文章编号:1001-5078(2012)06-0678-04

·光电对抗·

一种激光半主动制导抗高重频干扰的改进方法

陈 勇,冉景砚,吕霞付
(重庆邮电大学 网络化控制与智能仪器仪表教育部重点实验室,重庆 400065)

摘 要:高重频激光干扰是半主动激光制导武器对抗中采用的一种有效的激光有源干扰技术。通过分析激光高重频有源干扰的机理,在已有的激光高重频对抗方法的基础上,针对现有对抗方法中高重频周期难以测量的问题,采用计数波门结合时刻记录方法,测量出多个高重频干扰信号的周期,并建立了激光抗高重频干扰的模型,经过LabVIEW仿真验证,该方法不仅能有效排除高重频干扰信号,同时又不影响制导信号质量。

关键词:抗干扰;波门;制导武器;高重频激光
中图分类号:TN97 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2012.06.018

Improving method to counter high repetition jamming in laser semi-active guided systems

CHEN Yong, RAN Jing-yan, LÜ Xia-fu
(Key Laboratory of Network control & Intelligent Instrument, MOE, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: High-repetition laser jamming is an effective laser active jamming to counter the laser semi-active guidance weapon. By analyzing the mechanism of the high-repetition laser active jamming and aiming at the difficulty in measuring the repetition cycle by the existing methods, a new way using counting gate with time recording is proposed. It can accurately measure the cycle of high repetition laser jamming signal. The model of countering high-repetition jamming is built. The simulation experiment shows that the high-repetition laser jamming signals can be eliminated effectively but the guidance signal is not affected.

Key words: counter jamming; wave gate; guided weapons; high-frequency laser

1 引 言

激光半主动制导武器具有精度高、成本低、战术运用灵活等优点,是目前装备量最大、应用范围最广的一类精确打击武器,其干扰和抗干扰技术成为国内外研究热点[1-2]。随着科技的发展,针对激光制导武器的干扰技术也得到了很大发展。现有的激光干扰方式中,激光高重频干扰具有无需编码识别、实施简单、实时性好的优点[2],成为一种非常有效的干扰方式。如何增强激光制导武器的抗高重频干扰的能力,充分发挥激光制导武器的作战效能,是一个亟需解决的问题。

2 激光高重频干扰机理分析

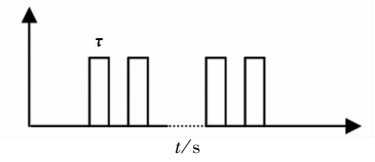
激光半主动制导武器系统,常用来对抗激光有源欺骗式干扰方式有两种[3]:一是对目标指示信号进行编码,同时在导引头设置相应的解码电路解码;二是在导引头的跟踪系统中设置脉冲录取波门。为了取得更好的抗干扰效果,通常这两种措施被同时采用。

基金项目:重庆市教委项目(No. KJ090525)资助。
作者简介:陈 勇(1963-),男,博士,教授,主要研究方向为光电信号处理,自动化装置及系统。E-mail:chenyong@cqupt.edu.cn
收稿日期:2011-09-14;**修订日期**:2011-09-26

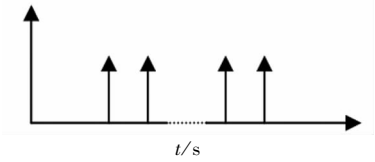
激光半主动寻的制导导引头的允许进入脉冲波门的宽度受波门形式、激光频率抖动、导引头与目标距离变化时激光信号的延时差异和指示器与导引头的时基误差等诸多因素的影响,但不能设置得过小。固定型波门宽度通常为数百微秒,实时型波门可以设置在 30 ~ 50 μs[4],这使工作频率仅在几十赫兹的激光角度式欺骗干扰的干扰效果大大降低。

高重频激光干扰技术的干扰机理在于利用高重复频率的激光脉冲作为干扰信号,保证在导引头选通波门内至少会有两个干扰脉冲,迫使其探测系统较高概率地处理干扰信号,从而使导引头形成错误的制导指令去控制制导武器的飞行。

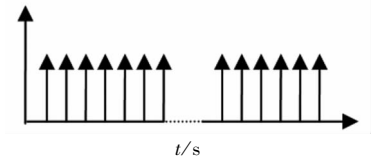
对于高重频的干扰激光,只要重复频率 $f \geqslant 1/\tau$ (τ 为波门时间宽度),那么至少会有一个干扰脉冲进入波门[5]。当干扰脉冲先于制导信号之前进入波门,且强度大于制导信号时,就会对导引头形成有效的干扰,其原理如图 1 所示。



(a)脉冲录取波门



(b)激光制导信号



(c)高重频激光干扰信号

图 1 高重频激光干扰示意图

3 常用抗高重频的方法分析与比较

对现有文献进行跟踪分析,我们总结出常用的对抗高重频激光干扰的方法有两种:一是在目标指示器上设计能抗高重频的新型编码[6];二是激光导引头上信号处理部分寻求对抗高重频的方法。

本文仅讨论在导引头上对抗高重频激光有源干扰的方法。在现有文献中,导引头上抗高重频激光干扰方案有两种。目前只考虑一个高重频激光有源干扰源连续干扰的简单方式。

第一种方案[7]的基本思路是:首先,随机地选取 6 个相邻脉冲信号,分类讨论可能存在的情况,求出高重频的周期;其次,寻找反向高重频开关的同步点,发送与高重频干扰信号完全反向的周期信号;最后,使用反向高重频信号控制的高重频电子开关,消除高重频干扰信号。其原理如图 2 所示。

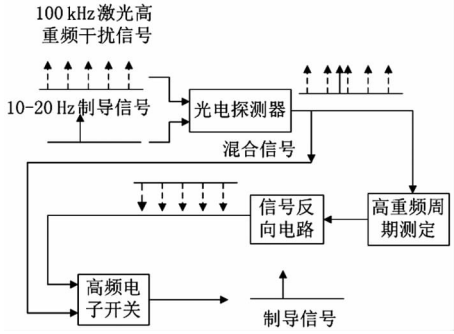


图 2 抗高重频激光干扰方案一原理图

第二种方案[1]是:在两个选通波门之间设置两个波门,一个较宽的“计数波门”,用来对探测器上的脉冲信号进行计数,判断是否受到高重频激光干扰威胁;另一个较窄的取样波门,用来获取高重频激光在探测器上产生的信号,作为区分干扰信号和制导信号的参照。

导引头信号处理电路在一个选通波门过后,先启动“计数波门”,对探测器上的脉冲信号进行计数,根据所计脉冲信号的数目,判断导引头是否会受到干扰。确定受到有效高重频干扰后,就启动“取样波门”,记录下高重频激光脉冲在探测器上产生的信号,在随后的选通波门开启后,同波门内的脉冲信号逐一进行比较,如果一致,则认为是干扰信号予以剔除,否则就认为是制导信号。图 3 为抗高重频激光干扰过程的波门示意图,实线代表选通波门,点虚线代表“计数波门”,虚线代表“取样波门”。

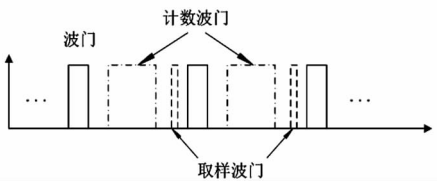


图 3 抗高重频激光干扰方案二的波门示意图

通过对以上两种方法的原理进行比较分析,两种方案均存在一定的缺点。第一种方案在寻找激光高重频干扰信号的周期时,仅用 5 个脉冲讨论就行,6 个及 6 个以上的随机脉冲的情况均可以归类于 5 个随机脉冲时的三类情况;高重频干扰脉冲的周期低至十几微秒,甚至几微秒,按方案一中分析的情况,制导信号与干扰信号的脉冲之间的周期更小,所以存在不能够准确测量高重频脉冲周期的问题。

方案二采用的测量高重频脉冲周期的方法通过

改进后完全可行,而采用取样波门内信号与波门信号对比的方法来消除高重频时,需要一个一个对比消除,运算量很大。同时,如果高重频干扰信号均超前于制导信号进入波门,则方案二的方法不能消除高重频信号的干扰。

4 抗高重频干扰改进方案

基于前述抗高重频激光有源干扰方案存在的问题,本文提出抗高重频干扰的改进方案。

4.1 获取高重频信号的周期

采用在波门之间设置计数波门。记录计数波门内第一个信号的时间 t_1 和最后一个信号的时间 t_n,得到计数波门内总的时间 $t=t_n-t_1$,采样的脉冲个数为 n,则可求得两个脉冲之间的平均时间 T:

$$T=(t_n-t_1)/(n-1) \tag{1}$$

即 T 为高重频信号的周期。

这仅为一个高重频干扰信号源存在时的高重频信号周期的测量方法。若存在两个干扰源,并且两个干扰源的频率相同,相位不同。设定计数波门内的第一个信号的时间为 t_1 和最后一个信号的时间 t_n,采样的脉冲个数为 $n(n>2$ 并且为奇数),则可求得两个高重频干扰信号的周期 T:

$$T=(t_n-t_1)/((n-1)/2) \tag{2}$$

设有 m 个高重频干扰源存在,频率相同,相位不同。设定计数波门内的第一个信号的时间为 t_1 和最后一个信号的时间 t_n,采样的脉冲个数为 $n(n>m$ 并且 $n-1$ 能整除 $m)$,则可求得多个干扰源的周期 T:

$$T=(t_n-t_1)/((n-1)/m) \tag{3}$$

4.2 寻找反向高重频信号的同步点

计数波门的存在,为寻找反向信号同步点提供依据。因此可选取计数波门内的第一个脉冲信号作为反向高重频信号的同步点。

4.3 高重频干扰信号的消除

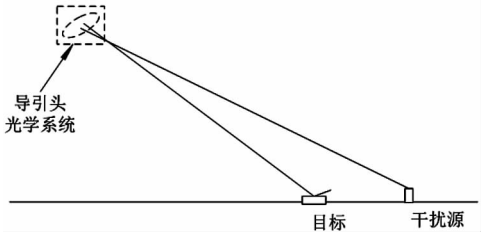
以反向高重频信号控制一个高重频电子开关,当复合信号通过此电子开关时就可以消除高重频干扰信号。可以考虑适当加宽反向高重频信号的脉冲宽度,达到更好消除高重频的目的。

对于多个高重频干扰源存在的情况,只要测定出干扰源的周期,就能参照一个干扰源存在的情况逐个消除高重频干扰信号。

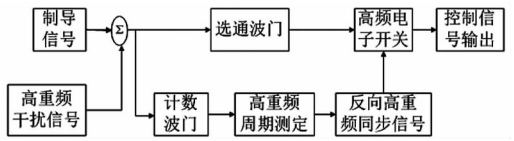
5 仿真验证

干扰信号与制导信号重合时,起到加强制导信号的作用,不会形成有效的干扰。由高重频激光脉冲干扰的机理可知,只有干扰信号超前制导信号进入选通波门时才能形成有效的干扰。

假设目标静止,高重频激光干扰源在弹目连线地面投影的延长线上。高重频激光干扰模型如图 4(a)和波门信号处理模型简图如图 4(b)所示。



(a)干扰模型简图



(b)改进方案的波门外信号处理模型

图 4 激光高重频抗干扰处理模型

采用 LabVIEW 对改进方案进行仿真验证原理如下。仿真程序采用 while 循环结构,用来控制程序的起止;使用脉冲信号子 VI 和“pulse”子 VI 来模拟激光制导信号和高重频干扰信号;通过单频测量模拟计数波门及高重频周期测定模块;采用测定的高重频干扰信号周期控制一个反向的高重频脉冲信号来消除混合信号中的高重频干扰信号。其中,“pulse”是我们设计制作封装的可实现微秒级延迟的脉冲信号子 VI。程序框图如图 5 所示。

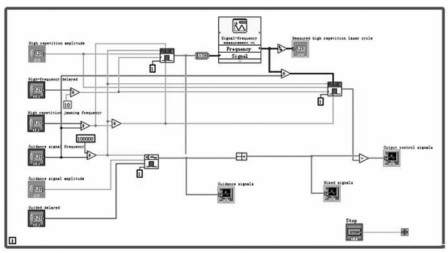
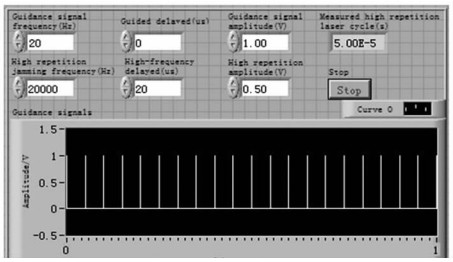
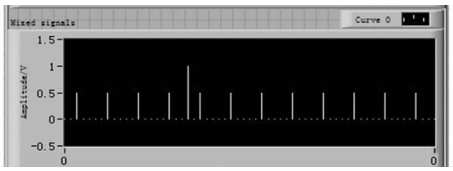


图 5 激光高重频抗干扰程序框图

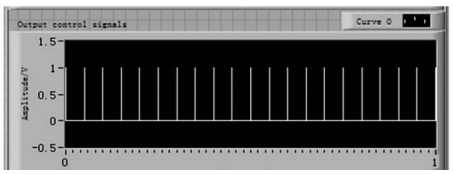
LabVIEW 仿真设定条件:设定制导信号的频率为 20 Hz,幅值为 1 V;高重频信号的频率为 20 kHz,幅值为 0.5 V;高重频干扰信号比制导信号延迟 20 μs;波门宽度为 100 μs。LabVIEW 建模仿真后的运行结果:图 6(a)为激光制导信号,图 6(b)为高重频干扰信号和激光制导信号叠加后的混合信号;图 6(c)表示经过高重频抗干扰信号处理后的控制信号。从图 6(a)和图 6(c)对比可以看出,输出控制信号与制导信号相同,不受高重频干扰信号的影响。



(a) time/s



(b) time/s



(c) time/s

图 6 激光高重频抗干扰处理界面

6 结束语

建立高重频抗干扰模型,并通过 LabVIEW 编程仿真验证,结果表明改进方案能有效的对抗高重频干扰而不影响制导信号。改进方案的周期测量方法对于多个高重频干扰源存在的情况,具有一定的优越性,为进一步研究对抗多个高重频干扰源方法提供了参考。

参考文献:

[1] Wu Jianjun, Wang Jinyu. A method of counter high-frequency laser jamming of laser seeker[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(10): 1081 – 1084. (in Chinese)
吴建军,王金玉. 一种激光导引头抗高重频干扰的方法[J]. 激光与红外,2007,37(10):1081 – 1084.

[2] Chai Jinhua, Wang Zhongya. New scheme and circuit implementation of countering multiple-source high-repetition frequency laser jamming[J]. Infrared & Laser Engineering, 2009, 38(3): 476 – 480. (in Chinese)
柴金华,王中亚. 抗多源激光高重频干扰新方案及电路实现[J]. 红外与激光工程,2009,38(3):476 – 480.

[3] An Huahai, Yan Xiusheng, Zheng Rongsan. Code analysis and recognition treatment technique of laser guidance signal[J]. Electro-optic Countermeasure & Passive Jamming, 1996, (3): 26 – 30. (in Chinese)
安化海,闫秀生,郑荣山. 激光制导信号的编码分析及识别处理技术[J]. 光电对抗与无源干扰, 1996,(3): 26 – 30.

[4] Huang Feng, Wang Yuefeng, Niu Yanxiong, et al. Study on application of high-repetition-rate solid state lasers in photoelectric countermeasure[J]. Infrared & Laser Engineering, 2003, 32(5): 465 – 467. (in Chinese)
黄峰,汪岳峰,王金玉,等. 高重频固体激光器在光电对抗中应用研究[J]. 红外与激光工程,2003,32(5): 465 – 467.

[5] Zhu Chencheng, Nie Jinsong, Tong Zhongcheng. Analysis on the mode of high repetition laser jamming[J]. Infrared & Laser Engineering, 2009, 38(6): 1060 – 1063. (in Chinese)
朱陈成,聂劲松,童忠诚. 高重频激光干扰模式的分析[J]. 红外与激光工程,2009,38(6):1060 – 1063.

[6] Wei Wenjian, Qin Shiqiao, Zhang Dejun, et al. Research on laser encoding in laser semi-active homing guidance [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(12): 1199 – 1203. (in Chinese)
魏文俭,秦石乔,战德军,等. 激光半主动寻的激光编码的研究[J]. 激光与红外,2008, 38(12):1199 – 1203.

[7] Sun Yanfei, Ye Jiesong, Hao Yanjun. Research on counter-laser-guided missile on artillery field[J]. Infrared & Laser Engineering, 2007, 36(S2): 464 – 467. (in Chinese)
孙彦飞,叶结松,郝延军. 对抗激光制导武器方法研究[J]. 红外与激光工程,2007,36(S2):464 – 467.