

Research on Key Technologies of High-performance Satellite Infrared Thermal Imaging System

Danje Zheng Meng Cao Jiaxin Fan Jian Xu Haochen Xu

Jiangsu Normal University-Kewen College, Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

Satellite infrared thermal imaging technology has a wide range of applications in both military and civilian fields, especially in ballistic missile defense, due to the generally low resolution of satellite infrared detection imaging, there is often a lack of effective feature parameter descriptions when detecting targets. In addition, if there is some interference during the detection process, the imaging effect of the target will be worse. In order to effectively complete the space-based detection task in the detection process, it is necessary to study the target infrared imaging characteristics of the target in different environments and the interference of complex background to the detection, and focus on the detection performance of different targets under various environmental interference in the subsequent design process of satellite infrared thermal imaging system.

Keywords

satellite infrared thermal imaging; imaging feature parameters; detection performance

高性能卫星红外热成像系统关键技术的研究

郑丹杰 曹萌 范嘉欣 徐健 许浩宸

江苏师范大学科文学院, 中国 · 江苏 徐州 221000

摘 要

卫星红外热成像技术在军用和民用领域都有着广泛的应用,尤其在弹道导弹防御方面有着不可替代的作用,由于卫星红外探测成像分辨率普遍较低,探测目标时经常缺乏有效的特征参数描述。除此之外,若是在探测过程中受到某些干扰,目标成像效果就会更差。为了在探测过程中有效地完成天基探测任务,需要研究目标在不同环境下的目标红外成像特征,以及复杂背景对探测的干扰,并在后续的卫星红外热成像系统设计过程中重点关注针对不同目标在各类环境干扰下的探测性能。

关键词

卫星红外热成像; 成像特征参数; 探测性能

1 引言

与传统的地基探测系统相比,卫星红外探测系统具有探测范围广、不易受到常规地面干扰影响、生存能力强等诸多优点。通过卫星红外成像技术,系统可以准确地对目标进行搜索、跟踪、定位、目标特征识别等操作,是军民领域都十分依赖的一项技术。但是,基于卫星红外热成像技术探测获得的图像是通过“测量”物体向外辐射的热量而获得的,与光图像相比有天然的劣势,如分辨率差、对比度低、信噪比低、视觉效果模糊、灰度分布与目标反射特征无线性关系,卫星红外热成像系统对目标探测的性能主要取决于探测过程中的环境因素和目标本身的特性,因此下面将重点分析不同探测环境下卫星红外热成像的探测效能。

【作者简介】郑丹杰(1999-),女,中国河南周口人,在读本科生,从事电子信息工程研究。

2 目标红外成像特征研究

为了有效执行目标红外探测任务,一般要先针对目标分析其红外特征,并制定对应的天基探测策略,一般情况下,目标的红外成像特征都与卫星的星座轨道参数和目标的红外辐射模型密切相关。

2.1 卫星红外热成像系统星座轨道设计

譬如,当卫星红外探测系统跟踪导弹主动段时,经常采用由七颗卫星组成的 SBIRS-HIGH 星座方案,其中有两颗是极地大椭圆卫星,其余五颗是地球同步轨道卫星,这样设计的优势是很好的弥补了地球同步卫星探测过程中的视野盲区问题。

除此之外,在星座参数设置过程中要重点考虑目标定位的精度,为确保对导弹主动段的定位精度,SBIRS-HIGH 星座通常采用高轨道双星定位,在探测过程中,同时观测目标,然后把目标的运动状态信息传输至地面,地面基站经过

数据的解析,得出飞行器的轨迹参数。如今随着地面基站数量和卫星数量的不断增多,可以采用更加先进的多星接力方式来提升目标定位的精准度。

卫星轨道参数主要包含轨道平面倾角(决定轨道平台的空位置)、升交点赤经(决定轨道平台的空位置)、轨道椭圆长半轴(决定轨道椭圆的大小)、轨道椭圆偏心率(决定轨道椭圆的形状)、近地点角距(决定近地点在轨道椭圆上的位置)和平近点角(卫星以平均角速度运行的角度)。在进行卫星轨道参数设计时,要合理的对上面六大参数进行设置,并把每颗卫星的参数写入配置文件,以便修改和管理。

2.2 目标红外辐射特征分析

红外光是波长介于可见光与微波之间的电磁波,红外光与普通电磁波相比,有着很多不可替代的优点,探测器接收红外辐射不受外在光照条件的影响,由于红外辐射是大自然中任何事物的固有特性,在战场上不管是人体还是各类武器装备,只要在工作状态就会散发出热量,并且辐射出红外光。常见的战机,无论是固定翼还是直升机,它们的发动机、尾流、尾喷管、蒙皮与空气摩擦和蒙皮反射阳光的红外辐射,一起构成了战机的红外辐射特征。且不同战机往往都具有不同的外形结构,因此辐射的红外特征也会不一样。目标的运动状态往往决定着目标红外辐射特征。例如,导弹处于主动段时,导弹尾部的尾焰以及高速运动时导弹与空气摩擦产生的高温是导弹主要的辐射源。

3 复杂环境下的卫星红外热成像研究

由于卫星红外探测系统的红外成像特征与探测环境息息相关,因此研究复杂环境对卫星红外热成像的影响具有很强的实际意义。复杂的环境一般包括地表、云层、星空、极光等自然环境下的红外辐射干扰和人为的红外干扰。比如在进行导弹跟踪过程中,不同的环境会对探测性能产生截然不同的影响,一般针对导弹目标,卫星红外成像系统会采用2.63到2.85微米波段进行探测,因为用这个波段进行探测,能规避掉地表辐射对探测的影响,但是却对高层卷云辐射无能为力,因此在目前主流的卫星红外热成像技术研究中,都会考虑高层卷云辐射抑制问题。

由于常见的红外探测性能无法满足卫星探测的需求,因此需要在对复杂环境进行建模的基础上重点研究新的探测手段,红外探测过程中的环境干扰主要分为如下几类。

3.1 地表红外辐射干扰

地表红外辐射干扰主要的来源是草地、冰川、海洋等地表背景,为了对这些干扰预先进行处理,可以把地表划分为若干典型区域,根据全球地表植被分布把地表分为沙漠区域、雨林区域、针叶林区域、冰川雪地区域和草原区域,并

根据不同的类型建立辐射源模型,在进行卫星红外探测时,可以对这部分干扰进行有效的区域抑制。

3.2 云层红外辐射干扰

在卫星红外探测系统探测时,云层红外辐射干扰一直都是影响最为厉害的干扰因素,在气象学中可以根据云层的高度和外观对其进行分类,高层卷云往往是对卫星红外探测系统影响最大的一种类型。原因主要有两方面:其一,卷云背景大气透过率比较低,导致云层下方的目标无法被卫星红外探测系统观测到;其二,高层卷云背景下的大气辐射亮度明显高于晴朗天气背景下的大气辐射亮度,这就会导致卷云背景会在天基红外探测系统探测器像面上形成明显的背景噪声干扰。

3.3 极光红外辐射干扰

当需要探测目标出现的纬度高于南北磁纬度 67° 时,经常会受到极光的干扰,极光通常出现于秋冬两季,它持续的时间较长,同时波及的范围较广。绝大部分极光出现在地表上空90~170千米处。由于极光形成的原因是太阳活动产生的高能带电粒子进入大气层后与大气层某些粒子发生电离反应,并在地磁场的作用下聚集在高纬度地区。极光是改变大气分子的组成,影响大气的红外辐射亮度和透过率,因此极光是会对天基红外探测系统探测产生很强的干扰。根据数据来源,常见计算极光红外辐射特性的方法是基于电磁理论,通过准稳态近似的方法求解NO和NO⁺在非平衡状态下各个振动能级数密度,并根据非稳态热力学下的红外辐射亮度公式计算极光的红外辐射。

3.4 恒星红外辐射干扰

当目标本身的红外辐射比较微弱时,为了避免地表和云层背景辐射对卫星探测性能的影响,卫星红外探测系统一般会把工作环境设置为深空环境和临边环境,所以这时的干扰主要来源于恒星红外辐射干扰。不同种类的恒星其表面发射率、温度数据都会不同,因此可以通过光谱模板法对恒星进行有效的分类,通过已知恒星光谱数据作为光谱模板,推演出同类型未知恒星光谱,最后通过光谱积分对星等、辐射照度等数据进行计算。

4 结论

随着卫星红外热成像技术的发展,近年来,卫星红外探测承担了大量军用和民用方面的任务,通常卫星红外探测的性能是由目标红外成像特征决定的,因此论文主要对目标的红外成像特征和复杂背景对红外探测性能的影响进行了一定篇幅的讨论,分别列举了地表红外辐射、云层红外辐射、极光红外辐射和恒星红外辐射这几类常见的干扰进行介绍,希望能为卫星红外探测系统的抗干扰设计提供了一定参考。

参考文献

- [1] 张保庆.美国天基预警系统发展分析[J].军事文摘,2016(17):50-54.
- [2] 孙文,王刚,姚小强,等.美国天基红外预警系统概况与启示[J].传感器与微系统,2016,35(4):1-3+7.
- [3] 刘波.美国天基预警系统现状与发展[J].战术导弹技术,2011(3):118-123.
- [4] 高密,刘勇志,崔振华.气象条件对DSP卫星探测弹道导弹概率的影响分析[J].弹箭与制导学报,2016,36(4):165-167.
- [5] 翟永立.星空背景下空间运动目标自主识别技术研究[D].上海:中国科学院大学(中国科学院上海技术物理研究所),2018.