

文章编号:1001-5078(2007)01-0010-04

光电成像制导系统干扰与抗干扰的性能评估

刘松涛¹,周晓东¹,陈永刚²

(1. 海军航空工程学院控制工程系, 山东 烟台 264001; 2. 92830 部队第四处, 海南 海口 571122)

摘要:文章简要阐述了对光电成像制导系统的干扰和抗干扰措施,依据对抗效果及评估准则,概括归纳了五种不同特点的评估方法,最后介绍了评估系统的现状,并指出了对抗性能评估技术的发展方向。

关键词:光电对抗;光电成像制导系统;对抗效果评估

中图分类号:TN976 **文献标识码:**A

Evaluation Techniques for Countermeasures and Counter-countermeasures Performance on Electro-optical Imaging Guided Systems

LIU Song-tao¹, ZHOU Xiao-dong¹, CHEN Yong-gang²

(1. Naval Aeronautical Engineering Institute, Control Engineering Dept., Yantai 264001, China;
2. 4th Department of 92830 unit, PLA, Haikou 571122, China)

Abstract: Countermeasures and counter-countermeasures methods on electro-optical imaging guided systems are discussed briefly. According to countermeasure effect and evaluation rules, five evaluation methods with different features are generalized. The current status on evaluation system is introduced and the future on evaluation techniques for countermeasures performance is pointed out.

Key words: electro-optical countermeasures; electro-optical imaging guided systems; evaluation of countermeasures effect

1 引言

常见的光电对抗武器有三类:侦察告警、光电干扰、光电制导。依据试验特点可分为性能测试试验和能力试验两大类。本文探讨光电干扰与光电制导武器的对抗能力评估技术。

光电干扰效果是指在光电干扰作用下对被干扰对象产生的破坏、损伤效应,是光电干扰设备综合战术性能最直观的体现。干扰效果评估是干扰技术研究的重要环节,对于改进干扰技术有重要意义。因此,各国都十分重视干扰效果评估方法和技术的研究及应用。

光电成像制导系统抗干扰性能评估是针对光电制导系统在光电干扰环境下,性能水平的下降程度进行定量评估的方法。

光电成像制导系统对抗性能的鉴定试验与一般武器研制鉴定有较大差别,主要表现在:评定内容和环境、评估指标、判定依据等方面。实际上,设备在

研制过程中,有许多配套的测试评估方法和手段,可以对它们的分解技术状态进行性能测试和评估^[1],但考虑到对抗性能的评估,还需采用一些独立的测试评估程序与手段。

2 对光电成像制导系统的干扰和抗干扰措施

首先,简要介绍干扰环境和制导系统采取的抗干扰措施,然后再研究对抗效果的评估问题。

2.1 干扰环境

以红外为例,光电成像制导武器目前主要受到红外诱饵干扰弹、红外调制干扰机、烟幕干扰弹、红外箔条干扰等形成的干扰环境的干扰,正在进一步研究的干扰手段还有红外隐身、伪装与红外抑制、激光致盲等。干扰环境可以概括为两类:一是交战前

作者简介:刘松涛(1978-),男,博士研究生,主要从事图像融合,目标识别,成像跟踪,DSP开发等研究工作。E-mail:navylst@sohu.com

收稿日期:2006-05-21;修订日期:2006-06-14

应用的(比如伪装与红外抑制);二是交战过程中动态产生的(比如烟幕、诱饵弹)。

红外诱饵弹、红外干扰机等常规的干扰手段已难以对抗先进的红外成像制导方式,但以红外气溶胶烟幕为代表的遮蔽式干扰方式却非常有效,干扰成功可产生极高的效费比。

一般认为红外干扰环境大致可以分为以下几个等级:

一级干扰环境,以红外诱饵弹为主进行人工诱饵干扰;

二级干扰环境,以红外诱饵弹和红外干扰机为主形成的红外干扰环境;

三级干扰环境,以红外诱饵、红外干扰机和红外隐身形成的红外干扰环境;

四级干扰环境,在上述红外干扰手段中再加上红外告警、激光致盲等形成主动型红外干扰环境。

这是从干扰环境本身来划分的,我们认为,真正的干扰环境等级应该从被干扰对象的角度进行划分。

2.2 抗干扰措施

光电成像制导系统(包括红外制导系统、电视制导系统等)的抗干扰能力主要体现在识别并跟踪视场内不同目标的能力。常见的抗干扰措施有:记忆跟踪(当信号变化太迅速时,停止更新跟踪状态);跟踪波门(仅使用视场中目标位置处的一部分,干扰物必须在波门内才有效);选择置信度最高的目标进行跟踪;选择视场内具有期望运动轨迹的目标。

抗干扰过程为:在信号处理部分,导引头将跟踪具有不同轨迹的目标,然后选择置信度最高的目标进行跟踪,同时存储跟踪目标的历史状态。当在视场内探测到干扰物,且不能和目标区分时,进入记忆跟踪状态。当干扰物逸出当前视场或者又识别出目标,导引头重新锁定,停止记忆跟踪。

3 对抗效果及评估原则

干扰与抗干扰效果的评估是统一的。两者效果相反,对抗效果的评估可以归结到干扰效果的评估上。

干扰效果以受干扰前后关键性能的变化为依据进行评估。

在评估干扰效果时,首先要确定相应的评估准则。主要指所选择的评估指标和所确定的干扰效果等级划分。评估指标主要针对关键性能;干扰效果主要指对战术性能或总体功能的影响程度,确定出与干扰无效、有效或1级、2级、3级等量化等级对应的评估指标阈值。干扰效果评估准则是进行干扰效

果评估所必需的依据^[2]。

4 评估方法

光电成像制导系统从开机到击中目标的这段时间里,按其工作任务可以分为三个阶段,即搜索截获、跟踪和击中目标。相应地,提出三种不同的评估方法:基于搜索参数的评估方法、基于制导精度的评估方法和基于跟踪精度的评估方法。成像制导武器的核心是各种图像处理算法,为此又提出基于图像特征的评估方法。最后,为了充分利用武器系统研制过程和打击目标过程的各个阶段所存在的大量试验数据,提出了试验数据综合评估方法。

4.1 基于搜索参数的评估方法

如果光电成像制导系统在预定的区域中未能发现目标,即启动搜索功能,直到截获目标,从而转入对目标的跟踪。在这个阶段,干扰效果的评估应该以截获概率、虚警概率、捕捉灵敏度以及跟踪目标和跟踪干扰的转换频率等指标来衡量。

4.2 基于制导精度的评估方法^[3]

制导武器弹着点的脱靶量和制导精度是反映其战术性能的关键指标,对制导武器的干扰直接影响到其脱靶量和制导精度,所以评估指标可以选择为脱靶量或制导精度,通过检测制导武器受干扰后,其脱靶量或制导精度的变化情况来评估干扰效果。

理论分析和大量试验结果证实,在正常情况下,制导武器的制导误差服从正态分布。既然制导误差服从正态分布,根据测量误差理论,制导武器弹着点落在以目标为中心,半径为 S 的范围内的概率为68.27%(S 为制导误差的标准差),落在以 $2S$ 和 $3S$ 为半径的范围内的概率则分别为95.45%和99.73%,也就是说,在未实施光电干扰时,制导武器弹着点仅有0.27%的概率偏离目标中心、半径为 $3S$ 的范围以外。为此,我们以 $3S$ 为界限判定实施干扰时制导误差是否超出正常制导精度允许范围。

设未实施光电干扰时制导武器的制导精度为 S_0 ,实施干扰后脱靶量大小为 δr ,则可以按照以下标准判定干扰是否有效:当 $\delta r \leq 3S_0$ 时,本次干扰无效;当 $\delta r > 3S_0$ 时,本次干扰有效。

如果无法获知光电制导武器无干扰时的制导精度,以实施干扰后的脱靶量相对于制导武器对被保护目标的杀伤半径的大小为依据,来评定干扰是否有效或确定干扰效果等级。设杀伤半径为 R_d ,当 $\delta r \leq R_d$ 时,本次干扰无效;当 $\delta r > R_d$ 时,本次干扰有效。

实际对光电制导武器的干扰是一个高度动态的过程,影响干扰效果的因素非常复杂,干扰效果有很大随机性。因此重要的是干扰概率,通称干扰成功

率,其定义为:

$$\eta = (n_e/n) \times 100\% \quad (1)$$

式中, n 为总干扰次数; n_e 为有效干扰次数。

依据干扰成功率的大小将干扰效果划分为若干等级。需要说明,由于通过实弹发射检验干扰效果只能进行少量次试验,因而试验数据少,一般不足以提供统计分析所需的试验数据量,不能统计得到干扰成功率。

4.3 基于跟踪精度的评估方法

导引头截获目标后转入对目标的自动跟踪状态,并连续测量目标的运动参数,控制导弹飞向目标。这个阶段一般可以通过监测干扰前后以及干扰过程中导引头的导引信号,导引头跟踪轴(即光轴)相对于目标视轴的偏差即跟踪误差(也称跟踪脱靶量),经处理得到跟踪精度,还可以结合跟踪误差角和目标距离计算,得到目标处靶平面上的跟踪脱靶距离。

需要特别指出的是,在利用导引头进行挂飞和地面干扰试验时,考核的仅是导引系统将光电制导武器光轴导引指向目标的误差和精度,即导引头的跟踪误差和跟踪精度。显然,制导武器的制导误差、制导精度、脱靶量将不仅由导引头的跟踪性能决定,还与控制系统以及弹体的运动过程有关。

对于可以进行干扰试验的情况,可仿照基于制导精度的干扰效果评估方法,这里以导引头的跟踪精度取代制导武器的制导精度,以导引头的跟踪脱靶量取代制导武器的脱靶量。导引头跟踪精度通常可用跟踪误差的标准差表征。

对于基于跟踪精度的评估方法,由于检测的是跟踪脱靶量(不同于制导武器最终在遭遇区弹着点的脱靶量),所以还应该考虑到一种有效干扰情况,即当干扰较强时,导引头的跟踪处理系统可能会提取不出有效的跟踪脱靶量,或者导引头受到干扰损伤时(例如被激光致盲),完全不能输出跟踪脱靶量,显然这是一种比脱靶量超差更为严重的干扰效果。

4.4 基于图像特征的评估方法

目标探测过程中最重要的部分是正确地选择特征和有效地提取特征。文献[4]基于图像特征引入了对比度评估和相关度评估干扰系数的概念,通过计算干扰系数的大小可以定量评估干扰效果的好坏。该方法的缺陷是成像制导系统的跟踪算法必须是基于对比度特征或相关度特征。最有希望的做法可能是将不同的特征组成特征向量,则在目标和背景区域特征向量取值的差别越大,越容易区分目标和背景。许多方法可以表示这种差别,比如统计距

离测度。低分辨率图像纹理信息的质量是很弱的,如果在这些图像上选择纹理特征,探测效果不可能好。所以,对不同的图像需要选择最有利于区分目标和背景的特征。

在数字仿真中,文献[5]基于信干比提出了鲁棒的凝视红外成像导引头性能评估技术。性能评估模型应该包括:背景、目标、大气传输、传感器和图像预处理算法。背景杂波和系统噪声会增加目标探测的困难,而图像预处理算法可以抑制背景杂波和系统噪声,改善系统的信干比,从而增加系统的抗干扰能力。类似地,考虑到先进的器件总是先用于军事,IRFPA 探测器件的 NETD 是比较容易获得的物理量。同时从探测理论的角度出发,引导系统的信噪比是一个关键参数,文献[6]导出了施放干扰状况下,基于信噪比与 NETD 的数学模型。

由于外场场景和干扰的变化与复杂,信号处理算法应该是鲁棒的。文献[7]在信号处理算法研究实验室建立了一个评估系统来研究评估的准则。信号处理算法的功能是抑制噪声、探测可能的目标、排除虚假目标和识别真正的目标,最后跟踪目标。所以他们认为需要评估四个方面的能力:目标探测能力、目标识别能力、目标跟踪能力和运行速度。

4.5 试验数据综合评估方法

目前对制导系统的干扰和抗干扰试验方法主要有:实弹试验、外场模拟飞行试验、外场地面试验、半实物仿真试验和数学仿真试验等几种。综合考虑各种试验方法的特点,从提高试验结果的置信度出发,并考虑到试验组织实施的可行性、经济性。我们认为,随着计算机技术的发展和仿真试验技术的逐步成熟,对制导武器的干扰和抗干扰试验应该以仿真试验为主,同时结合少量的外场实弹试验、模拟飞行试验和地面试验,通过对仿真和外场试验结果的综合比对分析,最终对干扰和抗干扰效果作出可靠评估。文献[8]提出采用层次分析法,充分利用导引头研制过程中各阶段的实验数据,综合地评估红外导引头抗干扰性能。

5 对抗性能评估系统

光电对抗性能评估系统的主要功能是,检验评估光电制导设备在不同天候环境和不同对抗条件下的制导性能与抗干扰能力,检验评判光电干扰设备对光电成像导引头的干扰效果等。评估系统的通用性是对抗试验鉴定中的关键性问题。所以要把对抗效果的评估建立在相对的基础上,也就是说,被干扰的制导系统接近某种可能情况时,干扰效果如何;而部署的干扰措施接近某种可能情况时,制导系统的抗干扰能力又如何。

在光电对抗性能评估领域,美国发展得较快也较全面,拥有空军电子战评估系统(AFEWS)的光电仿真试验系统、埃格林空军基地光电仿真试验系统、陆军导弹司令部高级仿真中心的光电仿真试验系统和海军半实物仿真导弹实验室的光电仿真试验系统。比如:为了评估红外干扰对抗先进红外成像反舰导弹的能力,美国海军实验室发展了新的半实物模型技术,包括创造一个工具来产生精确的红外图像和合成视频注入到真实的威胁模拟器,并采用真实录取的图像来校验所提技术的精确性和有限性^[9];空军电子战评估仿真器(AFEWS)红外干扰测试设备现在已有能力仿真一个完全的红外干扰测试环境,包括导弹飞行、飞机飞行和各种各样的红外干扰(如机动、点源曳光弹、光源干扰系统等)^[10]。

荷兰的TNO物理电子实验室建立了反舰导弹红外诱饵的有效评估工具^[11]。在方便的软件安装后,可以选择不同的预处理和探测算法来处理录取的红外图像序列。通过改变导引头参数(比如当第一个诱饵被部署后导引头和舰船之间的距离、导弹搜索算法和导弹跟踪算法),可以评估在各种场景下录取的诱饵部署的有效性。

加拿大的海军威胁和干扰模拟器(NTCS)能建模舰船和红外制导反舰导弹之间的交战^[12]。NTCS建立在以前研发的海军舰船信号软件即舰船红外模拟器(SHIPIR)基础之上,SHIPIR提供了宽工作范围、大气特性、观察者和频谱条件的海天背景下的舰船三维图形图像。通过加入红外导引头模型、导弹飞行动力学和部署的红外干扰,NTCS通过计算目标锁定距离和hit/miss距离可以评估舰船在红外干扰情况下的生存能力。

作者所在课题组曾开发了一个光电成像导引头干扰和抗干扰测试设备,其试验方法为外场地面试验和数字仿真实验^[13-14]。根据最少配置、综合利用、最大效费比的原则,外场地面试验选择工程车上加载改造光电跟踪仪来模拟光电成像导引头。该设备可以模拟电视/红外成像导引头在受到曳光弹、烟幕弹干扰后对目标的自动搜索、识别和跟踪过程,同时测量出曳光弹、烟幕弹对导引头的干扰效果。

6 结束语

干扰与抗干扰是矛盾对立统一的两个方面,干扰、抗干扰效果评估是一个复杂的问题。本文通过深入研究国内外见诸于文献的各种评估方法及评估系统,概括出五种不同特点和适用性的评估方法。

光电成像制导系统对抗效果评估是一项复杂的系统工程,它不仅仅是对光电成像制导系统本身的认知问题,而且是对光电干扰空间、环境空间、战术

使用空间、目标特征空间、光电成像制导系统本身空间的一个动态的认知问题,因此评估的不确定因素很多。要使评估有实际的意义,从宏观上讲,就要从光电成像制导系统作战使用的高度对各种因素有一个全面系统的认识;从微观上讲,就要对光电成像制导系统的抗干扰性能、光电干扰设备的干扰效果有深刻的认识。

参考文献:

- [1] CHRZANOWSKI K. Testing of military optoelectronic systems[J]. Opto-Electronics Review, 2001, 9(4): 377-384.
- [2] 高卫. 对光电成像系统干扰效果的评估方法[J]. 光电工程, 2006, 33(2): 5-8.
- [3] 高卫. 对光电制导系统干扰效果的评估方法[J]. 弹道学报, 2005, 17(3): 53-59.
- [4] 赵大鹏, 时家明. 基于图像特征的成像制导对抗干扰效果评估方法[J]. 激光与红外, 2005, 35(8): 599-601.
- [5] Chang Hong-hua, Zhang Jian-qi, Wang Xiao-rui, et al. Background clutter and detection algorithm-based staring IR seeker performance evaluation [A]. Proceedings of SPIE, 2005, 5640: 381-390.
- [6] 熊晓伟, 刘上乾. 红外气溶胶烟幕干扰效果的定量评估[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(2): 38-41.
- [7] Huang Shike, Li Lijuan, Chen Baoguo, et al. Performance evaluation system of signal processing algorithms [A]. Proceedings of SPIE, 2001, 4553: 185-190.
- [8] 吴志红, 董敏周, 王建华, 等. 红外导引头抗人工干扰性能评估方法[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(3): 770-772.
- [9] T M Taczak, J W Dries, R E Gover, et al. Naval threat countermeasure simulator and the IR_CRUISE_missiles models for the generation of infrared (IR) videos of maritime targets and background for input into advanced imaging IR seekers [A]. Proceeding of SPIE, 2002, 4717: 183-194.
- [10] I Hank D Jackson, Tommy L Blair, Bruce A Ensora, et al. Air Force electronic warfare evaluation simulator (AFEWS) infrared test and evaluation capabilities [A]. Proceedings of SPIE, 2005, 5785: 184-195.
- [11] Jong Wim de, Sebastiaan P van den Broek, Ronald van der Nol. IR seeker simulator to evaluate IR decoy effectiveness [A]. Proceedings of SPIE, 2002, 4718: 164-172.
- [12] Vaitekunas D A K Alexan, A M Birk, et al. Naval threat and countermeasures simulator [A]. Proceeding of SPIE, 1994, 2269: 172-185.
- [13] 刘松涛, 周晓东, 王学伟, 等. TVIR 光电干扰效果事后评估系统设计[J]. 激光与红外, 2004, 34(4): 292-294.
- [14] 王学伟, 熊璋, 沈同圣, 等. 光电成像导引头抗干扰性能评估方法[J]. 光电工程, 2003, 30(1): 56-58.