

·测试、试验与仿真·

## 基于联合概率分布的激光有源干扰效果分析

刘 锋<sup>1</sup>, 应家驹<sup>1</sup>, 刘明明<sup>2</sup>

(1. 军械工程学院, 河北 石家庄 050003; 2. 72465 部队, 山东 济南 250000)

**摘 要:** 在综合考虑导引头波门、制导激光时间稳定度、干扰激光时间稳定度、干扰激光光程差的时间修正量等因素的基础上, 根据制导激光概率密度函数和干扰激光概率密度函数, 推导出制导激光与干扰激光的联合概率密度函数, 建立了干扰激光超前于制导激光进入导引头波门的概率模型, 并通过仿真实验分析得出最优超前时间量的范围。

**关键词:** 激光制导; 欺骗干扰; 超前时间量; 概率分析

中图分类号: TN977

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-04-0086-03

## Analysis of Laser Active Jamming Effect Based on Union Probability Distribution

LIU Feng<sup>1</sup>, YING Jia-ju<sup>1</sup>, LIU Ming-ming<sup>2</sup>

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. 72465 Army Unit, Jinan 250000, China)

**Abstract:** On the basis of considering factors such as the gate of seeker, time stability of guidance and jamming laser, time correction of jamming laser optical path difference synthetically and probability density functions of guidance and jamming laser, the union probability density functions of guidance and jamming laser are derived. A probability model for jamming laser entering the gate of seeker ahead of guidance laser is built. Through simulation experiment analysis, optimum leading time range is got.

**Key words:** laser guidance; deception jamming; ahead time; probability analysis

激光有源欺骗<sup>[1-4]</sup>干扰的过程先由激光告警系统对激光目标指示信号进行时序识别和解码, 然后精确控制干扰激光在时序上超前目标指示激光到达激光导引头, 并保证干扰激光进入导引头波门, 从而达到有效干扰的目的<sup>[5-7]</sup>。文中主要针对干扰激光在时序上超前于目标指示激光的时间量, 分析干扰激光在超前于目标指示激光进入导引头波门的概率。

### 1 激光导引头的时序干扰技术

为提高导引头的抗干扰能力, 波门设置是激光

导引头采用的最为基本的脉冲时序控制措施, 指激光导引头根据预先设定激光制导信号脉冲的编码规律, 在制导脉冲到来的时刻, 精确设置开启和关闭时间波门的时间。激光有源欺骗干扰信号必须适量超前于激光目标指示信号, 才能达到良好的欺骗干扰效果。如果激光欺骗干扰信号在到达导引头时, 过早超前或过多滞后于制导激光信号, 则被激光导引头波门所滤除, 或者激光欺骗干扰信号即使能通过抗干扰波门, 但因其滞后于制导信号而不能被激光导引头所认同, 起不到干扰作用。因此, 干扰激光超前于目标指示激光的时间量成为能否形成有效干扰

的关键。

## 2 时序干扰概率分析

制导信号进入导引头波门的时刻具有随机性,服从正态分布,以波门中间时刻为原点,概率密度函数为高斯分布<sup>[8]</sup>

$$f(t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left(-\frac{t_1^2}{2\sigma_1^2}\right) \quad (1)$$

式中,  $\sigma_1$  为时间稳定性参数。

激光导引头设置的波门宽度为  $\Delta T$ , 要使制导信号被波门接收的概率大于 99%, 根据正态分布的  $3\sigma$  规则, 应满足下面条件

$$\Delta T \geq 6\sigma_1 + T_\delta \quad (2)$$

式中,  $T_\delta$  为导引头采用固定波门时的累计误差, 当采用实时性波门时,  $T_\delta$  可忽略不计。

激光制导信号的时间稳定性参数  $\sigma_1$  取决于激光目标指示器和导引头的硬件性能以及它们之间的相互配合关系。

有源应答式干扰要求激光干扰机超前触发干扰脉冲, 假定干扰脉冲设定的超前时间量  $\Delta t_1$ , 考虑光程差引起的超前时间量修正  $\Delta t_2$ , 总的超前时间量  $\Delta t$  为<sup>[9]</sup>

$$\Delta t = \Delta t_1 - \Delta t_2 = \Delta t_1 - (L_1 + L_2 - L)/c \quad (3)$$

式中,  $L$  为激光导引头到真目标的距离;  $L_1$  为干扰激光器到假目标的距离;  $L_2$  为假目标到激光导引头的距离;  $c$  为光速。

超前干扰脉冲的概率密度函数为<sup>[10,11]</sup>

$$f(t_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left(-\frac{(t_2 - \Delta t)^2}{2\sigma_2^2}\right) \quad (4)$$

式中,  $\sigma_2$  为干扰激光的时间稳定性参数。干扰信号的时间稳定性参数  $\sigma_2$  大于制导信号的时间稳定性参数  $\sigma_1$ 。因为制导信号编码识别对时间轴的离散化处理, 引入了离散时间误差, 并且激光有源欺骗干扰激光器的触发脉冲与出光时间存在一定范围的抖动。

根据概率分布理论, 制导激光与干扰激光的联合概率密度函数为

$$f(t_1, t_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\left(\frac{t_1}{\sigma_1}\right)^2 - \frac{2\rho t_1(t_2 - \Delta t)}{\sigma_1\sigma_2} + \left(\frac{t_2 - \Delta t}{\sigma_2}\right)^2\right)\right] \quad (5)$$

式中,  $\rho$  为二者的相关系数, 满足  $-1 < \rho < 1$ 。

由于  $t_1$ 、 $t_2$  相互独立, 则  $\rho = 0$ , 二者的联合概率密度函数为

$$f(t_1, t_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{t_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{t_2 - \Delta t}{\sigma_2}\right)^2\right)\right] \quad (6)$$

联合概率密度函数在三维空间分布如图 1 所示。

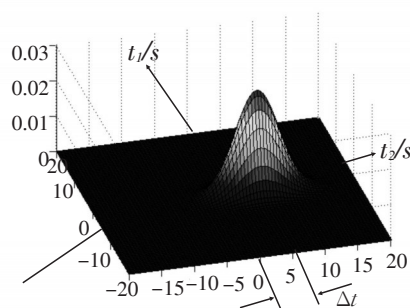


图1 时间联合概率密度

图 2 所示为波门内时间超前区域。在波门  $\Delta T$  限定的时间范围内, 干扰脉冲超前于制导脉冲到达, 即  $t_2 - t_1 > 0$ 。其概率为  $P(t_2 - t_1 > 0)$ , 即在区域  $t_2 - t_1 > 0$  与正方形时间波门区域的公共部分  $G$ , 如图 2 中阴影部分, 对二者的联合概率密度函数进行积分

$$P(t_2 - t_1 > 0) = \iint_G \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{t_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{t_2 - \Delta t}{\sigma_2}\right)^2\right)\right] dt_1 dt_2 \quad (7)$$

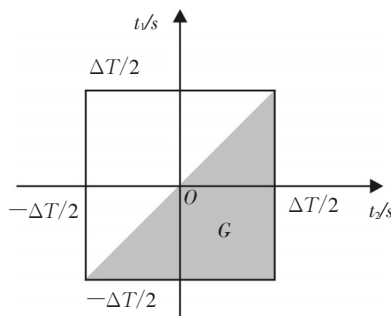


图2 波门内时间超前区域

## 3 仿真实验及分析

对于不同大小的波门  $\Delta T$ , 随着超前时间量  $\Delta t$  的变化, 干扰脉冲能够超前于制导脉冲进入波门的概率变化如图 3 所示。从图 3 可知, 超前时间量  $\Delta t = 0$  时, 干扰脉冲能够超前进入波门的概率

$P=0.5$  ;随着超前时间量  $\Delta t$  增大,概率逐渐增大;当超前时间量  $\Delta t=\Delta T/4$  时,达到最大值,从该点开始,随超前时间量  $\Delta t$  增大,概率逐渐减小;当超前时间量  $\Delta t=\Delta T/2$  时,概率  $P=0.5$  ;当  $\Delta t>\Delta T/2$  时,超前量已经超出波门范围,此时的概率  $P<0.5$  ,并逐步趋向于0。

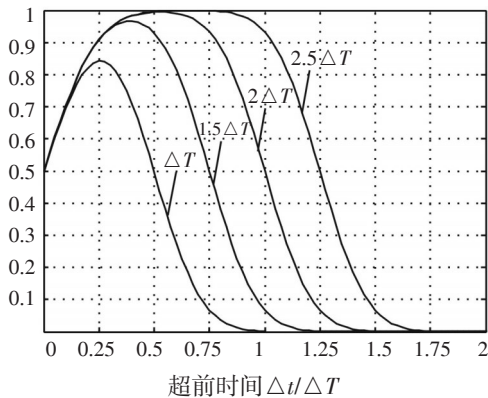


图3 干扰脉冲超前进入波门概率与超前时间量

## 4 结论

在考虑制导激光和干扰激光时间稳定度的基础上,通过二者的概率密度函数,建立联合概率密度函数。分析了干扰激光超前于制导激光进入波门的概率,通过仿真实验的基础上得出最优的超前时间段,

在该时间范围内可获得较高的有效干扰概率。

## 参考文献

- [1] 侯振宇. 激光有源干扰原理及技术[J]. 光机电信息, 2002 (3):4-6.
- [2] 沈涛, 宋建社. 激光制导武器实时波门选通信号技术分析[J]. 火箭与制导学报, 2006, 26(4): 398-400.
- [3] 邢晖, 雷萍, 马娜. 激光导引头时序抗干扰技术分析及其实验[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(2): 461-465.
- [4] 蒋耀庭, 潘丽娜. 激光有源干扰及其发展现状[J]. 激光技术, 2004, 28(4): 438-441.
- [5] 易明, 王晓, 王龙. 美军光电对抗技术装备现状与发展趋势初探[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(5): 601-607.
- [6] 王恒坤, 王兵, 陈兆兵. 对抗激光制导武器的光电装备的发展分析[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(8): 14-17.
- [7] 韩冰. 激光告警与欺骗和致盲的干扰技术[J]. 舰船电子工程, 2007(2): 48-53.
- [8] 何衡湘, 陈亦庆, 赵刚. 激光导引系统主要技术参数分析[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(3): 428-432.
- [9] 车进喜, 薛建国, 陈勇. 高重频激光对半主动激光制导武器干扰机理分析及实施方法探讨[J]. 光电技术应用, 2006, 2(6): 29-33.
- [10] 刘严严, 闫秀生, 高文清, 等. 激光角度欺骗干扰效果的数学仿真分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6(3), 271-274.
- [11] 胡心, 徐锦, 张巍, 等. 激光有源干扰技术[J]. 舰船电子工程, 2007, 27(1): 27-33.

## 《光电技术应用》期刊网站简介

《光电技术应用》期刊网站的网址为: <http://www.gdjsyy.com>。网站设有: 期刊介绍、资质荣誉、编委会、版权声明、征稿简则、征订启事、联系方式等栏目。通过上述栏目, 作者与读者可对期刊的基本情况和编辑部工作有进一步的了解。

为方便作者投稿, 网站设立了期刊的投稿指南及论文格式模板。投稿指南从文章的题名、摘要、引言、结语、参考文献等几个部分提出对所投稿件(文章)的要求、编写方法、应注意的问题等, 供作者参考。论文格式模板以本刊一篇已发表的文章为例, 对刊载文章的体例、格式及部分基本要求进行了较为详细的说明(采用红色说明文字), 以节省文章编辑修改时间, 提高录用的时效。

为使读者及时了解期刊已发表文章的最新信息, 网站增设了在线期刊查询与阅读浏览栏目, 可为读者提供《光电技术应用》期刊2009、2010、2011、2012全年已发表文章题目、作者等信息的查询及文章摘要的阅读浏览。

《光电技术应用》期刊的电子邮箱地址为: [nloe@vip.163.com](mailto:nloe@vip.163.com), 热诚欢迎广大作者投稿。