

文章编号: 1001-3806(2016)06-0779-03

一种基于波门诱偏的激光导引头干扰策略

楚振锋¹, 王德飞¹, 王金峰¹, 唐启永¹, 胡维星¹, 耿福山²

(1. 中国洛阳电子装备试验中心, 洛阳 454750; 2. 中国人民解放军 71282 部队, 洛阳 471003)

摘要: 为了提高诱偏干扰成功概率, 克服同步干扰过程中干扰信号偏移量及干扰成功概率基本固定、干扰信号和制导信号同时出现在波门内时, 引起导引头有机会和条件采取进一步抗干扰措施等问题, 根据实时波门的原理, 提出一种基于波门诱偏的激光导引头干扰新方法, 分析了诱使波门偏移的方法, 设计了诱使波门偏移的关键过程, 探讨了其对导引头干扰的机理。以重频制导信号为例, 设计了基于间隔调制的波门诱偏干扰信号, 给出了干扰信号的约束条件, 取得了波门与制导信号的联合概率分布。结果表明, 时间波门被快速引偏, 干扰成功概率明显提升, 验证了该方法切实可行, 干扰效果明显优于同步干扰。该干扰策略对开展新型干扰方法研究有一定的借鉴价值。

关键词: 激光技术; 干扰策略; 波门诱偏; 激光导引头; 实时波门中图分类号: TN977; TJ765.3⁺32

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.06.001

A laser seeker jamming strategy based on wave gate decoy

CHU Zhenfeng¹, WANG Defei¹, WANG Jinfeng¹, TANG Qiyong¹, HU Weixing¹, GENG Fushan²

(1. Luoyang Electronic Equipment Test Center of China, Luoyang 454750, China; 2. 71282 Unit, People's Liberation Army of China, Luoyang 471003, China)

Abstract: In order to heighten the success probability of jamming interference and overcome the questions such as: interference signal offset and success probability were fixed substantially during synchronization interference and seeker had opportunity and conditions to take further anti-jamming measures when interfering signals and guided wave signals were in wave gate, a new jamming strategy based on wave gate decoy was put forward according to the principle of real-time wave gate. The method and key process of decoying wave gate were discussed and the tactics of jamming was studied. Taking repetition guided signal as example, the jamming signal based on interval modulation was designed, and the restriction of interference signal was gained. The joint distribution of wave gate and guided signal was derived. Through theory and simulation analysis, the results show that the wave gate is decoyed and the success probability is promoted. The strategy is feasible and better. The jamming strategy is valuable for new jamming method research.

Key words: laser technique; jamming strategy; wave gate decoy; laser seeker; real-time wave gate

引 言

波门选通是半主动激光寻的导引头抗干扰的重要措施之一, 由于指示器频率抖动、光程差和时钟稳定度等因素的制约, 导引头的录取波门宽度一般在几十微秒, 相比脉宽十几纳秒的激光信号, 波门内时域的有效利用率较低, 从干扰角度来讲, 就有相当大的时域空间可以利用。参考文献[1]~参考文献[3]中提出的超前同步干扰、滞后同步干扰和双脉冲夹挤同步干扰等干扰手段都是在波门内注入干扰信号, 使得导引头发现、识别和跟踪制导信号的几率大幅下降, 达到干扰的

目的, 但存在的问题是: 同步干扰、制导信号和干扰信号同时出现在波门内, 也即激光导引头可同时将制导信号和干扰信号进行采集和处理^[4], 因此, 导引头将有机会和条件找到两者之间的差别, 采取针对性的措施进行抗干扰。本文中提出一种基于“波门诱偏”的干扰方法, 通过调制干扰信号样式, 控制导引头实时波门的开启位置, 诱使波门偏移, 将制导信号拒于波门以外, 达到有效干扰的目的。

1 同步干扰原理及分析

目前, 多数激光导引头采用的抗干扰措施主要有实时波门选通和首/末脉冲锁定, 实时波门选通是根据同步点的不同实时设置波门的开启位置, 即它是每一次实际接收的信号脉冲的到达时间作为下一个波门的同步点, 来设定下一次波门的开启位置; 首/末脉冲锁定是波门内信号的筛选, 即选定波门内的首个或最

作者简介: 楚振锋(1976-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事光电对抗装备测试与评估技术的研究。

E-mail: mzlyczf@163.com

收稿日期: 2015-10-14; 收到修改稿日期: 2015-11-26

后一个脉冲为制导信号并锁定,根据锁定的信号计算脱靶量。

同步干扰的主要方法^[5-6]是:采用激光告警装置接收制导信号,分析其特征,准确地预测后续制导激光脉冲序列的到达时刻,并以同样的信号特征驱动干扰激光器,以超前或滞后于制导信号的时序发射干扰激光信号,使干扰激光进入激光导引头波门,并使导引头将干扰信号误认为是制导信号,根据干扰信号计算脱靶量,引导武器攻击假目标。其原理示意如图1所示。

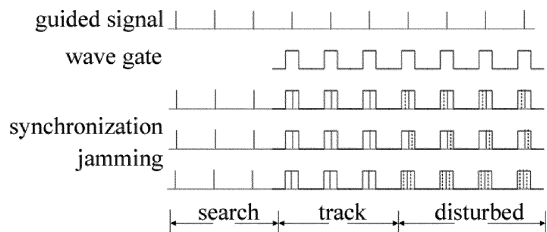


Fig. 1 Theory schematic for synchronization jamming

因此,对于采用实时波门的导引头,在同步干扰方面存在几个关键的制约因素:(1)由于制导信号和干扰信号均存在一定的频率抖动,干扰信号的超前或滞后量应考虑导引头的波门宽度和采样保持时间,避免因脉冲锁定被屏蔽的情况;(2)干扰信号和制导信号均出现在波门范围内,因此导引头就有机会和条件将波门内的信号录取,并进行处理,识别出信号的真伪;(3)对超前或滞后量固定的干扰方式,在整个攻击过程中,干扰成功概率是基本恒定的;(4)根据实时波门的原理,在超前或滞后干扰成功的条件下,进一步调制干扰信号,形成对波门位置的控制是可行的。

2 波门诱偏干扰方法

对于采用实时波门的激光导引头,其波门的开启位置和之前接收到的信号时刻是关联的,为不失一般性,假设导引头采用首脉冲锁定,干扰方采取超前同步干扰方式,在实施干扰后,激光导引头将跟踪干扰信号,其波门的开启位置将根据干扰信号的到达时刻来确定,即通过巧妙设计干扰信号,可对导引头的波门实施诱偏^[7-8],使波门和制导信号出现相对的偏移,一般情况下,当偏移量达到一定程度时,就有可能出现将制导信号拒于波门之外的情况,此时,导引头将完全根据干扰信号进行制导。

2.1 干扰信号设计

有效干扰的关键是干扰信号的模式,通常要与制导信号相同或相关^[2]。相同是指干扰信号与制导信号编码、波长、脉宽、能量等级等特征参量相同,而且在时间上同步;相关是指干扰信号虽与制导信号不完全相同,但是包含与之相关的成分,即时间相关、空间相

关及特征相关。时间相关是指干扰信号与制导信号在时间上具有同步的成分;特征相关是指信号的波长、编码、脉宽和能量等级等特征参量相关。波门诱偏干扰信号主要考虑时间相关和特征相关,以精确控制干扰信号进入导引头波门的时刻为核心。作者建立了一种基于脉冲间隔编码的长编码干扰信号数学模型。

设制导为重频激光信号^[9-14],周期为 T ,时间为 t ,则制导信号可表示为 $s_1 = \delta(t - nT)$,其中 δ 是冲击函数。根据超前同步干扰原理和波门诱偏的基本思路,干扰信号以告警信号为基本框架,分3个时段,同步干扰阶段采用复制告警信号超前同步^[15]转发模式,波门诱偏阶段在复制信号的基础上对信号添加脉冲间隔调制,相对于制导信号,针对首脉冲锁定采取以 μ 为步长的超前量递增调制,针对末脉冲锁定采取以 μ 为步长的滞后量递增调制,停止诱偏阶段以波门诱偏末段信号为基础,采用以信号中的最小间隔为周期的重频信号。由此设计干扰信号可表示为:

$$s_2 = \begin{cases} \delta(t - nT), & (0 \leq n \leq n_1) \\ \delta[t - nT + (n - n_1)\mu], & (n_1 \leq n \leq n_2) \\ \delta\{t - n[T - (n_2 - n_1)\mu] - (n_2 - 1)(n_2 - n_1)\mu\}, & (n_2 \leq n) \end{cases} \quad (1)$$

式中, n 为信号的计数, n_1 为开始实施波门诱偏时的信号计数, n_2 为停止波门诱偏时的信号计数。

若导引头波门宽度为 ΔT ,则诱偏步长 μ 和诱偏步数 $(n_2 - n_1)$ 与波门宽度的关系可表示为:

$$\frac{\Delta T}{n_2 - n_1} \leq 2\mu < \Delta T \quad (2)$$

2.2 干扰效能分析

波门诱偏干扰同样分为3个阶段,同步干扰阶段是使导引头跟踪上干扰信号,波门诱偏阶段是使实时波门相对于制导信号偏移,阶段起始时信号计数 n_1 可根据实验确定,阶段终止时信号计数 n_2 可由(2)式确定,也可持续到制导过程结束,一般情况下,停止诱偏阶段可视情进行划分。根据上述分析,对波门诱偏干扰的过程进行模拟推算,设激光制导信号重频为 10Hz,如图2中实线所示,导引头采用实时波门选通,波门宽度 $60\mu\text{s}$,波门内设定为首脉冲锁定,根据(1)式设计波门诱偏干扰信号,诱偏步长 $\mu = 3\mu\text{s}$,如图2b中

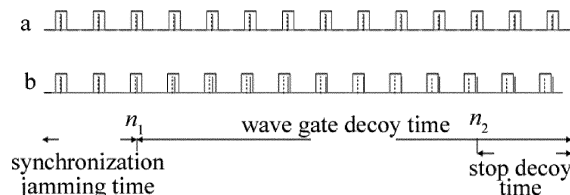


Fig. 2 Design of wave gate decoy

虚线所示,为便于对比,在图 2a 中以虚线表示超前同步干扰信号,超前量 $\Delta t = 5\mu\text{s}$ 。超前同步干扰时,导引头波门的开启状态如图 2a 中矩形框所示,实施波门诱偏干扰后,导引头波门的开启状态如图 2b 中矩形框所示。

设制导信号、干扰信号和实时波门的时间精度分别为 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, 根据三者之间的作用机理,可推导出制导信号与波门之间的联合概率分布:

$$f(t_1 - t_3) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)}} \times \exp\left[-\frac{(t_1 - t_3)^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)}\right] \quad (3)$$

式中, t_1 为制导信号位置, t_3 为干扰后波门中心位置。

图 3 中,横坐标为发射的波门诱偏信号序数,纵坐标代表制导信号落入波门的概率,可以看出:随着干扰的实施,制导信号落入波门的概率迅速减小,直至完全出现在波门之外。由模拟推算可知,同步干扰阶段导引头波门时序与未受干扰时的时序保持一致,进入波门诱偏阶段后,波门时序相对于未受干扰时的波门时序逐步出现偏移,但偏移量滞后于干扰信号的偏移量,当波门中心与制导信号的时序偏移大于半波门宽度时,制导信号被拒于波门之外,在制导时间内,制导信号将无法再次进入波门,理论上,波门诱偏的干扰成功概率为 1,这是超前同步干扰无法企及的。同时通过设置不同的步长,可尽可能地减少诱偏步数,尽快将制导信号拒于波门之外,使导引头失去进一步加载抗干扰措施的契机。

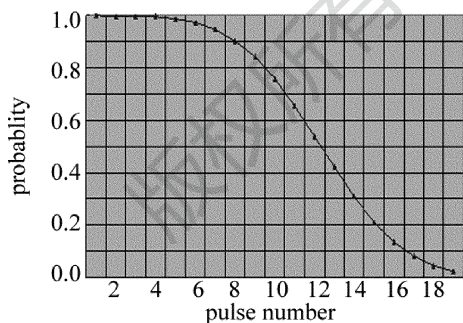


Fig. 3 Probability curve of the guided signal in wave gate

3 结论

超前同步干扰在一定的超前量和一定的波门宽度情况下,可达到理想的干扰效果,但制导信号和干扰信

号共同出现在波门内,给导引头留下了进一步采取抗干扰措施的可能,属于概率干扰,本文中提出的波门诱偏干扰方法,通过对干扰信号的调制,对实时波门实施时域诱偏,最终使干扰信号处于波门之内而制导信号处于波门之外,实现绝对干扰。

参 考 文 献

- [1] XING H, LEI P, MA N. Experiment and analysis on time sequence anti-jamming technology of semi-active laser seeker [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(2): 461-465 (in Chinese).
- [2] LIU Y Y, YAN X Sh, GAO W Q, et al. Mathematics simulation analysis of the laser deception jamming [J]. Journal of CAEIT, 2011, 6(3): 271-274 (in Chinese).
- [3] XU D Sh, WANG J Y. Interaction effect between laser cheating jammer and laser guidance system [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2006, 25(1): 77-80 (in Chinese).
- [4] WANG Y P, ZHANG H Y, ZHENG X Y, et al. Analysis of interference mechanism of high-frequency laser to laser guided weapons [J]. Laser Technology, 2014, 38(1): 21-25 (in Chinese).
- [5] LI H Y. Countermeasure analysis of laser guidance weapon active jamming [J]. Laser Journal, 2010, 31(6): 57-58 (in Chinese).
- [6] WANG Y P, ZHAO Ch M, LI Y, et al. Hardware-in-the-loop simulation system for laser-angle-deception jamming [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(5): 1217-1222 (in Chinese).
- [7] XIE K, CHEN Y G, WANG L D, et al. Analysis, modeling & evaluation of range gate pull off designs [J]. System Engineering and Electronics, 2006, 28(8): 1158-1163 (in Chinese).
- [8] ZHAO G Q. Fundamentals of Radar countermeasure [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1999: 187-188 (in Chinese).
- [9] SHEN T, SONG J Sh. Identification technique of laser guided signal code information [J]. Infrared & Laser Engineering, 2009, 38(5): 845-848 (in Chinese).
- [10] WEI W J, QIN Sh Q, ZHAN D J. Research on laser encoding in laser semi-active homing guidance [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(12): 1199-1204 (in Chinese).
- [11] SHAO X D, YAO L H, ZHANG Sh K, et al. Research of laser guided signal sorting and code recognition technique [J]. Laser Technology, 2011, 35(5): 648-651 (in Chinese).
- [12] TONG Zh Ch, SUN X Q, YANG X W, et al. Simulation of laser-barrage-jamming for laser-guided weapon [J]. Journal of Ballistics, 2008, 20(1): 106-110 (in Chinese).
- [13] TONG Zh Ch, SUN X Q, HAN Ch L, et al. Modeling and simulation of laser jam for laser-guiding weapon [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(22): 5115-5119 (in Chinese).
- [14] WANG J F, SONG D Sh, CHU Zh F, et al. New method to classify the mixed guidance signal based on the frequency [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(10): 1165-1167 (in Chinese).
- [15] TONG Zh Ch. Simulation research on ahead-time of laser-angle-cheating jamming signal [J]. Acta Armamentarii, 2008, 29(5): 633-636 (in Chinese).