

文章编号: 1001-3806(2014)04-0565-04

高重频干扰对激光解码识别过程的影响

赵乾, 刘志国, 王仕成*, 张帅

(第二炮兵工程大学 控制工程系, 西安 710025)

摘要: 为了有效评估高重频干扰对激光编解码的影响效果, 采用归一化互相关函数法, 量化分析了高重频干扰对精确频率码的干扰效果。以仅有干扰信号进入导引头波门、干扰信号超前制导信号一定时间进入导引头波门两种情况, 重点分析了在激光解码识别过程中的干扰效果, 仿真分析了不同因素对干扰效果的量化影响。结果表明, 不同重复频率的高重频激光干扰效果存在差异, 重复频率为 100kHz 时干扰效果最好。该研究为增强高重频干扰效果提供了依据。

关键词: 激光技术; 高重频干扰; 互相关; 编解码

中图分类号: TN977

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.04.026

Effect of high repetition frequency on laser decoding recognition process

ZHAO Qian, LIU Zhiguo, WANG Shicheng, ZHANG Shuai

(Department of Control Engineering, The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: To estimate the impact of high repetition frequency jamming on laser decoding, the normalized cross-correlation function method was adopted. The effect of high repetition frequency jamming on precise frequency code during the distinguishing process of decoding was quantified under two circumstances. One was that only the jammed signal entered into the time-gate, the other was that the jammed signal entered into the time-gate at a certain time before the guiding signal. Experimental results show that the jamming effects are different for different jamming frequency and the jamming effect is the best when the high frequency comes to 100kHz. The simulation of the effect of different factors provides the basis to analyze the jamming effect of high frequency signal.

Key words: laser technique; high repetition frequency jamming; cross-correlation; coding and decoding

引言

激光制导武器由于其制导精度高、成本低、结构简单、抗干扰性强等特点^[1], 在精确制导武器中正占有越来越大的比例。随着激光制导武器对战场的威胁与日俱增, 各国均深入研究发展激光制导武器干扰技术。

激光制导干扰技术主要有激光有源干扰技术和无源干扰技术两种^[2]。目前应用于实战的无源干扰主要是烟幕干扰, 有源干扰包括压制式有源干扰和欺骗式有源干扰^[3], 其中欺骗式有源干扰又分为角度欺骗式干扰和高重频干扰。国内外对角度欺骗式干扰的研究比较深入, 技术比较成熟且研发了相

应装备; 而对于高重频激光干扰, 由于其进行干扰时无需对敌方激光制导信号进行识别和复制, 对抗的适应能力和主动性得到较大提高^[4], 干扰效果较好。因而, 作为一种新的光电对抗方式, 激光高重频干扰正受到越来越多的重视和研究。

根据激光高重频干扰的原理, 本文中对激光解码, 重点是解码识别阶段的干扰效果进行了定量分析, 总结归纳了在编解码搜索识别阶段提高激光高重频干扰效果的因素。

1 高重频激光干扰

高重频激光干扰按作用效果可分为压制式高重频干扰和欺骗式高重频干扰两种, 文中研究的是欺骗式高重频干扰的效果。

欺骗式高重频激光干扰是指: 通过直接向激光导引头照射或由激光导引头视场内的假目标反射的方式发射高重频激光干扰脉冲, 当重复频率足够高

作者简介: 赵乾(1991-), 男, 硕士研究生, 现主要从事激光对抗、激光制导仿真方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: wshcheng@vip.163.com

收稿日期: 2013-08-12; 收到修改稿日期: 2013-09-24

时,干扰脉冲可进入每个波门之内,迫使导引头探测系统以较高地概率处理干扰信号,从而对目标检测的不确定性增加,致使激光制导武器因提取不出信息而迷茫,或因提取错误信息而被引偏,从而达到干扰作用^[4-6]。

高重频激光形成有效干扰的关键条件是干扰信号超前制导信号进入导引头波门^[6]。分析激光导引头的工作机理以及目前主要的抗干扰措施可知,导引头处于搜索识别状态时较容易干扰,处于锁定跟踪状态时不容易形成有效干扰。要在锁定跟踪状态形成有效干扰,需要满足波长、脉宽、峰值功率和能量等条件^[7]。

2 滑动匹配相关解码

2.1 精确频率码

从本质上讲,激光编码是在时间特性上具有唯一可译性信息的激光脉冲串。本文中取精确频率码^[8]进行高重频激光干扰下激光编码抗干扰性能的定量分析。

精确频率码是指编码的激光脉冲间隔 ΔT_0 在整个照射周期内固定不变^[9]。其脉冲序列由下式给出:

$$t_i = t_1 + \Delta T_0 \times (i - 1), (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中, t_1 为初始脉冲时刻, t_i 为第 i 个脉冲时刻。

而精确频率码的脉冲间隔序列为:

$$\overline{\Delta T} = \{\Delta T_n\} = \Delta T_0 \Delta T_0 \Delta T_0 \dots \quad (2)$$

则精确频率码脉冲时域分布如图 1 所示。

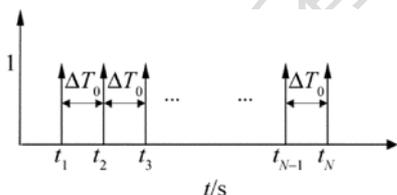


Fig. 1 Precise frequency code pulse in temporal distribution

2.2 滑动匹配相关解码原理

滑动匹配相关解码的原理:将激光半主动制导武器采用的编码预先设定到导引头中作为参考信息 P_1 , 则各个脉冲在编码中的位置是确定的;导引头进行解码时,首先接收一段脉冲子序列 P_2 进行滑动匹配,若 P_2 与 P_1 的某一段编码完全匹配,则认为 P_1 是制导信号(即搜索识别目标);然后根据编码的唯一可译性对 P_1 在编码中的位置进行定位,由此确定下一脉冲的到来时刻,进行波门的设置(即锁定跟踪目标)。滑动匹配示意图如图 2 所示。

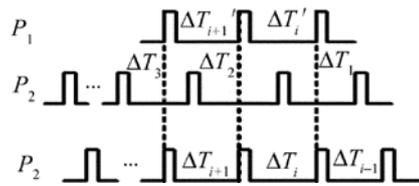


Fig. 2 Principle diagram of sliding match decoding

假设编码序列 P_1 周期为 N , 其脉冲间隔序列为:

$$\Delta T_{P_1} = \{\Delta T_i | 1 \leq i \leq N\} = \Delta T_1 \Delta T_2 \dots \Delta T_N \quad (3)$$

激光导引头接收到的脉冲子序列 P_2 为:

$$\Delta T_{P_2} = \Delta T_{P_2,i} \Delta T_{P_2,i+1} \dots \Delta T_{P_2,i+N} \quad (4)$$

式中, $\Delta T_{P_2,i}$ 表示第 i 个脉冲间隔, $i \geq 1, N \geq 1$ 。

则 P_1, P_2 的互相关函数可说明匹配相关解码原理: ΔT_{P_2} 必定与 ΔT_{P_1} 的某一子序列 ΔT 的互相关函数满足:

$$C_{\Delta T_{P_2}, \Delta T}(0) = \frac{1}{n+1} \sum_{j=i}^{i+n} \Delta T_{P_2,j} \oplus \Delta T_j = 1 \quad (5)$$

因此,若 ΔT_{P_2} 满足(5)式,则说明导引头接收到的脉冲子序列为预设的制导编码信号,由此就实现了激光编码的识别。(5)式也被称为脉冲间隔序列匹配相关解码方程^[10]。

3 激光编码在识别过程的抗干扰性能分析

光电干扰对激光制导武器干扰效果的评估多以脱靶量为评估指标,并依托全弹道仿真进行。本文中采用新的方法,即以制导编码脉冲和高重频激光干扰信号的归一化互相关函数分析描述激光编码在识别过程的抗干扰性能。

3.1 干扰效果分析的数学模型

由第 2.2 节可知,激光解码分为搜索识别过程和锁定跟踪过程,而滑动匹配发生在识别过程中,故解码方程仅适用于识别过程。假设高重频激光干扰脉冲满足波长、脉宽和功率要求,并超前制导脉冲一定时间进入导引头波门,则当高重频激光有效干扰激光解码的识别阶段时,干扰信号必然与编码信息满足解码方程。

假设激光编码参考信息为 $x(n)$, 导引头接收的高重频激光干扰信号为 $y(n)$, 则二者的归一化互相关函数为^[10]:

$$r_{xy} = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)y(n) \quad (6)$$

式中, M 表示进行滑动匹配选取的参考编码内包含

的有效编码个数, N 为参考编码的长度。

因此, (6) 式可用于描述高重频激光对制导信号的干扰效果, 即若 $r_{xy} = 1$, 则高重频激光干扰效果好; 若 $r_{xy} < 1$, 则高重频激光干扰效果差。

3.2 抗干扰性能的定量分析

根据上面所介绍的精确频率码, 这里列出精确频率码的码字表^[11], 如表 1 所示。根据表中所给精确频率码在搜索识别阶段的抗干扰性能定量分析。

Table 1 Precise frequency code

index	period/ms	frequency/Hz
1	99.97	10
2	99.48	10.05
3	99.06	10.09
4	98.57	10.15
5	98.22	10.18
6	97.87	10.22
7	97.38	10.27
8	96.89	10.32

当存在激光告警装备时, 激光高重频干扰脉冲可在编码制导脉冲信号发射前发射。故本文中在对识别阶段导引头抗干扰性能进行分析时取两种情况: (1) 仅有干扰信号进入导引头波门; (2) 干扰信号超前制导信号一定时间进入导引头波门。

3.2.1 仅识别高重频干扰信号 假设通过告警装置进行激光告警, 激光高重频干扰信号发出时的超前时间大于导引头识别时间, 则仅识别高重频干扰信号。取不同码字、不同解码方程参量、不同采样频率对干扰效果进行定量仿真分析。

取周期为 99.06ms 的精确频率码 3, 取解码方程参量为 $M = 4$, 采样周期分别为 0.01ms 和 0.005ms, 则其与高重频激光干扰信号的归一化互相关函数如图 3 所示。由图 3 可以看出, 采样周期越大, 识别过程中高重频激光干扰的干扰效果越好。

取周期为 97.87ms 的精确频率码 6, 采样周期设置为 0.01ms, 分别取解码方程参量为 $M = 4$ 和 $M = 7$, 则其与高重频激光干扰信号的归一化互相关函数如图 4 所示。由图 4 可以看出, M 越大即激光解码的采样长度越长, 识别过程中高重频干扰的干扰效果越差。

由图 3、图 4 可以看出, 在高重频干扰频率为 100kHz 时, 对于精确频率码 3 和精确频率码 6, 采用不同的采样周期、解码方程参量, 其归一化互相关函数值都为 1, 此时重频干扰的干扰效果最好。这是

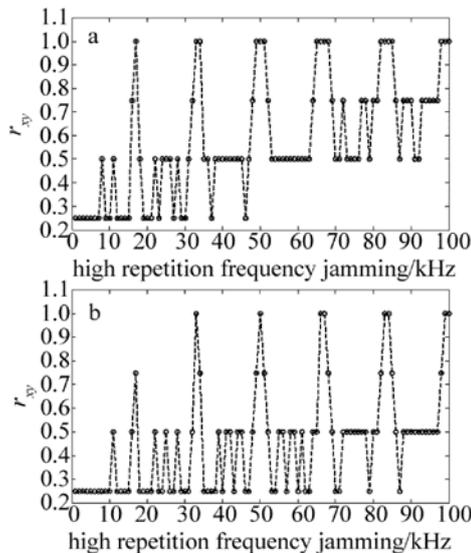


Fig. 3 Normalized cross-correlation function of different sampling period with precise frequency code 3 and decoding equation parameters $M = 4$
a—sampling period 0.01ms b—sampling period 0.005ms

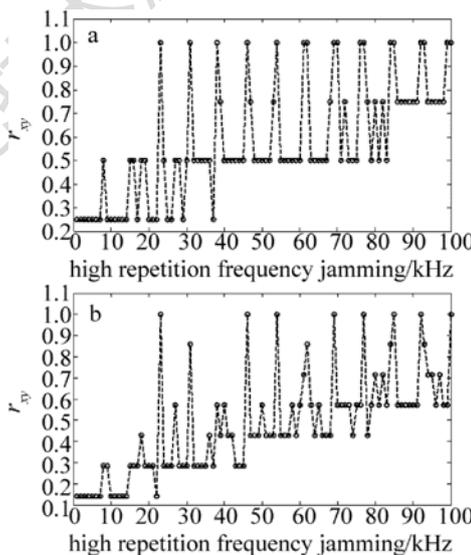


Fig. 4 Normalized cross-correlation function of different decoding equation parameters with precise frequency code 6 and sampling period 0.01ms
a—decoding equation parameters $M = 4$ b—decoding equation parameters $M = 7$

由于 100kHz 的干扰频率已经大于激光编码的最小时间单元。

此外, 对于不同条件下的互相关结果, 均存在高重频干扰频率较小而互相关函数值较大甚至为 1 的结果, 如图 3 中的 33kHz 与 50kHz, 图 4 中的 23kHz 与 46kHz。由于激光器的重复频率与脉冲输出功率是一个矛盾, 重复频率越高对激光器要求也就更高, 故由以上分析可知, 对于精确频率码, 若要提高干扰

效果,可以通过上述互相关结果选择合适的干扰频率,降低对激光器的要求。

3.2.2 同时存在干扰信号与制导信号 取周期为 97.87ms 的精确频率码 6,取解码方程参量为 $M = 10$,采样周期 0.01ms,分别取高重频干扰信号超前 300ms 和 500ms,则其与高重频激光干扰信号的归一化互相关函数如图 5 所示。

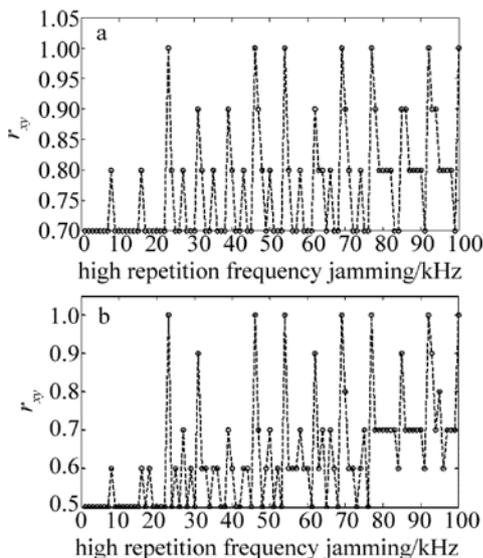


Fig. 5 Normalized cross-correlation function with different leading time
a—leading time 300ms b—leading time 500ms

由图 5 中不同超前时间互相关结果进行对比可知,高重频干扰信号超前越多,高重频干扰效果越好,将高重频干扰信号作为制导信号的可能性越大。当超前时间较短时,对制导信号的识别较为准确,但会出现干扰信号被误识别为制导信号的现象。如在高重频干扰频率为 31kHz 时,超前 300ms 时其互相关函数值为 0.9,而由解码方程参量 $M = 10$ 、超前时间为 300ms 可知实际制导信号仅有 7 个,故将 2 个高重频干扰信号误识别为制导信号;超前 500ms 时其互相关函数值也为 0.9,故将 4 个高重频干扰信号误识别为制导信号,这些干扰信号在激光制导过程中将起诱偏作用。

4 结束语

采用归一化互相关函数法,对激光高重频干扰对激光编码识别过程的影响效果进行了定量分析。

通过仅有干扰信号进入导引头波门和干扰信号超前制导信号一定时间进入导引头波门两种情况的仿真结果可知,激光编解码抗干扰性能与采样长度和采样周期都有关系。解码时采样长度越短,采样周期越大,高重频干扰信号越超前制导信号,识别过程中高重频激光干扰效果越好。对于精确频率码,要增强高重频干扰效果,不必将高重频频率增加至激光编码最小时间单元,可以根据不同精确频率码选择较低频率的高重频而达到相同的干扰效果,同时降低了对激光器的要求。

参 考 文 献

- [1] WANG W F, LIU Zh G, WANG Sh Ch, *et al.* Design of energy simulation system for laser guided weapons[J]. Laser Technology, 2012,36(6): 844-848(in Chinese).
- [2] XING H, DING Zh D, LEI P, *et al.* Influence of electro-optical jamming on attack effect of laser-guided bombs[J]. Electronics Optics & Control, 2007,14(3):51-54(in Chinese).
- [3] ZHU Ch Ch, NIE J S, TONG Zh Ch. Analysis on the mode of high repetition laser jamming[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009,38(6):1060-1063(in Chinese).
- [4] XIE X Ch. Performance of high repetition-rate laser jamming laser seeker[J]. Aerospace Electronic Warfare 2005,21(5):23-25(in Chinese).
- [5] SUN Y F, YE J S, HAO Y J. Research on counter-laser-guided missile on artillery field[J]. Infrared and Laser Engineering,2007, 36(s2):464-467(in Chinese).
- [6] HUANG F, WANG Y F, WANG J Y, *et al.* Study on application of high-repetition-rate solid state lasers in photoelectric countermeasures[J]. Infrared and Laser Engineering,2003,32(5):465-467(in Chinese).
- [7] ZHANG H W, ZHAO W, JI X, *et al.* Jamming effect of the high repetition frequency laser to the laser seeker[J]. Elector-optic Technology Application,2009,24(1):26-28(in Chinese).
- [8] WEI W J, QIN Sh Q, ZHAN D J, *et al.* Research on laser encoding in laser semi-active homing guidance[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(12):1199-1203(in Chinese).
- [9] JU Y F, MA B Q, YAO M, *et al.* Encoding and jamming technology for laser guidance signal[J]. Electronics Optics & Control, 2007,14(1):85-86(in Chinese).
- [10] WEI W J. Key techniques and system study on HWIL simulation for laser guidance and electro-optical countermeasures [D]. Changsha: National University of Defense Technology,2010: 98-102(in Chinese).
- [11] XU D Sh, XING H. The design and application of laser encoding [J]. Electronic Countermeasure Test, 2002, 38(2): 18-21(in Chinese).