

俄乌冲突对机动式预警雷达反制天基智能侦察的启示

欧阳琰

空军预警学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年9月11日; 录用日期: 2022年11月2日; 发布日期: 2022年11月10日

摘要

机动式预警雷达战场生存能力提升一直备受关注, 现代战争中, 交战双方往往会通过天基侦察系统结合智能检测方法, 力求快速发现对方的预警雷达并及时摧毁, 从而为抢夺制空权先声夺人。俄乌冲突中时有发生机动式预警雷达被摧毁的案例, 因此对于机动式预警雷达而言, 如何反制天基智能侦察成为不可回避的问题。本文从机动式预警雷达对抗天基侦察的需求分析入手, 分析了天基侦察系统对机动式预警雷达的探测发现以及对抗遥感图像智能检测算法的机理, 提出了反制天基遥感图像智能目标检测算法的一些具体措施, 为机动式预警雷达反制天基智能侦察提供了借鉴思路。

关键词

机动式预警雷达, 天基智能侦察, 对抗神经网络

The Inspiration for Mobile Early Warning Radar to Counter Space-Based Intelligent Reconnaissance from the Russian-Ukrainian Conflict

Yan Ouyang

Air Force Early Warning Academy, Wuhan Hubei

Received: Sep. 11th, 2022; accepted: Nov. 2nd, 2022; published: Nov. 10th, 2022

Abstract

In modern warfare, the two belligerent parties will often combine intelligent detection methods

with space-based reconnaissance systems to strive to quickly discover each other's early warning radars and destroy them in time, so as to seize air supremacy. The cases of mobile early warning radars being destroyed occasionally occurred in the Russian-Ukrainian conflict. Therefore, for mobile early warning radar, how to counter space-based intelligent reconnaissance has become an unavoidable problem. Starting from the analysis of the demand of mobile early warning radar against space-based reconnaissance, this paper analyzes the detection and discovery of mobile early warning radar by space-based reconnaissance system and the mechanism of intelligent detection algorithm against remote sensing images, and proposes some specific measures to counter the intelligent target detection algorithm of space-based remote sensing images, which provides reference ideas for mobile early warning radar to counter space-based intelligent reconnaissance.

Keywords

Mobile Early Warning Radar, Space-Based Intelligent Reconnaissance, Anti-Neural Networks

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

机动式预警雷达是战场防空反导预警体系网的重要组成，在反隐身飞机、探测弹道导弹、发现低空无人机等方面有着无法替代的作用。当前世界上的军事强国都发展了先进的机动式预警雷达，例如：俄罗斯的天空系列米波雷达、美国的“哨兵”战场防空雷达、乌克兰的“铠甲”雷达等。由于机动式预警雷达具备对空天威胁目标的发现能力，在近年来的多场现代化战争中，这些雷达都是率先被摧毁的目标。例如：2019年以色列利用空袭摧毁了叙利亚北部塔布卡空军基地部署的反隐身雷达；2022年，在俄乌冲突中，乌克兰利用空射反辐射导弹摧毁了俄罗斯的反隐身雷达。机动式预警雷达探测距离可超数百公里，往往部署在防空系统保护范围内，依靠空基侦察发现这些雷达有很大的风险。因此，在战场上发现这些雷达最有效的手段就是天基侦察。天基侦察具有探测范围广、探测手段多、探测持续时间长等特点，通过将发现的机动式预警雷达位置坐标装载进精确制导武器，就可以将其摧毁。因此，如何规避天基侦察成为机动式预警雷达提高战场生存能力必须考虑的重要问题。

2. 机动式雷达反制天基侦察的需求分析

2.1. 反制强敌对手电子战

现代战争中，军事强国为掩护己方作战行动，通过天基侦察摸清对方雷达部署情况，为其开展多干扰机协同作战，布设战场“电磁迷雾”给予支持。机动式预警雷达通过对抗天基侦察系统，降低被发现的概率，为其规避电子战打击提供掩护。

电子干扰机是夺取战场制信息权的重要装备，被誉为“长翅膀的电磁利剑”，当前主要军事强国都有着强有力电子战特种装备。电子干扰机的主要功能之一就是干扰敌防空情报雷达网，降低敌方对己方战斗机群、导弹群、无人机群探测的能力。但是，要想对雷达预警网形成有效的干扰，必须要对干扰资源进行智能化的分配，分配的重要前提就是要知道区域内雷达组网中每部雷达的部署位置和波形参数，波形参数主要靠日常的电子侦察，而雷达的部署位置则主要靠空天基侦察，其中天基侦察是最常用手段。

因此，依靠对抗天基侦察系统来降低机动式预警雷达被发现的概率，将会造成敌方对区域内己方雷达装备数量和部署位置掌握不准确，从而影响其电子战对雷达组网的干扰能力。

2.2. 规避第一波次打击，快速重塑雷达预警网

现代战争中，军事强国为夺取战场制空权，通过天基侦察获取敌方预警雷达部署情况和位置，并在战前将雷达部署位置装载进精确制导武器，在战争伊始便对敌方所有雷达进行硬摧毁。机动式雷达通过智能目标检测对抗手段，降低自身被天基侦察发现的概率，使其能够躲避第一波次打击，快速重塑雷达预警网，防御对手第二、三波次的持续打击。

当前，各军事强国都在边境建立了大量的雷达站作为日常维持国家主权和安全的重要屏障，但是这些固定雷达站因其阵地布置相对固定且普遍配有天线罩，极易被天基侦察系统锁定，成为战争初期首要打击对象。现代几场局部战争“巴以冲突”、“纳卡冲突”、“俄乌冲突”在战争初期都是以对方防空预警系统作为重点打击对象，以帮助己方取得制空权，提升战斗机、无人机作战效果。

在经历第一波次打击过后，如何快速重构国土防空预警网成为机动式预警雷达首要作战目标之一，而通过对抗敌方天基侦察系统，可以有效降低机动式雷达第一波次被发现的概率，确保自身生存，从而快速完成防空反导预警网络的重构，确保有效截获敌对方第二、第三波次的空天威胁。目前，美军有效打击敌对国家陆基雷达的武器装备为“哈姆”反辐射导弹。该导弹采用多模态制导，在提前装订雷达目标位置的前提下可以通过 GPS 惯性制导使得即使雷达处于关机状态也可以进行打击，但是，如果无法提前确定陆基机动式雷达的准确位置，就只能采用被动雷达导引头寻找开机的雷达，从而导致命中率下降。

2.3. 隐藏己方预警探测力量

现代战争中，军事强国往往会采用隐身飞机、弹道导弹、无人机、临空高超声速武器对敌对国家重要目标进行精确打击战。为确保作战行动的成功率。战争伊始，军事强国往往需要依靠其天基侦察系统对对手的预警探测体系进行全方位观测，找出薄弱环节实施突袭。机动式雷达通过对抗天基侦察系统，降低自身被发现的概率，使其能够出其不意开机预警，粉碎各种偷袭作战。

“饱和式”、“穿透式”攻击是目前采用最为广泛的空天作战样式，两种典型作战样式都必须提前对对方的预警雷达阵地和型号进行侦察，确保导弹或隐身飞机的攻击能够切实突破敌方雷达预警网。一旦机动式雷达能够对抗天基侦察，降低其被发现的概率，就能有效隐藏己方雷达预警网的探测能力，致使敌方在制定战前筹划前误判我方预警作战力量，从而降低其“饱和式”、“穿透式”作战样式的威胁。

3. 天基侦察系统发现机动式预警雷达机理分析

天基侦察是目前各军事强国掌握战场态势的重要手段，从天基侦察系统的运行轨道上区分：有高轨卫星和中低轨卫星；从天基侦察系统的用途上区分：有气象观测、电子侦察、成像观测等；天基成像侦察是目前发现机动式预警雷达的重要方式，从天基成像观测系统的探测手段上区分：有 SAR 成像、光学成像、红外成像等，从而实现全天时、全天候不间断侦察预警。通过分析一些公开的侦察图像，天基成像侦察系统主要通过分析机动式雷达的天线、雷达阵地的布设来找出机动式雷达具体位置。在天基成像侦察中有一些确定规则可以帮助判断遥感图像中是否观测到了机动式预警雷达：一是机动式预警雷达都配有比较大的天线阵面，尤其是一些用于反隐身的米波雷达，这些天线阵面有的外形为矩形、有的外形为椭圆形与民用天线在形状上存在较大的可区分性；二是机动式雷达阵地往往选址于有一定海拔，且远

离居民区、森林、湿地等地形区域，多靠近海岸线、国境线；三是机动式雷达除了天线车外，一般配有一些附属方舱，用于供电或指挥控制，在一些临时搭建的阵地上，附属方舱与天线车之间的连接光缆会清晰显示。正是这些判决规则，可以帮助人工找出广域天基侦察图像中的机动式预警雷达。同时基于上述规则，许多研究机构开发了大量人工智能算法用于从海量的天基侦察图像中自动检测出机动式预警雷达，因此，机动式预警雷达反制天基侦察的核心关键就是找到破解这些规则的方法，从而让智能辅助判读算法失效，降低机动式预警雷达被天基侦察系统发现的概率。

依托机器学习等技术，开发先进处理算法，用于高效分析静态目标，是天基对地成像观测应用最广泛的领域。自“911”事件以来，美军通过分布式对地观测系统，每日采集的视频流数据超过 7TByte，空军每天收集的情报侦察视频数据约 160 h。2017 年 7 月，美军“算法战跨部门小组”项目启动，利用全动态视频技术满足更快速有效处理、开发和传播的需求，迅速为指挥官决策提供所需信息。2017 年密苏里大学基于深度学习算法，在 45 分钟内在 9 万平方公里的区域内搜索 90 个地空导弹基地，定位精度达到 90%，与人工视觉搜索相同，这是传统的人类视觉搜索效率的 80 多倍[1]。2018 年美国为基于人工智能的战略核导弹预警项目拨款 8300 万美元，基于深度学习等机器学习技术，根据发射迹象、移动发射架痕迹等图像预测核导弹发射，一旦出现异常，美军将收到早期预警，增加或拦截导弹的成功率[1]。俄乌冲突中，北约向乌克兰提供了大量的天基信息支援，这些天基信息成为了乌克兰定位俄罗斯地面预警雷达的重要支撑。

深度神经网络作为近年来使用最多的遥感图像智能辅助判读算法框架，因其具有数据量越大，模型训练越精确的特性，非常契合天基成像对地观测领域。尽管，基于深度神经网络的天基侦察图像数据处理包含很多方面，但是所有的处理架构和方法都可以融合到一个通用框架中[2]。天基遥感数据的深度学习算法框架包括三个主要的部分：预处理好的输入数据、核心深度网络和预期输出数据。因此，思考如何对抗典型图像智能判读算法是机动式预警雷达反制天基成像侦察系统的关键。

4. 机动式预警雷达对抗天基智能成像侦察系统的机理分析

经过分析，机动式预警雷达避免被天基侦察系统发现的关键是攻破人工智能辅助判读算法，使得遥感图像人工智能辅助判读算法发生漏检，同时遥感图像大数据分析工作远超人的生理极限，因此，攻破人工智能辅助判读算法就能够大幅降低机动式预警雷达被天基侦察系统发现的概率。

尽管人工智能技术能够高效地处理海量图像数据，但是其也存在自身的缺陷[3]，那就是对规则的依赖，这个规则就是人判读经验的总结，一旦想到破坏规则的方法和措施，即使一些非常微小扰动也能够让人工智能失效。

2015 年对抗网络的创始人 Ian Goodfellow 提出了对抗攻击的概念，对于一张熊猫的图片，增加人为设计的微小噪声之后，人眼对扰动前后两张图片基本看不出区别，而人工智能模型却会以 99.3% 的概率将其错判为长臂猿[4]。尽管神经网络取得了很高的分类准确率，但他们很容易受到图像上微小的扰动(人类视觉系统很难察觉到)所带来的对抗性攻击。更加糟糕的是，攻击模型可以使得神经网络在错误的预测上报告出更高的置信度，而且相同的图片扰动可以欺骗多网络分类器[5]。图 1 给出了添加扰动前后的机动式雷达天基成像图像。

5. 机动式预警雷达反制天基智能成像侦察系统的具体措施

机动式预警雷达想要迷惑天基遥感成像智能辅助判读算法，就必须想办法破坏自身被人工智能算法检测的几种规则。具体的举措包括：一是临时在天线外形上增加一些附属配件，从而改变天线的外形，进而降低被发现概率；二是在阵地周围布设伪装，包括但不限于木制假模型、假树木、废弃建筑物、伪装防护网等设施；三是雷达架设后，做好附属方舱的伪装工作，包括但不限于掩埋连接电缆、布设伪

装防护、拉远方舱与雷达天线的距离、为方舱挖掘掩体设施等；四是配备可施放战场烟雾的装备，必要时通过施放烟雾遮蔽机动式预警雷达的主天线和阵地。



(a) 不带扰动



(b) 添加烟雾扰动

Figure 1. Schematic diagram of smoke perturbations added to the space-based images of mobile early warning radars
图 1. 机动式预警雷达天基观测图像添加烟雾遮蔽扰动的示意图

6. 仿真结果分析

我们从 Google earth 上下载了 50 幅 MPQ-53 多功能相控阵雷达天基光学成像侦察图像,如图 2 所示:



Figure 2. MPQ-53 radar position

图 2. MPQ-53 雷达阵地

为了测试对抗智能目标检测算法可行性,我们首先将 MPQ-53 雷达裁剪为 128×128 像素大小的训练图像(如图 3 所示),接着利用 Faster RCNN 算法[6]训练一个基于深度神经网络的目标检测算法,通过将其中约 25%的图像数据作为测试样本,可测试得到目标检测的正确率可达到 96.5%。

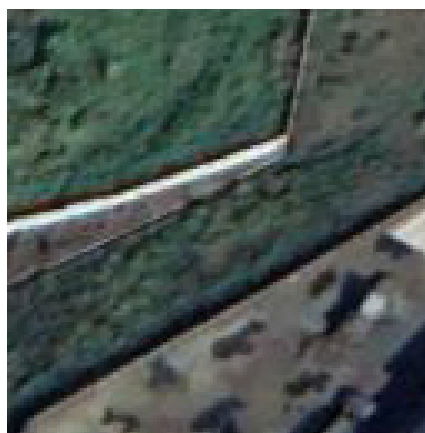


Figure 3. MPQ-53 radar positions

图 3. MPQ-53 雷达阵地

我们测试了三种对抗智能目标检测算法的对抗措施:一是添加烟雾;二是添加噪声点;三是改变目标的图像外形,分别如图 4 所示:



Figure 4. Interference style to smart object detection algorithm

图 4. 智能目标检测算法干扰样式

我们再对添加了对抗措施的图像采用智能目标检测算法,通过仿真结果分析(如表 1 所示),可以发现当干扰达到一定强度时,智能目标检测算法的性能会出现大幅下降。

Table 1. The effect analysis of disturbance

表 1. 干扰效果分析

干扰措施	目标检测仿真结果
干扰措施一(干扰强度最强)	6.35%
干扰措施二(干扰强度最强)	4.25%
干扰措施三(干扰强度最强)	5.65%

参考文献

- [1] 姚保寅, 毛磊, 肖柯, 曲徽. 人工智能技术在光学对地观测领域应用探讨[J]. 现代防御技术, 2021, 49(5): 26-31.
- [2] Zhang, L.P., Zhang, L.F. and Bo, D. (2016) Deep Learning for Remote Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, **4**, 22-40. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2016.2540798>
- [3] Akhtar, N. and Mian, A. (2018) Threat of Adversarial Attacks on Deep Learning in Computer Vision: A Survey. *IEEE Access*, **6**, 14410-14430. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2807385>
- [4] Goodfellow, I.J., Shlens, J. and Szegedy, C. (2014) Explaining and Harnessing Adversarial Examples. arXiv Preprint arXiv:1412.6572.
- [5] McDaniel, P., Papernot, N. and Celik, Z.B. (2016) Machine Learning in Adversarial Settings. *IEEE Security & Privacy*, **14**, 68-72. <https://doi.org/10.1109/MSP.2016.51>
- [6] Ren, S., He, K., Girshick, R. and Sun, J. (2017) Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **39**, 1137-1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>