

烟幕对红外制导武器的干扰研究

邱继进,梅建庭

(海军大连舰艇学院 研究生队,辽宁 大连 116018)

摘要:烟幕是对抗红外制导武器的有效手段,分析了红外成像系统的组成及工作原理,论述了对抗红外成像系统的干扰机理及烟幕对红外成像制导的干扰原理,并详细论述了烟幕对成像系统的视频信号处理、跟踪处理器以及红外成像系统的信噪比的影响,得出了其作用机理,为烟幕在光电对抗中的应用提供了一定的理论基础。

关键词:烟幕; 红外制导; 干扰

中图分类号: TN21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2006)02-0212-04

Interference of the smokescreen confronting infrared guided weapons

QIU Ji-jin, MEI Jian-ting

(Postgraduate Team, Dalian Navy Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: A smokescreen is an effective method of confronting infrared guided weapons. The composing and working mechanism of the infrared imaging system were analyzed, the interference theory of the infrared imaging system and the interference principle of the smokescreen confronting infrared guided weapons were discussed. The interfering properties of the smokescreen confronting infrared guided missiles were discussed from the video frequency of the infrared imaging system, the tracker, and the signal-to-noise of the infrared guided imaging system. The theory basis is provided for the photo-electricity countermeasure.

Key words: Smokescreen; Infrared guide; Interference

0 引言

随着制导技术的发展,红外制导的反舰导弹的制导方式已由红外点源寻的制导发展到红外成像制导,从而使红外成像制导系统有了更好的识别能力、更高的制导精度及更强的抗干扰能力^[1]。台湾的雄风-II型反舰导弹就是采用红外成像制导与雷达制导相结

合的复合制导方式^[2],对我海军水面舰艇的生存能力构成极大的威胁,因此开展对红外成像型反舰导弹的对抗研究就显得非常紧迫和必要。

1 红外成像系统对抗机理分析

1.1 红外成像系统的组成^[3,4]

红外成像跟踪系统的原理如图 1 所示。它由摄像

头、图像监视器、图像信号处理器、伺服机构等部分组成。

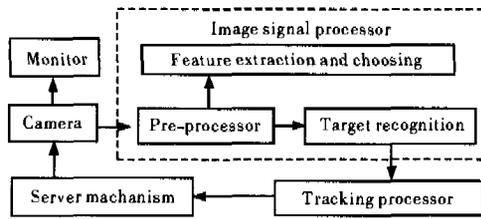


图1 成像跟踪系统原理框图

Fig.1 Imaging tracking system

(1) 图像信号处理器中预处理器用来对图像进行预先处理,包括去噪处理、图像校正、数据压缩、图像增强及补偿等方面,以改善图像质量或减少运算量;特征提取与选择是从景物原始灰度图像中提取图像的扫描特征,得到目标的形状特征及目标灰度矩,然后按图像识别与跟踪要求,依据特征选取原则选取有用的特征进行运算,以达到压缩特征维数,简化运算的目的;目标识别是根据所选择的目标特征,对目标进行分类识别。

(2) 跟踪系统中的跟踪处理器是跟踪系统的关键部分,它包括确定跟踪模式、跟踪状态、滤波与预测等方面;伺服机构是跟踪系统的执行机构,由跟踪处理器送来的目标误差信号,经伺服机构的控制处理器处理,控制整个跟踪系统的工作状态,利用误差消除误差,使跟踪机构快速跟踪目标。

1.2 对抗红外成像制导系统的机理分析^[5]

目前,用于红外热成像制导系统的武器大多数是被动式的,通过探测目标的热辐射来发现、识别和跟踪目标。但是,它也像其他武器系统一样,在一定的条件下受到干扰后失去作用。被动式红外热成像制导系统正常工作必须具备以下两个条件:

(1) 适合成像探测器接收的足够强的红外辐射,即入射的辐射波长应与探测器的工作波长相匹配,入射的辐射能量要足够多;

(2) 目标和背景之间应有一定的辐射对比度,若用辐射强度表示,则为:

$$C=(I_T-I_B)/(I_T+I_B) \quad (1)$$

式中: C 为目标和背景之间的对比度; I_T 、 I_B 分别为目标和背景的辐射强度。若用目标和背景的辐射功率表

示辐射对比度,则为:

$$CR=(W_T-W_B)/(W_T+W_B) \quad (2)$$

式中: CR 为辐射对比度; W_T 、 W_B 分别为目标和背景单位面积上的辐射功率。

由此可见,如果能够改变目标和背景的辐射特性,减少两者之间的对比度,或者大幅度地衰减进入导引头红外成像传感器系统的辐射强度,就可以使被动式红外成像导引头系统受到干扰。如果干扰的强度相当大,红外成像导引头分辨不出目标的热图像,便可达到干扰的目的。

1.3 烟幕对红外成像系统的干扰原理分析

烟幕对红外辐射的作用机制一般包括:一是干扰作用,利用烟幕本身发射的更强的红外辐射,将目标及背景的红外辐射遮盖,干扰热成像或其他探测设备的正常显示,结果呈现烟幕本身的一片模糊景象;二是消弱作用,利用烟幕中多达 $10^6/\text{cm}^3$ 数量级的微粒对目标和背景的红外辐射产生吸收、散射和反射作用,使进入红外探测器的红外辐射能低于系统的探测门限,从而保护目标不被发现。烟幕粒子的直径等于或略大于入射波长时,其消弱作用最强,当烟幕浓度达到 1.9 g/m^3 时,对红外辐射能消弱90%以上,浓度更高时,红外甚至可以完全屏蔽掉目标发射和反射的红外信号^[2]。普通烟幕干扰 $2\sim 2.6 \mu\text{m}$ 红外效果较好,对 $3\sim 5 \mu\text{m}$ 红外有干扰作用,而对 $8\sim 14 \mu\text{m}$ 红外则不起作用。在烟幕中加入特殊物质,其微粒的直径与入射波长相当,因此对所有波段的红外都有良好的干扰作用,如德国人在普通的六氟烷烟火剂中加入10%~25%聚氯乙烯、煤焦油等化合物,可使发烟剂燃烧后生成大量 $1\sim 10 \mu\text{m}$ 碳粒,从而提高了烟幕对 $3.2 \mu\text{m}$ 以上红外辐射的吸收能力。

2 烟幕对红外成像系统的干扰途径

2.1 烟幕对视频信号处理的影响

烟幕直接影响跟踪系统的特征提取及特征选择过程。进行特征提取时首先要进行图像分割,目的是将红外图像中的目标和背景分割开来。目前图像分割已有多种方法,其中最简单有效的方法是直方图分割中的最大距离法,它的基本思想是在直方图的取值范围内,用某一灰度级将直方图分为左右两部分,使得

这两部分的灰度均值与总体的灰度均值相差最大,并取该灰度级为分割门限对图像中的像点进行分割,图像中凡是灰度值小于分割门限的像点,均认为是背景中的点,加以滤除;反之则认为是在潜在目标区域中的点,予以保留。

设红外图像共有 M 个灰度级,在 m 个灰度级处有 N_m 个像点,总的像点数 $N = \sum_{m=1}^M N_m$,取某个灰度级 m' ,它将直方图分为左、右两部分,左边部分的各灰度级组成集合 $C_l, C_l = \{1, 2, \dots, m'\}$;右边部分的各灰度级组成集合 $C_r, C_r = \{m'+1, m'+2, \dots, M\}$,则 m' 可作为门限值的条件是,它应使下式的值达到最大:

$$D(m') = P_0(m') [u_0(m') - u]^2 + [1 - P_0(m')] [u_0(m') - u]^2 \quad (3)$$

式中: $u_0(m') = \sum_{m=1}^{m'} m N_m / N P_0(m')$; $P_0(m') = \sum_{m=1}^{m'} N_m / N$;

$$u_1(m') = \sum_{m=m'+1}^M m N_m / N [1 - P_0(m')]; u = P_0(m') u_0(m') + [1 - P_0(m')] u_1(m').$$

当有烟幕存在时,大灰度级对应的像点数减少,小灰度级对应的像点数增多,总的灰度级数减少。当烟幕的透过率低到一定程度时,灰度级数将趋向于极限值 1,这时根据上述原则就无法分割图像。

2.2 烟幕对跟踪处理器的影响

(1) 对距心跟踪的影响

用距心跟踪法来确定目标距心的位置时,先将波门内的目标图像的有效面积进行分割形成像素,然后把视频信息幅度超过阈值的像值都参与积分处理,于是目前距心的坐标为:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n U_{jk} X_j}{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n U_{jk}} \quad (4), \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n U_{jk} Y_j}{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n U_{jk}} \quad (5)$$

式中: $U_{jk} = \begin{cases} 0 & \text{像元信息值} < \text{阈值} \\ 1 & \text{像元信息值} > \text{阈值} \end{cases}$; m, n 分别为 X, Y 方向的像元数。值得注意的是目标信息的阈值确定是自适宜的,其大小随目标与背景信息对比而变化。而误差信号的产生是对目标面积上凡高于阈值的像元的信息进行求积平均,从而确定距心。

当烟幕遮蔽目标使目标的亮度产生严重的不均

匀变化时,波门会扩大,信息值超过阈值的像元数会变化,由此距心坐标为:

$$\bar{X}' = \frac{\sum_{j=1}^{m'} \sum_{k=1}^{n'} U_{jk} X'_j}{\sum_{j=1}^{m'} \sum_{k=1}^{n'} U_{jk}} \quad (6), \quad \bar{Y}' = \frac{\sum_{j=1}^{m'} \sum_{k=1}^{n'} U_{jk} \bar{Y}'_j}{\sum_{j=1}^{m'} \sum_{k=1}^{n'} U_{jk}} \quad (7)$$

式中: m', n' 为波门内 x, y 方向上的像元数,它并非是非目标真实的距心位置。这时: $\begin{cases} \Delta \bar{X} = \bar{X}' - \bar{X} \\ \Delta \bar{Y} = \bar{Y}' - \bar{Y} \end{cases}$, 反映了系统的跟踪误差。

(2) 对相关跟踪的影响

相关跟踪法是依据配准点和失配点之间的失配距离来确定相关跟踪器输出的误差信号,误差信号驱动伺机服务机构,使成像系统的光轴靠拢预存图像的中心以实现配准。有时由于实时图像和预存图像不是在相同时刻摄取的,就会出现相关矩阵的主峰值相应的不是配准点的情况。

当有烟幕遮蔽目标时,造成实时图像的亮度产生不均匀变化,可使实时图像的亮度分布函数改变为 $r' = r(u, v)$ 。这时,它与预存图像的亮度分布函数 $s = s(u, v)$ 之间的相关函数可表示为:

$$C(x', y') = \sum \sum s(u, v) r(u+x', v+y') \quad (8)$$

配置点位置坐标为 (x', y') , 它们并非无烟幕时的配准点位置 (x, y) , 其中 $\begin{cases} \Delta x = x - x' \\ \Delta y = y - y' \end{cases}$, 反映出相关跟踪器的跟踪误差,而且由于烟幕的扰动,图像亮度的不均匀随机变化使得配准点位置随即漂动,甚至出现 (x', y') 除了主峰值以外,还有一些次峰值会冒充配准点,使系统的跟踪误差加大。

2.3 烟幕对成像系统信噪比的影响

红外导引头的探测能力主要受大气噪声和光学系统噪声的限制。信噪比用来表征红外导引头系统的探测能力,信噪比大于某个数值时,导引头才能可靠地探测和跟踪目标,信噪比的定义为^[6-8]:

$$S/N = E_T / NEFD \quad (9)$$

式中: S/N 为信噪比; $NEFD$ 为噪声等效通量密度; E_T 为目标在导引头光学系统口径上的光谱辐射度; $E_T = E_T(\lambda) d\lambda$ 为在 $\Delta\lambda$ 波段范围内目标的总辐射照度。对于点源目标而言,它在导引头光学孔径上产生的光

谱辐射照度 E_T 为:

$$E_T = \frac{IT_a}{R^2} \quad (10)$$

式中: T_a 为大气光谱透过率; R 为目标至红外探测器的距离; I 为目标红外辐射强度, 当红外辐射通过烟幕气溶胶时, 被烟幕气溶胶所散射和吸收而削弱, 其规律符合 Lambert-Beer 定律, 即:

$$I = I_0 e^{-M_c C s} \quad (11)$$

式中: I 为通过烟幕后的辐射强度; I_0 为通过烟幕前的辐射强度; C 为烟幕浓度; S 为红外辐射通过浓度 C 的光程; M_c 为消光系数。

从公式(9)-(11)可看出, 当烟幕的浓度增大时会使得红外导引头系统的信噪比减小; 当烟幕浓度增大到一定程度, 导引头的信噪比小于系统工作的最低灵敏度时, 导引头将不能正常工作, 从而捕捉不到目标。

3 结论

烟幕对红外制导系统的视频信号处理系统及跟踪系统都能实现有效地干扰, 烟幕气溶胶微粒对红外能量的削弱作用将使得成像系统的信噪比下降, 成像跟踪系统的任何一部分受到干扰都会使其不能正常工作, 因此烟幕是对抗红外制导武器的有效手段。

参考文献:

- [1] SCHLEHER D C. Electronic Warfare in the Information Age[M]. Boston: Artech House Radar Library, 1999.
- [2] LIU Long-he. Guidance Technology of Multi-mode Seeker[M]. Beijing: National Defense Industry Press(刘隆和. 多模复合寻的制导技术. 北京: 国防工业出版社), 1998.
- [3] FANG You-pei. Jamming technology research to the imaging IR guidance missile[J]. Infrared and Laser Engineering (方有培. 对红外成像制导导弹的干扰技术研究. 红外与激光工程), 2000, 29(3): 7-9.
- [4] LIU Yong-chang, ZHU Hong. An analysis IR imaging guidance countermeasure techniques[J]. Infrared Technology(刘永昌, 朱虹. 红外成像制导对抗技术分析. 红外技术), 2000, 22(1): 13-15.
- [5] XIONG Xiao-wei, LIU Shang-qian. Effect evaluation on infrared aerosol screening smoke[J]. Systems Engineering and Electronics(雄晓伟, 刘上乾. 红外气溶胶烟幕干扰效果的定量评估. 系统工程与电子技术), 2001, 23(2): 39-41.
- [6] ZHANG Xiao-hong, JIANG Jun. Mathematical modeling on detection ability of IR seeker[J]. Optical Technique(张晓宏, 姜军. 红外导引头探测能力的数学建模. 光学技术), 2000, 26(5): 388.
- [7] HAN Jie, ZHANG Jian-qi, HE Guo-jing. Estimation technology of the infrared smoke interference effect[J]. Infrared and Laser Engineering(韩洁, 张建奇, 何国经. 红外烟幕干扰效果评价方法. 红外与激光工程), 2004, 33(1): 1-4.
- [8] HATESUN R D. Infrared System Principle[M]. National Defense Industry Press(R D 小哈特逊. 红外系统原理. 北京: 国防工业出版社), 1975.

(上接第 186 页)

- [2] ARMON O, BAUMEISTER P. Electric field distribution and the reduction of laser damage in multilayers[J]. Appl Opt, 1980, 9(11): 818-823.
- [3] APFEL J H. Optical coating design with reduced electric field intensity[J]. Thin Solid Film, 1977, 77: 225-238.
- [4] FAN Zheng-xiu, ZHAO Qian, WU Zhou-ling. Temperature field design in optical thin films[C]//Proceedings of SPIE, 1996, 2966: 362-370.
- [5] WU Zhou-ling, FAN Zheng-xiu. Damage threshold dependence of multilayer laser mirrors on coating design[J]. Acta Optica Sinica(吴周令, 范正修. 膜系结构对薄膜损伤的影响. 光学学报), 1989, 19(9): 830-836.
- [6] CARNIGLIA C K, APFEL J H, ALLEN T H, et al. Recent damage results on silica/titania reflectors at 1 micron[J]. NBS Special Publication, 1979, 568: 377-390.
- [7] LOWDERMILK W H, MILAM D, RAINER F. Damage to coatings and surfaces by 1.06 μm pulses[J]. NBS Special Publication, 1979, 568: 391-403.
- [8] STOLZ C J, TAYLOR J R. Damage threshold study of ion beam sputtered coatings for a visible high-repetition laser at LLNL[C]//Proceedings of SPIE, 1992, 1848: 183-191.
- [9] LIN Yong-chang, LU Wei-qiang. The Theory of Optical Films[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing(林永昌, 卢维强. 光学薄膜原理. 北京: 国防工业出版社), 1989.
- [10] BU Yi-kun, ZHENG Quan, XUE Qing-hua, et al. Optical thin films for high power LD-pumped Nd:YVO₄ 457 nm blue laser[C]//ICO20 Proceedings of SPIE, 2006, 6034E: 1-7.