射板 1 后进入激光导引头,激光导引头由

搜索目标过渡到跟踪目标;同时,转发式干扰设备侦察到目标信号并对目标信号参数进行分析,短时间延迟后将分析的结果复制为欺骗激光信号的参数进行发射,经漫反射板 2 后进入激光制导系统;这时激光导引头同时接收到真目标和假目标的信号,开始分辨真假目标的考验. 为了便于分析干扰效果,激光角度欺骗干扰设备和激光导引头对抗试验时,数字波门设置后是在一次试验过程中保持不变.

经过对大量试验数据的处理,可对某一编解码形式下,脉冲录取波门大小、干扰设备转发精度与激光导引头抗干扰性能的关系进行分析. 为了便于分析,下面给出一组试验数据处理结果图:图 3、图 4、图 5 是一组采用精确频率码(激光脉冲间隔为 T)、干扰设备的转发精度约为 $12 \mu\text{s}$ 、超前发射量为 $18 \mu\text{s}$ 、脉冲录取波门分别为 $10 \mu\text{s}$ 、 $20 \mu\text{s}$ 、 $50 \mu\text{s}$ 进行干扰试验所获得的试验结果. 图中 T 表示采样的次数; A 表示偏转的角度,单位为度($^\circ$); X 表示导引头陀螺在水平方向偏转的角度,单位为度($^\circ$); Y 表示导引头陀螺在俯仰方向偏转的角度,单位为度($^\circ$).

从上述 3 个试验结果图上可以看出,试验过程中目标的位置大致位于水平 $-2^\circ \sim -1^\circ$ 、方位为 $-0.5^\circ \sim 0.5^\circ$ 的范围内. 从图 3、图 4 可知,在整个试验过程中,激光导引头跟踪上目标后,没有受到转发式欺骗干扰信号的影响,一直稳定跟踪真目标;但从图 5 可知,在整个试验过程中,激光导引头跟踪上目标后,由于转发式欺骗激光信号的干扰,逐渐由跟踪真目标转向跟踪假目标(假目标位置大致在水平 $-3^\circ \sim -3.5^\circ$ 、方位为 $0^\circ \sim 0.5^\circ$ 的范围内),并渐渐稳定跟踪假目标. 这些现象的出现是由脉冲录取波门大小和干扰设备的激光信号转发精度和超前发射量等所决定的.

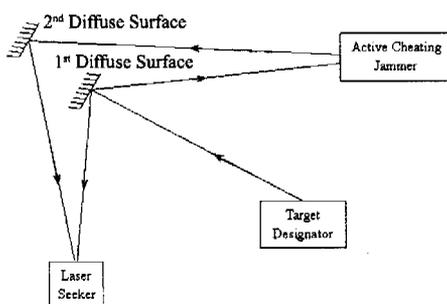


图 2 激光角度欺骗干扰设备和激光导引头相互作用试验布局示意图

Fig. 2 The layout of interactional test between active cheating jammer and laser seeker

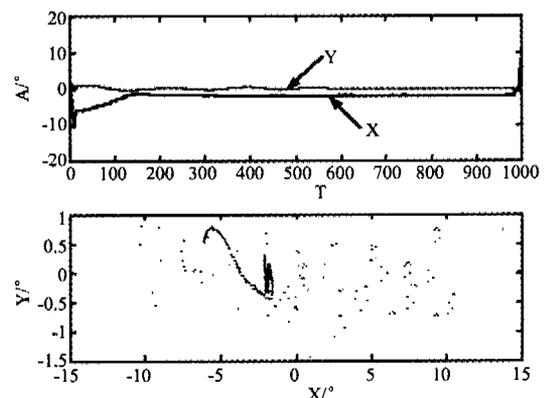


图 3 波门宽度为 $10 \mu\text{s}$ 时的试验结果

Fig. 3 Testing result with $10 \mu\text{s}$ width of wave-gate

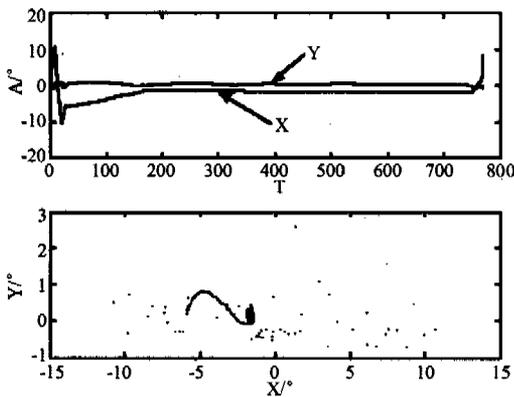


图4 波门宽度为 $20\mu\text{s}$ 时的试验结果
Fig. 4 Testing result with $20\mu\text{s}$ width of wave-gate

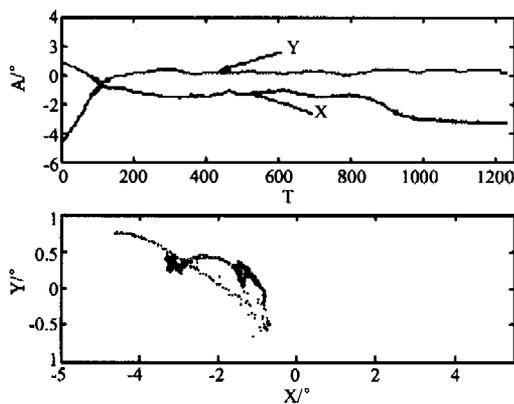


图5 波门宽度为 $50\mu\text{s}$ 时的试验结果
Fig. 5 Testing result with $50\mu\text{s}$ width of wave-gate

在图3、图4所示结果的试验中,激光导引头的脉冲录取波门 Δt 为 $10\mu\text{s}$ 、 $20\mu\text{s}$,不满足式(8)成立的条件,这样激光导引头锁定目标后,尽管转发信号超前发射有时有少数干扰信号脉冲进入信息处理组件,但并没有形成真目标那样有编码规律的脉冲序列,所以激光导引头能够排除这样的干扰而始终跟踪目标。

图5的情形就不同了,由于导引头的脉冲录取波门 Δt 为 $50\mu\text{s}$,满足了式(8)成立的条件,于是激光导引头将同时接收到两个符合编码规律的脉冲序列(即真、假目标),加之假目标在探测器光敏面上的光强较大,所以导引头由跟踪真目标逐渐转向跟踪光强较大的假目标,从而被干扰。

3 结束语

上述试验结果是在外场相距 800m 左右的3个

固定试验点得到的.和真实的激光半主动制导及干扰过程相比,试验设备所处的环境相对稳定,决定干扰有效的必要条件干扰激光进入导引头的视场和干扰激光在导引头光电探测器光敏面的照度大于探测器的灵敏度已事先满足.而在实际的干扰过程中,干扰激光的输出功率、目标对 $1.06\mu\text{m}$ 激光的反射特性、 $1.06\mu\text{m}$ 激光的大气传输特性都会对干扰的结果产生决定性影响。

上述试验也初步表明,光从探测器角度来研究激光有源干扰与激光制导武器相互作用存在明显的不足之处,首先激光制导武器受干扰时,导引头探测器所接收的信号除干扰信号外,还有导引头正常工作的指示信号,是两种信号的同时作用对导引头产生影响;其次,导引头的信息处理组件对相互作用的效果产生巨大影响,这一点随着导引头采用各种抗干扰措施后会表现得尤为突出。

总之,激光欺骗式干扰能否激光制导过程起到破坏作用,即将激光制导武器诱向攻击假目标、保护真目标,与干扰设备的激光输出功率、欺骗信号的特性(转发精度、转发时间超前量)、外界环境因素以及激光导引头的信息处理方式密切相关。

致谢 本文作者感谢参与试验相关单位及人员的大力支持。

REFERENCES

- [1] SHU Bo-Hong, LU Qi-Sheng, ZHANG GuoQing, *et al.* Laser damage of quadrant detector and its influences on optical guidance[J]. *High power laser and particle beams* (舒柏宏,陆启生,张国清等.四象限探测器的激光破坏及其对光学制导的影响. *强激光与粒子束*), 1997, 9(3): 463—465.
- [2] NIU Yan-Xiong, WANG Yue-Feng, ZHAO Jian-Guo, *et al.* Research on laser damage of four-quadrant photodetector [J]. *Journal of optoelectronics. laser* (牛燕雄,汪岳峰,赵建国等.激光对四象限光电探测器破坏试验研究. *光电子·激光*), 1999, 10(3): 215—217.
- [3] Dennis L. McCormak. Electro-optical detector laser susceptibility testing[C]. *Proc. SPIE*, 1989, 1050: 137—146.
- [4] CHENG Yu-Wei, ZHANG Li, HU Yi-Hua, *et al.* Array detection technology of echo on earth observation laser imager [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (陈育伟,张立,胡以华等;对地观测激光成像的回波阵列探测技术. *红外与毫米波学报*), 2004, 23(3): 169—171.