

对抗红外成像空空制导导弹的措施研究

李传良^{1,2}, 童中翔¹, 赵道文²

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军第一航空学院, 河南 信阳 464000)

摘要: 研究如何对抗红外成像空空制导导弹, 对提高战斗机生存力具有十分重要的意义。依据红外成像制导原理及其弱点, 从技术和战术角度分别研究了对抗措施, 技术角度的对抗主要是使用高性能的智慧型诱饵实施干扰和利用红外烟幕进行遮挡; 战术角度的对抗包含目标机的战术机动和诱饵的战术使用。提出了基于有效战法的一体化对抗系统; 有效战法采用实弹打靶数据校核仿真试验模型的方式得到; 一体化对抗系统综合了机载中央计算机、导弹逼近告警子系统、诱饵投放子系统和飞行控制子系统, 实现了技术对抗和战术对抗措施的融合, 能依据有效战法智能决策并实施对抗策略, 为设计其他综合性强、智能程度高的机载对抗系统提供了参考。

关键词: 航空电子与机载计算机系统; 一体化对抗系统; 对抗仿真; 红外成像空空制导导弹; 智慧型诱饵; 战术机动

中图分类号: TN976 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2011.12.014

Research on methods of countermining infrared imaging air-to-air missile

LI Chuan-liang^{1,2}, TONG Zhong-xiang¹, ZHAO Dao-wen²

(1. Institute of Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. The First Aeronautic Institute of Air Force, Xinyang 464000, China)

Abstract: Research on how to countermine infrared imaging air-to-air guidance missile is very important to improve aircraft survivability. According to infrared imaging guidance theory and its weakness, the following two kinds of countermeasures are introduced. One relies on technology means. High-power intelligent decoys can disturb the aircraft infrared signal, which is to be detected by the seeker. And infrared screen can shield the real signal. The other is to take tactics measures. It includes aircraft maneuver and the usage of decoys. Based on effective pattern, an integration counter system was put forward. The effective pattern was obtained by live-fire test and simulation. Live-fire test was used to verify simulation model. The integration counter system is composed of central computer, MAWS, decoy releasing subsystem and FCS. It realizes amalgamation between technology and tactics countermeasure. It can make decision intelligently by the effective pattern, and bring decision into effect. The system can be helpful to design other airborne counter system with high integration performance and intelligent characteristics.

Key words: avionics and airborne computer system; integration countermeasure system; counter simulation; infrared imaging air-to-air guidance missile; intelligent decoy; tactics maneuver

1 引言

红外成像空空制导导弹采用先进的红外成像导引头, 性能较高。如 AIM-9X 导弹采用凝视焦平面红外成像导引头, 根据美军公布的 F-16 使用

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 60772162) 资助。

作者简介: 李传良 (1981-), 男, 讲师, 博士生, 主要从事红外对抗仿真方面的研究工作。E-mail: lclxyxi@163.com

收稿日期: 2011-04-21; **修订日期:** 2011-05-26

AIM-9X导弹攻击诱饵靶机的视频、攻击过程中导引头的记录图像和相关数据来看,该型导弹具有优良的目标截获能力和抗红外干扰能力。目前,广泛装备的机载红外曳光弹只能对抗红外非成像制导导弹,新的对抗红外成像制导导弹的措施的研究迫在眉睫;此外,面对复杂、多变的战场环境,各种对抗措施在实战中如何实现一体化,使对抗手段综合、智能,也是提升载机对抗能力必须要考虑的问题。

2 红外成像制导原理及弱点分析

2.1 成像导弹制导原理

红外成像导弹依据目标发射的红外辐射信号进行目标的探测——识别——跟踪导引,制导原理如图1所示。

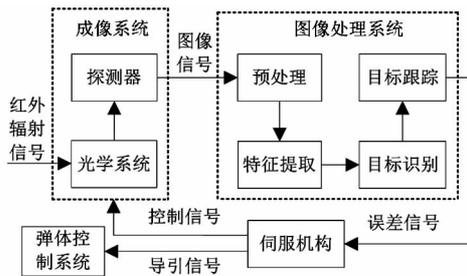


图1 红外成像制导原理图

目标机和背景的红外辐射,经大气传输后,符合导弹工作波段的辐射投影到探测器上,经光电转换后输出图像信号,图像处理系统对图像信号进行预处理,降低噪音、抑制背景,完成对目标的探测。

提取图像的特征信息,如灰度、面积、长宽比和不变矩等,与预先存储的目标机特征信息进行比较,通过分类算法识别出“真目标”。

在远距离跟踪阶段,导引头采用形心跟踪或质心跟踪方式产生波门套住“真目标”;近距离时采用相关匹配跟踪,即将将预存图像与“真目标”图像进行相似度匹配,从而确定跟踪点,输出目标的误差信号;伺服机构产生控制信号,实现导引头对目标的跟踪,并形成导引信号控制导弹飞向“真目标”。

2.2 成像制导的弱点分析

在探测阶段,如果探测器接收到的目标机信号强度不够,图像信号的信噪比就低,处理系统很难从中检测出目标。在识别阶段,如果图像信号包含假目标信号,则可能造成依据特征值进行目标识别的方法失效,导引头“真假难辨”。在跟踪导引阶段,如果图像信号发生较大的变化,可能导致跟踪点发生较大的偏差,伺服机构输出偏离真目标的控制信号和导引信号,破坏稳定跟踪。

因此,采用对抗措施改变图像信号是对抗成像

制导的切入点。

3 技术角度的对抗措施

技术上的对抗措施主要是采用高性能的红外诱饵,包括智慧型诱饵和红外烟幕。

3.1 智慧型红外诱饵

由于红外成像导引头能够依据目标的空间和时间信息进行目标识别,传统的红外曳光弹对它不能形成干扰^[1]。目前,主要采用智慧型红外诱饵,其与载机具有相似的图像特征,通过系留或发射的方式与载机一起飞行,如国外已经研制成功的ALE-50(V)拖曳式红外诱饵、Loralei伴飞式红外诱饵。

3.1.1 干扰原理

智慧型诱饵和目标机分离时,与目标机具有相似的图像和运动学特征,能对成像制导的识别、跟踪形成干扰。

(1) 对识别能力的干扰

智慧型诱饵释放后在一段时间内与目标机一起飞行,保证了在导引头视场内有两个分离的目标,或者一个相互融合的目标。无论是哪种情况获得的图像信号都会有较大的变化,若目标融合,则提取的特征信息与预存信息差异较大;若目标分离,则分别对两个目标提取的特征均与预存信息差别不大,都无法识别出真目标。

(2) 对跟踪模式的干扰

采用波门跟踪时,由于智慧型诱饵释放后与目标机一起飞行,因此波门内的图像信号发生较大变化;采用相关匹配跟踪时,智慧型诱饵破坏了真目标图像信号,使得匹配模板与匹配图像有较大的差异,匹配点发生偏移。以上都会得到离真目标越来越远的控制信号和导引信号。

3.1.2 关键问题

(1) 诱饵红外图像动态调节

由于目标机的红外图像随油门角度、飞行高度和速度等变化而变化,因此,在诱饵与目标机分离的瞬间,要使它们的红外图像相似,诱饵的红外图像必须能够依据目标机的红外图像进行动态调节。一种理论上可行的方法是:在诱饵内部设置液态干扰载荷,载荷以某一速度释放后在空气中自燃,从而模拟载机的机翼、发动机尾焰图像,通过调节干扰载荷的释放方向、速度和数量,实现红外图像的动态调节。

(2) 干扰载荷选择

干扰载荷自燃后能形成与载机相似的光谱分布,对于伴飞式诱饵来说,还起推进剂的作用,即产生足够的推力,使伴飞式诱饵跟随载机飞行而不会

迅速下落。

(3) 诱饵稳定性控制

诱饵要与目标机一起飞行,其受扰动后飞行姿态的变化会影响探测器获得的信号,进而影响干扰效果,这就需要诱饵具有一定的稳定性。实际上,诱饵的重心随着干扰载荷的消耗逐渐后移,破坏了迎角静稳定性;此外,在大气扰动中,横航向静稳定性和动稳定性也会对飞行姿态和轨迹产生影响。理论和实践表明采用增加配重的方式可以满足迎角静稳定性的要求。

3.2 红外烟幕

红外烟幕可以降低探测器获得信号的信噪比,用来在探测和跟踪导引阶段对抗红外成像制导系统。

目标机发出的红外辐射入射到烟幕中时,一方面,由于大量烟幕粒子的吸收和散射作用,使探测器接收的目标机红外信号减弱或消失;另一方面,烟幕还可以发射红外辐射将目标机的红外辐射覆盖^[2],以上两方面都会使得图像信号的信噪比降低,使导引头红外探测系统探测不到目标机。

导引头稳定跟踪目标机时,烟幕使得目标机图像信号丢失,跟踪系统转入预测跟踪状态,即利用存储的历史目标机位置信息进行航迹外推。由于预测跟踪的时间较短,而红外烟幕的持续时间较长,因此在预测跟踪时间内,导引头仍然无法获取目标,被迫转入重新搜索状态。

烟幕的发展主要受烟火材料的限制,烟火材料要具有多波段干扰能力,且遮蔽性能高、环保性好;另外,加快有效烟幕的形成速度,延长烟幕的持续时间也是一个要解决的问题。

4 战术角度的对抗措施

4.1 目标机的战术机动

通过目标机的战术机动能在一定程度上对成像导弹的识别、跟踪导引阶段形成干扰。

飞机的红外辐射由尾焰、尾喷管和蒙皮表面的辐射通量和对太阳光的反射通量四部分组成,每一部分的辐射波谱和通量密度都不同。对于导弹来说,由于整流罩的限制,只有特定波段的红外辐射才能够投影到导引头上,且投影到探测器上的红外辐射还与弹目视线的夹角有关。这样,目标机通过轨迹机动改变目标投影平面,就可能改变投影到探测器上的红外信号,使图像信号产生较大的变化。

另外,发动机工作状态影响飞机红外辐射,油门角度越大,尾喷管和尾焰的辐射强度及蒙皮气动加

热增加的辐射强度也越大。比如,对于尾焰辐射,在部分加力状态或最大加力状态下,辐射强度比发动机在最大油门状态时要增加 5 ~ 15 倍^[3]。这样,瞬间改变飞机红外辐射,再使用其他对抗手段,可以增加对抗成功的可能性。

4.2 诱饵的战术使用

诱饵的战术使用是为其充分发挥技术性能服务的。

单从技术而言,智慧型诱饵和红外烟幕均能对红外成像导弹形成干扰。而实际上,干扰的效果并不仅仅取决于技术性能,还与其战术使用相关。如:红外烟幕要较好的发挥作用,就要在大气扰动中精确控制烟幕弹的出口速度、方向从而使烟幕在导弹与目标机之间形成。实弹打靶和模拟仿真表明,诱饵的发射时机、数量、速度、方向,以及多类诱饵的组合使用战术有助于充分发挥诱饵的性能优势。

需要强调的是,目标机的机动与诱饵的使用并不是孤立的,必须将二者结合起来。当诱饵使导弹暂时丢失目标机时,目标机要迅速实施机动改变飞行轨迹,尽快逃离导弹的搜索和跟踪视场,使导弹彻底丢失目标机。

5 基于有效战法的一体化对抗系统

技术是战术的基础,而最终的效果离不开合理的战术,为了将诱饵的技术优势和合理的战术措施结合起来,提出了基于有效战法的一体化对抗系统,如图 2 所示。

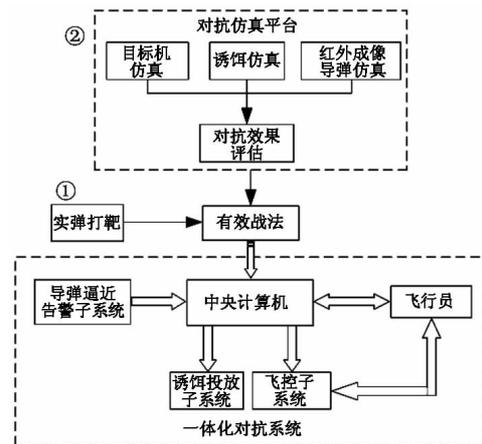


图2 基于有效战法的一体化对抗系统结构图

5.1 有效战法

构建一体化对抗系统的前提是得到有效战法。有效战法即对抗措施,融合了诱饵的技术性能与目标机、诱饵的战术措施,包括诱饵发射种类、时机、数量、速度、方向及载机机动方式等。

有效战法的获取有两种方法:①是通过实弹打

靶得到典型条件下(包括目标态势和空战环境)目标机对抗成像导弹的措施,这种方法较好地反应出各种因素对对抗结果的影响,但费用昂贵,而且存在极大的安全隐患,所得结果不具有一般意义;②是构建包含目标机、诱饵和成像导弹三位一体的对抗仿真平台,通过对抗仿真,以导弹脱靶量为评估标准,统计得出有效战法。以上两种方法可以互为补充,即利用实弹打靶数据对仿真结果进行校核。

5.2 一体化对抗系统

一体化对抗系统能够自动进行对抗措施的技术和战术决策,从而准确控制诱饵释放和载机规避。系统以中央计算机为核心,综合了机载导弹逼近告警子系统、诱饵投放子系统和飞行控制子系统。其中,中央计算机存储有效战法。

系统的工作有两种模式:自动模式和飞行员模式,飞行员模式的控制权限较高。

(1) 自动模式

红外对抗中,机载导弹逼近告警子系统时刻监控战场环境,一旦检测到导弹威胁,就将导弹的位置、速度,甚至型号信息送往中央计算机,中央计算机综合各方面的信息(包括威胁导弹信息、环境信息、载机信息、机载诱饵信息),依据有效战法进行对抗措施的智能决策,从而自动控制诱饵投放子系统投放诱饵,控制飞控子系统操纵载机实现预期的规避。

(2) 飞行员模式

飞行员与计算机进行交互,了解战场态势,凭经验选择对抗措施,手动或自动进行诱饵的投放和载机的规避。

一体化对抗系统能综合各方面信息迅速适应战场态势的变化,进行智能决策并实施对抗措施,有力

地提升了战斗机对抗红外成像制导导弹的能力。

6 结 论

本文的对抗措施主要集中在干扰成像制导获得的红外图像信号,而利用激光等定向能武器压制、摧毁成像导引头也是一种有效的对抗手段,但用于实战还需解决诸多难点^[4];此外,提出的一体化对抗系统需重点解决两个问题,一是如何对有效战法进行统一、简洁的描述,找出对抗的一般规律;二是寻求各系统之间的交联控制率。

不存在“无坚不摧”的矛,也不存在“坚不可摧”的盾,红外制导与对抗就是矛与盾的抗衡。对抗新型的红外成像空空制导导弹,必然需要更为先进的对抗措施,综合性强、智能化高的机载一体化对抗系统是红外对抗发展的方向。

参考文献:

- [1] John S Di Marco, Paul J Kemper, Lon N Pringle. Closed loop guidance of imaging infrared missile seekers [C]// Proceedings of SPIE, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing X, 1999, 3701: 254 - 265.
- [2] He Liping, Wei Pinglan. The development of infrared countermeasure technology and its equipment [J]. Infrared Technology, 2006, 28(1): 47 - 49. (in Chinese)
何立萍, 韦萍兰. 红外对抗技术和装备的发展 [J]. 红外技术, 2006, 28(1): 47 - 49.
- [3] 童中翔. 红外系统攻防对抗数字化建模理论和方法研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [4] Qiao Ya. IR imaging guidance countermeasure techniques [J]. Laser & Infrared, 2005, 35(12): 913 - 916. (in Chinese)
乔亚. 红外成像制导对抗技术研究 [J]. 激光与红外, 2005, 35(12): 913 - 916.