**文章编号:** 1672-8785(2016)08-0024-05

# 扰动对红外目标识别与跟踪的影响分析

#### 王明波

#### (92493部队98分队,辽宁葫芦岛 125000)

**摘 要**: 作为精确打击武器系统的重要组成部分, 红外跟踪系统主要用于在运动载体 上对目标进行搜索、识别、瞄准和跟踪。载体扰动会对红外跟踪系统的性能产生影响, 因此需要隔离扰动和消除扰动对跟踪的影响。通过对红外成像系统的原理进行研究, 查找出了可能造成红外图像扰动的因素, 定性分析了扰动对设备造成的影响, 最后为 设备使用中如何克服扰动影响提出了建议。

关键词: 扰动; 红外; 目标跟踪; 影响分析

中图分类号: TB133 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.08.005

# Analysis of Effect of Perturbation on Infrared Target Recognition and Tracking

#### WANG Ming-bo

(Unit 98 No.92493 Troop, Huludao 125000, China)

**Abstract:** As an important part of a Precision Guided Weapon (PGW) system, the infrared tracking system is mainly used for search, recognition, aiming and tracking on a moving carrier. Because the perturbation of the moving carrier has effect on the performance of the infrared tracking system, it is necessary to isolate the perturbation so as to eliminate its effect on tracking. By studying the operation principle of the infrared imaging system, the factors which might cause infrared images to be perturbed are found. The effect of perturbation on an infrared tracking system is analyzed qualitatively. Finally, some suggestions on how to overcome perturbation when the infrared tracking system is used are made.

Key words: perturbation; infrared; target tracking; effect analysis

## 0 引言

高精度探测是红外搜索与跟踪设备的主要 性能需求,而载体的扰动则是影响红外跟踪性 能的主要因素之一。作为红外跟踪系统的关键 部件,红外热像仪是基于红外线的光电转换原 理进行工作的。红外跟踪系统由红外探测器、 光学系统、光敏器件、扫描器、制冷器、采样与 信号处理电路以及伺服系统构成,在军事领域 的红外末制导、红外侦察与警戒、红外导瞄等方 面有着广泛应用。但载体的扰动会使红外图像 变得模糊或形成伪像(图像重叠),从而影响正 常的目标识别与跟踪。本文结合具体设备就扰 动对红外目标探测与跟踪性能的影响进行了研 究。

1 红外跟踪系统的原理 [1,5]

红外技术在试验场上的最初应用是目标捕

**收稿日期**: 2016–05–04

E-mail: lengrubing889@163.com

作者简介:王明波(1979-),男,辽宁丹东人,工程师,主要从事电子技术总体研究。

获与跟踪。目前装配在光测设备上的用多元器 件进行接收和光像扫描的检测系统称为红外跟 踪测量系统(主要用于测量弹道参数)。该系统 采用凝视成像和红外面阵探测器,具有自动跟 踪功能<sup>[1]</sup>。由于红外探测器本身的固有特性以 及恶劣的外界环境和成像条件,红外热图像普 遍存在目标与背景的对比度较差、图像边缘模 糊、噪声较大等缺点。在获取目标的红外热图像 后,下一步即是对红外图像进行识别,其关键就 在于对热图像进行处理<sup>[5]</sup>。

通过将目标成像大小与一个像素进行比较,便可确定目标为点目标、小目标还是面目标。其中,点目标可能在热像仪的一个探测像素 上成像,也可能在四个像素中间使四个像素都 成像。面目标则在多个探测像素上成像,形成一 个区域。在此区域内的探测像素上是满视场的 面目标成像;而在区域边缘上的情况就比较复 杂了。

在计算实际辐射量时,要以实际目标的结 构与状态(近距离观测或远距离电视同向同步观 测)作为参考进行区域划分和边界像素处理。在 计算面目标表面上的辐射量分布时,首先要将 计算区域划分出来。区域划分需要考虑像素点 的电平值大小,实际目标的结构、形状和大小, 材料一致性以及表面粗糙度的均匀性等因素。 区域划分直接关系到辐射量计算的精度。

对于结构复杂、材料和表面不同的较大的 连续面目标来说,可采用先选择一个固定大小 的区域,然后将此区域在目标成像像素面内沿 一定方向逐像素点移动的方法积分计算区域内 的辐射量,接着对其取平均值作为区域中间像 素点的辐射量;最后,采用移动积分平均的方法 给出像面内所有像素点的辐射量分布。针对像 面边界,视不同情况采用逐像素点处理的办法 计算辐射量分布。

对于不连续的面目标而言,还需要参考实际的目标结构进行间断点逐点分析,以修正上述积分结果。为了减小计算量和提高计算速度,应 先对获取的目标图像进行预处理,去除背景区域,然后再开始计算。

## 2 主要扰动因素分析

对于红外系统来说, 扰动主要包括以下几 个方面: (1) 由电脉冲激励引起的搜索系统不稳 定; (2) 目标与探测器的相对运动; (3) 在地面 上, 由地面振动和波的传输引起的红外目标的 相对振动; (4) 在海面上, 由发动机或其他原因 引起甲板振动以及由涌浪引起船纵横摇摆而使 目标产生的相对运动。以上几种扰动因素可以 归结为两个方面: 一是成像系统的采样扰动; 二 是由目标的相对运动造成的扰动。

#### 2.1 成像系统的采样扰动<sup>[3]</sup>

基于分立探测器阵列的任何成像系统不可 避免地都需要在一维方向上进行采样。在线光 栅图案中,需要敏感输入场景的每个动作以保 证在交叉线方向上进行采样,即使应用一个连 续探测的方式也是如此。大型并扫系统(焦平面 阵列)在扫描方向上也采用多路传输,这样它们 便可以在二维方向上进行采样。采样影响是在 输出频谱中引入了输入场景中没有的空间频率 成分。这个结果取决于输入场景和采样过程前 后所涉及到的系统调制传递函数的组成部分, 因此不知道是否有采样影响性能测量。然而,检 验一种简单的情况,并确定对前视红外的一般 采样要求却是有可能的。

对于一个用傅里叶变换  $A_{op}(f)$  描述的一维物方场景来说,像方分布  $A_{IP}(f)$  为

$$A_{IP}(f) = MTF_L(f)A_{OP}(f) \tag{1}$$

式中,  $MTF_L$  为整个红外透镜系统 (衍射及模糊 斑) 的调制传递函数。让这个函数按间隔  $\Delta \theta$  等 于探测器宽度  $\Delta \theta$  进行采样。系统输出的傅里叶 变换与输入之间存在以下关系:

$$A_{\scriptscriptstyle S}(f) = a(f) \sum_{l=-\infty}^{\infty} A_{\scriptscriptstyle 0}(f - lf_{\scriptscriptstyle S})$$
(2)

$$A_{O}(f) = \left[\frac{\sin(\pi f \Delta \theta)}{\pi f \Delta \theta}\right] MTF_{L}(f)A_{OP}(f) \quad (3)$$

$$A_{s}(f) = a(f) \left[ A_{o}(f) + A_{o}(f - f_{s}) + A_{o}(f + f_{s}) \right]$$
(4)

http://journal.sitp.ac.cn/hw

INFRARED (MONTHLY)/VOL.37, NO.8, AUG 2016



式中,  $f_s$  为采样频率。除非在空间频率大于  $f_s/2$ 时,  $A_o(f) = 0$ ,这个项将有重叠,产生输入频谱中所没有的输出成分。这个重叠就称作伪像。临界的频率极限  $f_s/2$  称为奈奎斯特极限。图 1 所示为  $f_s$  取三个不同值时边带之间的重叠量。

若要按奈奎斯特极限进行线性再现,则需 要对输入场景进行前置滤波以消除伪像,并在 采样后进行后置滤波以消除全部的边带干扰  $(l \neq 0)$ 。我们注意到透镜和探测器会起前置滤 波作用,而电子电路和显示器则会起后置滤波 作用。对于典型的孔径尺寸来说,采样之前的输 入在探测器的截止频率  $1/\Delta \theta$ 之外基本为零。因 此,如果采样间隔为  $\Delta \theta/2$ ,那么任一结果中都 不会有伪像出现,而且这就称为 2:1 过采样。 然而相关经验表明,若过采样至少为 1.5:1,则 认为系统对半采样频率为连续输出。但由于凝 视系统是 1:1 采样,在预示基于线性分析上判 断其性能时必须小心。而场景运动即每隔一帧 运动或移动阵列的半个像元则有助于缓解这个 问题。

#### 2.2 目标的相对运动<sup>[5-6]</sup>

一个帧系统在有限的间隔内及时积分输入 场景中的每一点,且每帧对其采样一遍。若场景 运动,则在任一点输入及时发生的变化。由于模 糊或振幅串扰效应,或是两者的合成效应,将会 产生一个附加的调制传递函数效应。对于凝视 系统而言,在多帧时积分中,该效应是由模糊产 生的;对于扫描系统而言,积分时间与帧时对比 是很小的,基本上不存在模糊影响。然而每帧时 一遍采样就意味着,如果场景运动产生的时间 频率大于帧频一半,那么就会出现时间上的伪 像,导致输出中有假像出现,即从目标的非对称 变窄或变宽到图像边沿参差不齐甚至出现多个 重像,而此重叠像似乎是横切显示器跳动的。作 为一般准则,由运动引起的几何形状的微小失 真, 虽有边缘参差不齐的现象, 但对其性能没有 很大影响。若动作太大, 则会出现重像或者跳动 达到不可接受的程度。基于电视和运动图像的 试验结果表明, 30 frame/s 对多数情况没有什么 影响; 然而对于高速运动的军用飞机或导弹来 说, 应要求帧频为 60 frame/s 或者更高, 以避免 场景运动的影响。

## 3 扰动对测控装备的影响分析 [3-4]

由于扰动大小对测控设备的测量具有很大 影响,下面以光电跟踪测量系统为例对其进行 分析。图 2 为红外跟踪系统的原理图。





由红外热像仪获取图像,经图像处理单元 进行实时提取和目标识别后,用控制单元计算 所提取目标质心与图像中心的偏差,并控制伺服 系统转动, 使目标成像在图像中心; 同时, 伺服 系统的电压值会反馈于控制单元, 形成闭环, 从 而实现对目标的跟踪。电脉冲激励主要在伺服 电机开启时产生。这时伺服电机的反馈信号很 大, 与初始化的偏差量不兼容, 因而出现图像剧 烈震动的现象。所以若要对目标进行测量,首先 要求伺服系统加电且工作平稳。在系统的工作 过程中,产生图像模糊和伪像主要是因为目标 的运动频率大于测量系统的采样频率。当红外 热像仪以 25 Hz 的帧频输出图像且积分时间在 33 ms 左右时, 假设单帧图像横向扫描 786 个像 元, 对应于 3° 视场, 扫描角速度约为 90°/s, 若 振动速度大于这个角速度,则可能会产生模糊



图 3 由设备振动产生的伪像

或伪像。图 3 为相邻的两帧热图像。其中,目标 与基座相对静止,而由于基座在这一时刻发生 较大振动,在热图像中产生了重影即伪像。根据 重影的距离 *l* 及积分时间 Δ*t*,可以大致估算出 振动角速度 ω:

$$\omega = \frac{l}{\Delta t} \tag{5}$$

无论测量设备架设在陆地上还是舰船上, 引起测量设备振动都需要外力作用。这个外力可 以是瞬时力、周期力或持续力。其中,持续力一 般不会出现,而发动机则可能会提供周期力;瞬 时力包括各种地面震动以及浪涌作用等。外力作 用统称为受迫振动。受迫振动的表达式为

$$x = A\sin(\omega_n t + \alpha) + \frac{h}{\omega_n^2 - \omega^2}\sin(\omega t + \delta) \qquad (6)$$

式中,前一项为本身的简谐或小阻尼振动;后一 项为由外力引起的振动;ω为外力周期;h为与 外力有关的常数。共振时达到最大的振幅。共振 时的受迫振动为

$$x_2 = \frac{h}{2\omega_n} t \cos(\omega t + \delta) \tag{7}$$

振幅在理论上趋于无穷大。对于地基振动, 可以参考地铁列车的振动情况<sup>[3,5]</sup>。相关文献表 明,当地铁运行时,软弱土场地上的建筑物振动 最大,中硬土场地上的建筑物振动最小。即随着 场地土硬度的增加,建筑物对地铁的振动响应 下降;软土对振动的衰减较大;硬土则较小,在 100 m 之外的区域内几乎可以忽略不计。该理论 可以引申应用于红外跟踪系统,即小频率振动 几乎对高频红外探测不构成影响。

光电跟踪测量设备的谐振频率很小。设备 振动取决于外力频率和做功大小。由于最大动 能为

$$T_{max} = \frac{1}{2}m\omega_n^2 A^2 \tag{8}$$

m 很大, $\omega_n$  很小,要引起大的位移需要很大的能量,而这种情形一般不会出现。

在浪涌较大时,会产生较大的振幅和振动角 速度。因此,如果跟踪测量设备架设在舰船上, 那么在大风浪下就需要根据船的纵横摇摆信息 进行修正或者实现平台自稳,只有这样才能较 好地消除扰动的影响。

## 4 结束语

通过以上研究,我们分析了由扰动造成的 影响及其产生的各种因素。在具体的设备使用 中,应该注意以下几点:(1)设备基座应尽量采 用密度大的硬质材料,并采取隔振措施。(2)避 免在大型车辆频繁或者大的机械工作地附近架 设。(3)在舰船上架设时,除了满足第(1)点之 外,如有条件,要架设在稳定平台上,或者不在 恶劣天气下使用。(4)电流稳定后再进行测量。 (5)对于高速运动的目标,须考虑相对于测量设 备的角速度。

本文研究了扰动对红外目标探测与跟踪性 能的影响,并对扰动产生的因素进行了分析。 该研究不仅对于提高设备测量数据的可靠性具 有积极意义,而且也可对其他靶场测量设备的 使用提供借鉴。

#### 参考文献

- [1] 郑兆平, 曾汉生, 丁翠娇, 等. 红外热成像测温技 术及其应用 [J]. **红外技术**, 2003, **16**(5): 121-122.
- [2] 熊晓清. 红外热像仪图像分析系统组件的开发与应用 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [3] 刘建达,苏晓梅,陈国兴,等.地铁运行引起的地 面振动分析[J].**自然灾害学报**,2007,**16**(5):31-35.
- [4] 田海雷, 汪岳峰. 扰动环境中红外平行光管光路的 优化设计 [J]. **红外与激光工程**, 2007, **37**(11): 1202– 1203.

#### (上接第6页)

## 5 结束语

由于精确制导武器对红外成像制导系统的 要求越来越高,国外对多波段二维大规模单片 阵列和自适应红外焦平面阵列技术投入巨大, 同时已有成熟产品应用于红外成像制导技术; 而国内在相关领域与国外差距甚大。为了能紧 跟红外成像制导技术的发展趋势,即多波段高 光谱、激光主动成像、多模复合成像以及低成本 红外精确制导技术的发展,我们需要投入大量的 人力和财力,以掌握高性能红外探测器技术、成 像自适应抗干扰技术、多维信息融合处理技术 以及系统结构优化技术等红外成像制导的关键 技术。

#### 参考文献

- [1] 王真, 高敏, 高凤岐. 红外成像制导技术在反坦克 导弹中的应用 [J]. **飞航导弹**, 2015, **45**(2): 64-67.
- [2] 阎胜利,潘洪涛,王子辰,等.非制冷红外成像在 对空制导中应用的关键问题 [J]. 红外与激光工程, 2015,44(8):2315-2320.

(上接第23页)

#### 参考文献

- Maydanik Y F. Loop Heat Pipes [J]. Applied Thermal Engineering, 2005, 25(5-6): 635-657.
- [2] 杨帆,董德平.一种提高低温环路热管主蒸发器
   降温速率的新方法及实验结果[J].低温工程,2011, 32(3): 34-38.

- [5] 王晶,纪明,李旭东,等. 扰动状态下红外成像系统性能的测试与分析 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(12): 3177-3180.
- [6] 寿少峻.光电系统扰动隔离度指标测试方法 [J].应 用光学, 2015, 36(4): 21-25.
- [7] 胡寿松. 自动控制原理 (第5版) [M]. 北京: 科学 出版社, 2007.
- [8] 任忠斌,何彦,彭巍.基于小波变换的遗传算法在红外跟踪系统中的应用 [J]. 电光与控制, 2005, 12(3): 73-75.
- [3] 宋建梅. 半捷联寻的导引头寄生回路稳定性分析与 制导精度分析 [J]. **字航学报**, 2014, **35**(5): 25-30.
- [4] 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.
- [5] 张中南,王富宾,李晓.发展中的红外成像制导技术
   【J]. 飞航导弹, 2006, 36(1): 40-42.
- [6] 赵强,刘隆和.红外成像制导及其目标背景特性分析[J]. 航天电子对抗, 2006, 22(1): 27-29.
- [7] 冷锋, 邹振宁. 红外成像精确制导武器的光电对抗 技术分析 [J]. **航天电子对抗**, 2004, **20**(6): 51-54.
- [8] 许洪. 多光谱、超光谱成像探测关键技术研究 [D].天津: 天津大学, 2009.
- [9] 李建中,彭其先,李泽仁,等. 弹载激光主动成像 制导技术发展现状分析 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43(4): 38-42.
- [10] Barenz J, Baumann R, Tholl H D. Eyesafe Imaging LADAR/Infrared Seeker Technologies [C]. SPIE, 2005, 5791: 51–60.
- [11] 聂建英. 毫米波被动探测系统反涂层隐身机理研究[D]. 南京: 南京理工大学大学, 2010.
- [12] Chuan N, Jie J, Keigo H. Design and Fabrication of Sinusoidal Filters for Multispectral Imaging [C]. SPIE, 2015, 9556: 955601.
- [3] 周顺涛,莫青,张红星,等.深冷环路热管传热性 能研究 [J]. **航天器工程**, 2010, **19**(3): 91–95.
- [4] Hoang T T, O'Connell T A, Khrustalev D K. Development of a Flexible Advanced Loop Heat Pipe for Across-gimball Cryocooling [C]. SPIE, 2003, 5172: 68–76.
- [5] 刘成志,杨帆,董德平,等.乙烷双蒸发器低温回路热管的实验研究
   [J]. 低温与特气, 2012, 30(3): 7-11.