

综述

基于机器学习的智能光电对抗系统研究

高世阳¹, 王煜东²

(1. 海装北京局驻天津地区第三军事代表室, 天津 300000; 2. 中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

摘要: 随着以机器学习为核心实现手段的人工智能快速发展, 世界各国开始探寻人工智能技术在军事领域中的应用。为了应对越发复杂的现代化战场环境, 传统的电子战正逐步向智能电子战演变。探究作为电子战重要组成部分的光电对抗技术, 提出了智能光电对抗系统的总体方案, 并分析了智能光电对抗系统的能力特点, 为实现光电对抗智能化提供了研究思路。

关键词: 机器学习; 智能; 电子战; 光电对抗

中图分类号: TN977

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2020)-05-0013-07

Research on Intelligent Electro-optical Countermeasure System Based on Machine Learning

GAO Shi-yang¹, WANG Yu-dong²

(1. The Third Military Representative Office of Haizhuang Beijing Bureau in Tianjin, Tianjin 300000, China;

2. Academy of Opto-Electronic, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: With the rapid development of artificial intelligence with machine learning as the core realization method, countries in the world have begun to explore the applications of artificial intelligence technology in military field. In order to deal with the increasingly complex modern battlefield environment, traditional electronic warfare is gradually evolved to intelligent electronic warfare. The electro-optical countermeasure technology as an important part of electronic warfare is explored, an overall plan for an intelligent electro-optical countermeasure system is proposed, and the capabilities and characteristics of the intelligent electro-optical countermeasure system are analyzed, which provides research ideas for the realization of intelligent electro-optical countermeasure.

Key words: machine learning; intelligence; electronic warfare; electro-optical countermeasure

随着以机器学习为核心实现手段的人工智能迅猛发展, 传统电子战正逐渐向智能电子战演变, 即覆盖全电磁空间的电磁频谱战^[1]。电磁空间是由电磁波构成的物理空间, 与陆、海、空、天并称为现代战争中的五维作战空间。

作为电子战的重要组成部分, 为了适应越发复杂的现代化战场环境, 处理庞大的战场信息数据, 对战场态势做出迅捷而正确的反应, 光电对抗也将以人工知识为主要因素向以机器自动认知为主要因素发展。

1 国外智能军事化现状

随着人工智能技术的不断发展, 其处理信息的速度急剧加快, 对信息的容量呈指数级增长, 许多国家看到它在军事领域的广阔应用前景, 并对其开展应用项目的研究, 取得了丰富的成果。美军在作战系统无人化上成就斐然, 目前已拥有超过两万个无人化作战系统, 同时还有超过100种智能化装备被列入研制计划, 计划到2030年使60%的地面作战平台实现智能化。图1为美军电子战战略演变进

收稿日期: 2020-08-18

作者简介: 高世阳(1979-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为海上救助与救生, 水下勘察及打捞等产品的研发及生产; 王煜东(1992-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为机器学习和图像处理. E-mail: aoe-cetc@vip.163.com

程。俄罗斯正聚焦侦察监视、指挥决策、火力打击、作战支援等多个领域,体系化地展开智能装备研制

和列装工作,计划至2025年使超过30%的武器装备实现无人作战能力^[2]。

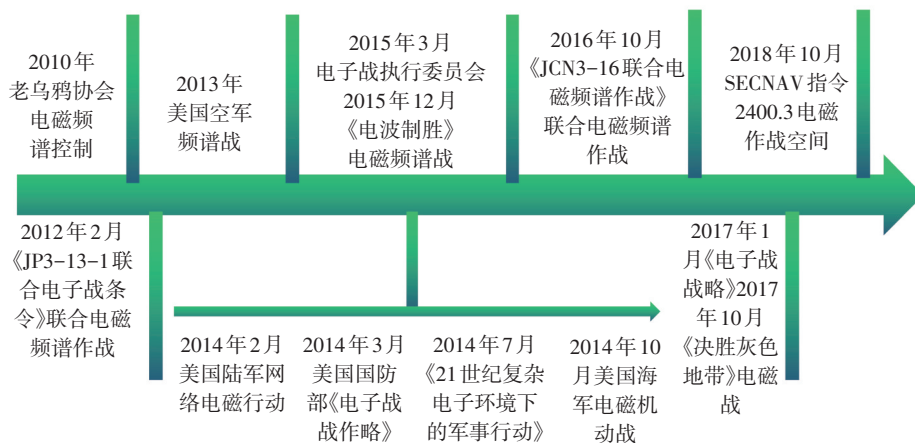


图1 美军电子战战略演变进程

1.1 电子战

2010年7月,美国国防高级研究计划局(DARPA)提出自适应电子战行为学习项目(BLADE),这是机器学习理论首次与电子战相结合,开启了智能电子战的研究。围绕智能认知技术,美军于2012年和2015年先后提出X-PLAN计划和认知电子战计划,期望通过合理利用人工智能技术,开发出适用于战场环境的电子战系统,达成对战场环境下的大量复杂数据进行自动化处理、对战场态势进行智能认知、实现基于战场数据的高效自主决策等功能,以应对复杂的战场形势,取得更大的战术优势。此外,美国开展了、破坏者SRx自适应雷达对抗、极端射频频谱条件下通信、可重构集成电路的微波阵列技术等电子战智能化项目^[3]。

俄罗斯在智能电子战领域也提出相应的构想并付诸行动。2018年7月,俄罗斯Sozvezdiye公司演示了基于人工智能的无线电电子干扰系统,该系统主要用于对无人机的检测,识别非法飞行的无人机并对其进行干扰。此外,俄罗斯正在研发“喜马拉雅”电子战系统,该系统拟装备于第五代战机,旨在提高战机的作战性能。

1.2 情报侦察

美俄等主要国家正积极地将人工智能应用于情报侦察,以提高情报搜集处理效率和质量。2017

年4月,美国国防部成立了算法战跨职能小组,该小组通过应用先进的机器视觉技术,辅助情报人员识别无人机拍摄视频中的目标,既减轻了情报工作人员的负担,又从大量数据中快速筛选出可用情报,一定程度上解决了情报处理人员严重短缺的问题^[4]。人工智能与无人机的结合不仅可以降低情报搜集的成本,还能够提高情报搜集效率,提升美军的作战能力。俄国防部已决定开发一种用于无人机侦察任务的智能化系统,该系统可以以很高的精度引导航空兵攻击点目标^[3]。

1.3 指挥决策

机器学习对于军事智能化的影响,不仅在于实现高效的信息收集和处理,还能提供辅助决策。美国《国防战略指南》明确提出了以“跨域协同增效”为核心的“联合介入行动”和“全球一体化作战”等作战理念。2017年,洛克希德·马丁公司与美国空军合作,建立并模拟了涉及多作战域的指挥和控制系统,检验空、天和网络作战空间中的作战计划编制。

由美国空军研究实验室资助,美国辛辛那提大学研制的“阿尔法”人工智能程序在空战模拟模拟器上击败了人类飞行员。美国空军计划将其集成在F-16战机上,实现战术选择、武器管理、敌方战术学习和自主决策等功能,提高战机的战斗力。

2 基于机器学习的智能光电对抗

作为电子战的重要分支,光电对抗技术由于精度高、可被动式全天候工作、抗电磁干扰能力强等优点,在军事领域发挥重要的作用。在全球军事智能化的现代化潮流中,如何充分利用以机器学习为核心实现手段的人工智能技术,进一步发挥光电对抗技术的优势,增强光电对抗技术在现代化战场上的生命力,值得进一步探索。

2.1 光电对抗技术体系

光电对抗是指利用光电装备与器材,对敌方光电观瞄器材和光电制导武器进行侦察告警、实施干扰,削弱甚至破坏其作战效能,同时保护己方装备、武器和战斗人员免遭敌方光电装备的侦察与干扰,保障其充分发挥作战效能的一种战术手段。主要包括紫外、激光、可见光与红外等对抗领域;根据对抗目的的不同,分为光电侦察告警、光电干扰、反光电侦察与抗光电干扰^[5]。光电对抗技术体系如图2所示。



图2 光电对抗技术体系

随着光电技术的发展,光电对抗技术体系越庞大,单一波段的光电对抗技术已经无法满足日益复杂的战场环境对于光电安全的需求,复合光电对抗技术广泛应用^[6]。以光电侦察告警技术为例,根据战术需求,采用多波段光电传感器,对战场环境进行复合探测,识别威胁信息,对数据融合处理,获取更加完善的战场信息。在此过程中通过信息共享,实现功能相互支援,为优化资源配置与任务综合分配提供信息支撑。

2.2 人工智能与机器学习

“人工智能”是一种以计算机为载体、运用数学算法进行逻辑判决、通过编写可执行的程序,让机器模仿人类分析、推理、思考和学习等智力活动的技术。所有被用来实现人工智能的算法统称为机器学习^[7]。机器学习的目的是使用算法分析数据,从中学习并做出推断或预测。图3是部分机器学习算法与其提出时间。在这些算法的基础上,衍生出适用场景更加广泛的算法。比如以神经网络为基础的一系列深度学习算法。表1对一些典型的机器

学习算法的性能进行了对比。图4是机器学习模型构建流程。

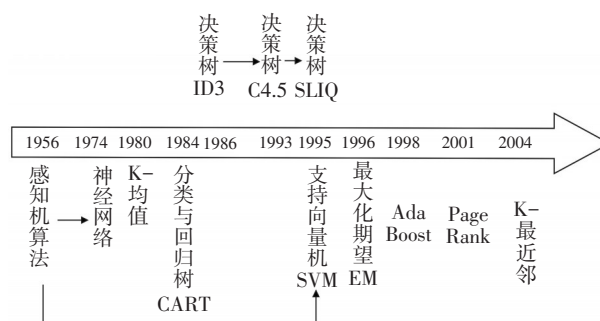


图3 机器学习发展历程

2.3 智能光电对抗系统总体方案

光电对抗的博弈斗争是一个相互识别、相互躲避的动态过程。在复杂战场环境中,光电装备只有能够“从对抗中学习”^[8],通过不断收集环境信息与敌方信息,更新敌方作战能力与作战状态,准确判断战场态势,根据战场态势调整对抗目的,快速地

做出决策并采取相应的对抗手段、实施打击,才能在现代化战场的光电对抗中掌握主动权。这就需要光电装备具有认知能力。认知能力是个体认识世界的信息加工活动,在个体与环境的作用过程

中,个体的认知功能系统不断发展,并趋于完善。图5所示为生物认知逻辑与智能光电对抗系统认知逻辑对应关系。

表1 部分机器学习算法性能对比

类别	名称	优点	缺点
无监督学习	K-means 聚类	时间短,结果容易解释	对异常数据非常敏感
	K-medoids 聚类	受异常值影响较小	时间复杂度较高 $O(N^2)$
	高斯混合模型(GMM)	结果信息量大,准确度高	迭代的计算量大
	主成分分析(PAC)	充分利用数据集;降低算法的计算开销;去除噪声;无参数限制	当主成分的因子负荷的符号有正有负时,综合评价函数意义就不明确
监督学习	支持向量机(SVM)	被广泛研究与应用;有成型库函数;准确度足够高;核函数种类多	需要对输入数据进行全面标注;求解模型的参数难以解释
	K最近邻(KNN)	简单易实现;无需估计参数,无需训练	计算量很大,时间耗费长
	随机森林	可以同时处理分类和数值特征问题;抗过拟合能力强	比决策树算法更复杂,计算成本更高;训练时间长
	BP神经网络	具有非线性映射能力;自我学习与自适应能力强;泛化能力与容错能力高	收敛速度慢;易出现局部极小化问题;样本依赖性高;网络结构选择无统一理论指导

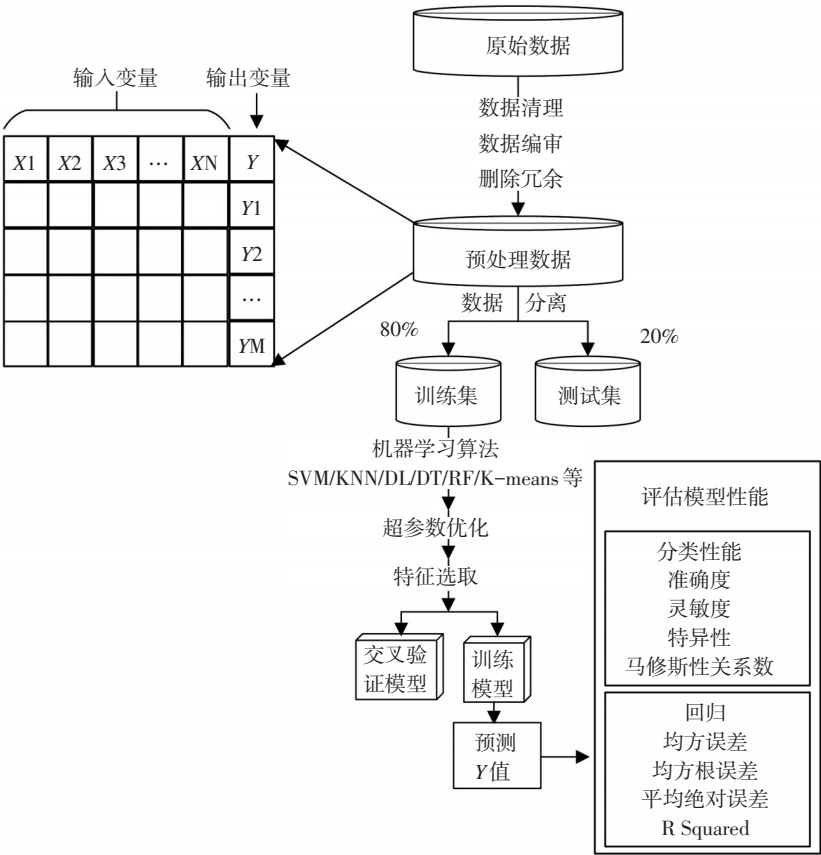


图4 机器学习模型构建流程

生物认知逻辑	智能光电对抗系统认知逻辑
感觉	多波段传感器感知
思考 推理 解决问题	机器学习算法 基于规则的推理 自适应迭代与更新 生成决策
判断与结果反馈	判决结果评估
记忆	环境数据库 案例信息数据库 敌方参数数据库 系统工作参数数据库

图5 生物认知逻辑与智能光电对抗系统
认知逻辑对应关系

对于智能光电对抗系统,认知能力体现为四方面^[1]。一是目标与环境认知能力,能够对复杂的战场环境进行全方位的感知,从复杂的战场环境中获取高维度光电信息,利用机器学习算法对感知信息进

行统计分析,提取目标特征,进行检测识别;二是学习态势认知能力,能够根据感知信息,对环境参数与敌方态势进行快速自主的分析,通过对当前参数与历史信息的学习,理解并预测威胁目标的行为,将对信息的利用上升到战略层次,达到理解对方行为和作战意图的目的;三是自主对抗决策与闭环评估能力,利用对目标、环境和态势的认知信息,推理出最适合当前情景的策略与执行手段,智能地进行多种干扰手段的控制与实施,同时建立信息反馈通道,对自主决策所产生的对抗效果与作战效能进行实时评估、反馈、记录,寻求对已有方案的优化;四是系统能力自主进化能力,对战场环境参数、敌方态势信息与取得有效作战成果的自主决策和自适应调整参数进行实时存储,实现学习经验的不断积累和扩散,使系统能力随着对客观世界的观测趋于完善。

根据光电对抗技术体系与智能光电对抗系统认知能力,提出一种智能光电对抗系统总体方案。如图6所示。

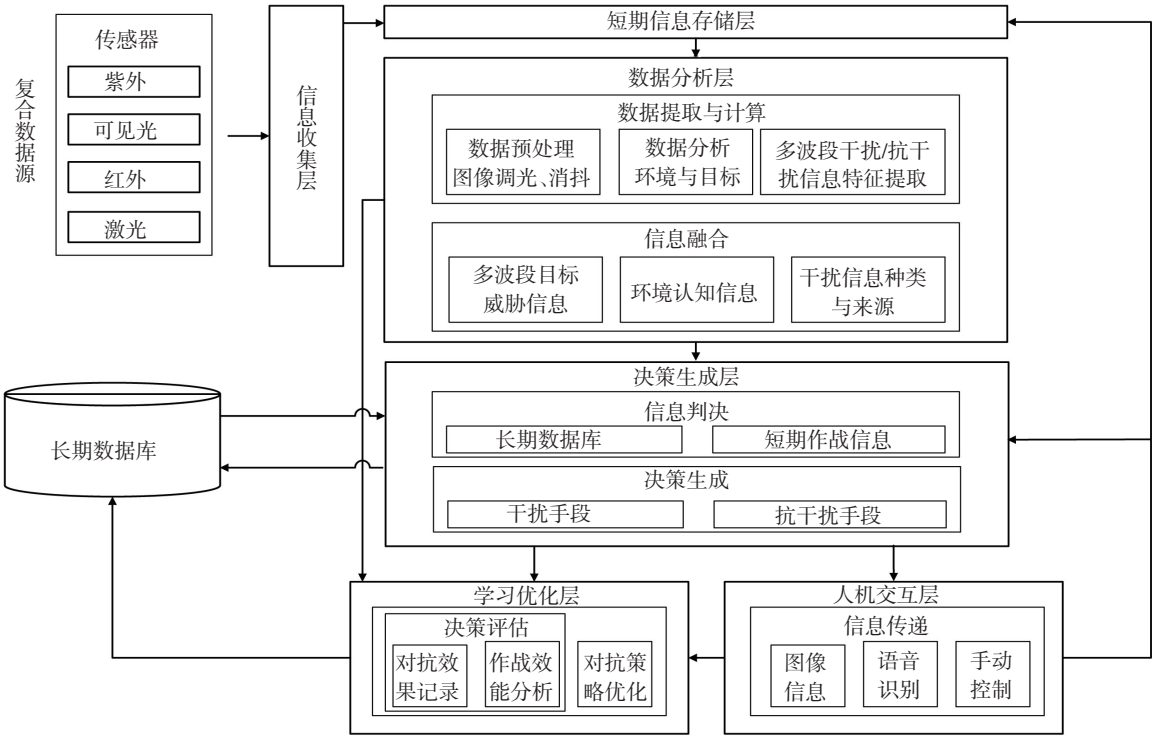


图6 智能光电对抗总体方案

2.4 智能光电对抗系统能力分析

(1)多光谱或全波段信息感知能力

随着光电对抗技术不断发展,单一波长或双频段光电对抗装备已无法满足现代化战场的需求,多光谱或全波段对抗技术将得到更加广泛的应用,使

光电侦察告警、光电有源干扰和光电无源干扰、光电反侦察和抗干扰从单一波长扩展到全光波段。

在智能光电对抗中,多光谱或全波段信息感知能力将会为后续的学习、推理、决策提供紫外、可见光、激光、红外全光波段的环境信息与敌方态势信息。通过多领域、多层次、多角度的信息感知与收集,充分发挥智能光电对抗系统对大量数据的融合与综合处理能力,为高准确度的学习、推理与决策提供信息支撑。

(2)基于不确定性信息的智能学习推理能力

在现代战场环境中,雷达探测、光电探测、电子侦察、电子干扰等各类电子设备的使用,极大地加剧了战场环境的复杂性。这种复杂性会增加多光谱或全波段感知信息的数据维度和不确定性。因此,需要处理感知数据,降低复杂光电感知信息的数据维度,提取特征向量,并设计一种根据确定因子和上述感知信息中存在的 uncertain 因素对战场环境进行智能学习、对当前情景智能推理并自适应决策的方法,将信息不确定性导致的决策结果无效化风险降低,提高智能光电对抗系统决策结果的稳健性。

(3)对决策实施结果的智能评估判断能力

当智能光电对抗系统根据长期信息与短期战场信息做出决策并实施对抗手段后,应当具有实时跟踪决策结果的能力,收集对抗手段对环境的影响能力、对敌方作战效能的干扰能力、对己方人员与装备的保护能力,评估本次决策的对抗影响力指

数,判断是否可以对其进行优化、如何优化,同时记录决策方案、实施对抗手段与对抗影响力指数到数据库中,为后续的优化决策提供先验信息。

(4)长短期信息存储与快速搜索能力

知识库是整个智能光电对抗系统的信息存储及信息交换中心,包括短期数据库和长期数据库两种形式。其中,短期数据库记录光电对抗装备的外部环境参数、敌方态势信息和内部工作状态的参数等信息;长期数据库可分为规则信息和案例信息。智能抗干扰知识库的设计目的是在现代化战场存在各种复杂电磁影响的环境下,构造最优的数据库模式,建立数据库及其应用系统,使之能够有效地存储智能光电对抗系统的各项数据,并根据战场环境迅速地搜索历史信息,提高学习、推理与决策的准确性。图7所示为智能学习与效果评估。图8为智能光电对抗知识库结构。

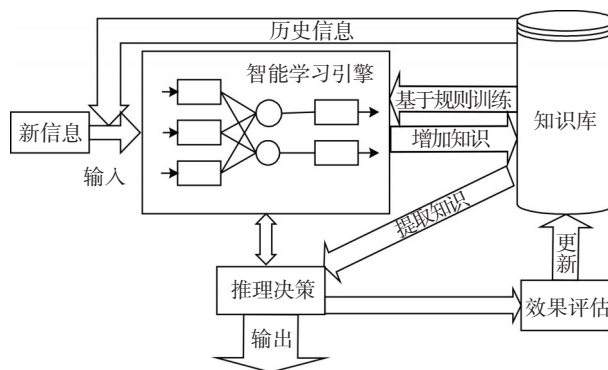


图7 智能学习与效果评估

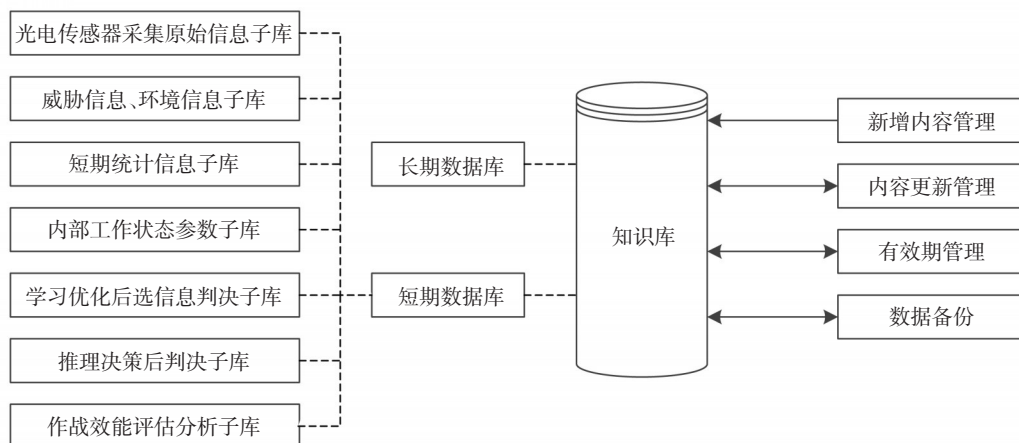


图8 智能光电对抗知识库结构

2.5 智能光电对抗系统关键技术探讨

在构建智能光电对抗系统时,存在许多问题需要不断研究与尝试。对于智能光电对抗系统而言,机器学习算法的选择直接关系到系统能力的强弱、资源占用的多寡、作战功能的完善程度、对战场环境的把握能力、对作战机会的利用能力,因此,要实现智能光电对抗系统的功能,单一类型算法的适用性是有限的。面对目前种类繁多、功能各异的机器学习算法,选择合适的算法组合不仅是一项十分重要的工作,也是一件充满挑战的工作。

知识库是整个智能光电对抗系统的信息存储及信息交换中心,包含了其所需要的全长期信息与短期信息。将所有信息全部存储到知识库中可以充分保证信息的完整性,但是不可避免冗余信息与庞大信息量导致的信息利用效率降低;极力精简知识库中的信息可以提升信息搜索速度,但是不可避免会丢失作战信息、环境参数、自身内部参数等信息,降低知识库的可靠性。如何在保证数据库信息完整性、可靠性的前提下,优化数据库结构,去除冗余信息,提升对数据库信息的搜索利用效率,需要总合考虑各方面因素,并不断改进。

此外,多光谱或全波段信息感知与数据融合、提高基于不确定性信息的学习推理与决策的准确度、建立完善的人机交互机制等也是实现智能光电对抗系统过程中需要面对的问题。

3 结 论

在现代战场环境中,由于各类电子设备的使用,造成战场环境复杂化,战场信息隐秘化。能否

从复杂繁多的干扰信息中快速、准确地识别出威胁目标信息,并采取有效的光电对抗手段,保护我方免受敌方的攻击并对敌方实施有效的打击,直接关系到作战任务的成败。

在过去的20年中,人工智能的发展速度越来越快,性能更加优良的机器学习算法与技术不断出现。可以预见,智能光电对抗技术逐渐成熟最终走向应用。在世界科技革命、军事革命迅猛发展和强军兴军事业深入推进的历史交汇期,充分利用人工智能飞速发展带来的技术机遇,升级光电对抗技术体系,创造更先进的光电对抗系统和装备,可极大地提高作战能力,掌握现代化战场的主动权,夺取制空权、制海权、制夜权,获得作战优势并强化常规威慑。

参考文献

- [1] 王沙飞,鲍雁飞,李岩.认知电子战体系结构与技术[J].中国科学:信息科学,2018,48(12):1603-1613+1709.
- [2] 线珊珊.美俄人工智能军事应用发展分析[J].大数据,2020,6(4):125-132.
- [3] 蔡亚梅.人工智能在军事领域中的应用及其发展[J].智能物联网技术,2018,1(3):41-48.
- [4] 王天尧,吴素彬.人工智能在军事情报工作中的应用现状、特点及启示[J].飞航导弹,2020(4):46-51.
- [5] 刘松涛,高东华.光电对抗技术及其发展[J].光电技术应用,2012,27(3):1-9.
- [6] 白小叶,张建宇.国外光电对抗技术的发展动向与分析[J].舰船电子工程,2020,40(6):13-17.
- [7] 周志华.机器学习[M].北京:清华大学出版社,2016.
- [8] 丁宇,李宇海.智能化光电对抗技术框架发展构想[J].光电技术应用,2018,33(6):9-13+67.