

人工智能技术在雷达对抗中的应用

刘春生, 郝治理, 王伟

国防科技大学电子对抗学院, 合肥 230037

摘要 介绍了人工智能技术的发展概况,总结了人工智能技术在电子战中的应用。以自适应雷达对抗项目为例,分析了人工智能关键技术雷达对抗中的应用,并探讨了雷达对抗中充分应用人工智能技术需要解决的关键问题。

关键词 人工智能;电子战;自适应雷达对抗

现代战争是高技术条件下的信息化战争。随着信息化技术的不断进步,战争日益依赖高技术设备,自20世纪70年代信息革命爆发至今,信息技术已历经近半个世纪的发展,形成了体系完备的产业集群并渗透到很多领域,尤其在军事领域中大放异彩。在此大环境驱使下,人工智能作为一种新型的技术受到越来越多的重视。人工智能武器的出现,将“人对人”的战争转化为了“机器自主杀人”的战争,即从根本上改变了战争的方式。越来越多的国家将发展人工智能提升到了国家战略的层次,在政策、资金等方面给予了很大支持。以美国为代表的世界军事强国,早已预见到人工智能技术在军事领域的广阔应用前景,并已经展开了在智能化上的竞赛。美国还相继提出了“第一、二次抵消战略”及“第三次抵消战略”,希望利用人工智能和机器人等技术保持对潜在对手的军事优势。

在电子战领域,尤其是雷达对抗方面,常规手段在时效性、准确性、抗毁性、打击能力、自适应等方面不能满足当前战场需求。人工智能技术作为一种新兴技术受到了广泛关注,越来越多力量都期望能够利用人工智能技术形成在电磁领域的技术优势,牢牢抓住电磁

领域信息作战的主动权,拉开与潜在对手的电子战装备的技术差距。

1 人工智能技术的发展

1.1 人工智能的概念

人工智能(artificial intelligence, AI)涉及到研究、扩展延伸、模拟人智能的相关内容。1956年,在美国达特茅斯召开了一次学术会议上正式出现了“人工智能”这个术语,首次将像人类那样思考的机器称为“人工智能”,被看作是人工智能正式诞生的标志。此后不久,麦卡锡与明斯基两人共同创建了世界上第一座人工智能实验室,开始从学术角度对AI展开严肃而精专的研究。人工智能最基本的概念是指通过机器为载体,使机器具有一定的人的表达能力和思维方式,它是关于知识的学科,是如何表达、获取知识并实际应用的科学技术。

1.2 人工智能技术的发展状况及其应用

自从人类象棋冠军 Garry Kasparov 被 IBM 公司所研发出的电脑击败以后,人工智能技术迅速进入人们

收稿日期:2018-10-29;修回日期:2018-11-26

作者简介:刘春生,副教授,研究方向为雷达对抗技术,电子信箱:m15656559951@163.com;郝治理(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为信号与信息处理,电子信箱:565147369@qq.com

引用格式:刘春生,郝治理,王伟[J]. 人工智能技术在雷达对抗中的应用[J]. 科技导报, 2019, 37(4): 63-68; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.04.011

的视野。从本质上来讲人工智能是计算机学科其中的一个重要的分支,人们最初去研究人工智能技术的原因是希望计算机能够像人类的大脑一样进行思考,但是到目前为止,人们对自身大脑的了解程度还远远不够,模仿大脑的工作更是难上加难,尽管在过去很长一段时间内科学家为之付出了很大努力。

人工智能在近几十年的大致发展趋势如图1所示^[1]。由图1可以看出:1943年人工智能开始萌芽,人工

智能主要以人工神经网络的形式存在;1956年正式诞生,并逐步进入了上升期,启发式算法知识推理等开始盛行;而进入20世纪60年代以后,开始了模糊逻辑进化策略,这一时期也是人工智能技术发展的延迟期;20世纪70年代以后,专家系统遗传算法等开始出现,人工智能技术在这一时期取得了很大的突破;20世纪80年代至今,又步入了一个新的发展阶段,越来越多的技术以及算法不断成熟,并且在很多领域得到了应用。

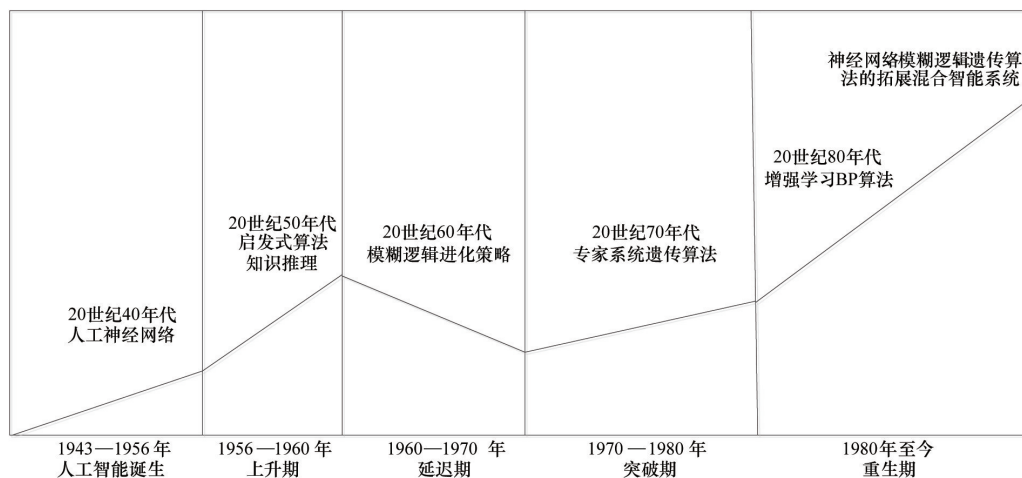


图1 人工智能发展趋势

Fig. 1 Development trend of artificial intelligence

1.2.1 国内发展态势

民用方面,阿里巴巴网络技术有限公司和腾讯计算机系统有限公司为了获得更多的连接面,把主要的精力投放在了横向圈地动作上。百度公司则以技术为核心,重在进行人工智能和深度学习领域的布局。百度云则是结合了深度学习技术提供的人脸识别及检索技术,使用了类似于人脑思维的方式去识别、搜索图片中的物体及其他内容,其语音识别系统可以在嘈杂环境下实现近81%的辨识准确率。与此同时,百度公司已经建成了被称为“百度大脑”的大规模深度神经网络,目前完全可以理解分析200亿个参数,达到了2~3岁幼儿的智力水平。纵观中国人工智能技术与产业发展,很多科研院所、企业单位等均已经开展深度学习理论算法、建模等方面的研究。关于人脑网络结构与认知结构的研究也开始陆续开展,人工智能的相关技术也开始实现产品化应用^[2]。

军用方面,中国很早就开始探索人工智能技术在军事领域的应用。“十三五”规划指出:未来5~10年,国家将重点推动人工智能规模化应用。“十三五”国家科

技创新规划指出:发展智能绿色服务制造技术,发展智能感知、智能控制、智能机器人等技术,围绕建设制造强国,大力推进制造业向智能化、绿色化发展。目前,国内无人系统已经广泛应用于反恐、侦察、远程精确打击、军事训练、边境巡逻、作战支援等,并在蜂群无人机和指挥控制方面取得了一定的突破,巡航导弹在路径规划和目标识别方面也采用了人工智能技术。此外,在自主多用途作战机器人系统、军用飞机“副驾驶员”系统、武器装备的自动故障诊断与排除系统、智能电子战系统、人工智能武器等武器装备中均应用了人工智能技术^[3]。

1.2.2 国际发展态势

人工智能技术在民用方面的发展重点由主要的互联网公司进行推动。例如谷歌公司基于对人工神经网络的研究,开发出了一种新型的学习算法,能够模仿人脑学习和记忆的原理,具有对数据进行归纳整理及进一步预测推断等能力。Facebook公司致力于利用好人工智能技术进行用户数据分析以提升用户体验,主要针对用户信息和关系的人工智能算法演进,同时也关

注图像识别和自然语言处理,其脸部识别算法的准确度已达到97%。IBM公司是依托自身计算基础重点部署大规模计算能力,研制可以模拟人类大脑的芯片。除此之外,近年以来,国际上也陆续开展了对于人脑的模拟和研究,一方面是希望通过模拟人脑来促进医学发展,另一方面则是希望通过研究人脑的学习机制推动学习算法、人机交互及神经计算等科学技术的进一步发展^[4]。

人工智能技术在军用方面,美国和以色列等国家在走在了世界前列。美国军方一直以来都很重视人工智能方向的发展,2013年以来接连发布了《为人工智能的未来做好准备》和《国家人工智能研究与发展战略规划》。目前,美国的无人机系统仓储量大幅度提高,甚至制定了“无人系统集成路线图”,试图在2038年前全面发展空中、地面、海洋三大领域的无人自动系统^[4]。以色列现已拥有Orbiter、Aerostar、Domintor等一系列无人机,并且拥有导航系统和人机界面等。以色列国防军Sigma分支一直致力于将深度学习、机器学习、视频分析等技术用在军事领域,并且已经取得了一些实际成果。例如在两个神经网络的基础上使用240万幅图片和视频训练出能够理解和描述视频的人工智能算法,可用于监控战场和边境线。除此之外,以色列还利用3D打印技术制造无人机,并开发出了蛇形机器人,用于沙漠、隧道、废墟等特定环境^[5-6]。

2 人工智能技术与在雷达对抗中的应用

随着“制电磁权”在高技术战争中地位的提高,世界各军事强国都意图加强自己国家的电子作战能力。人工智能技术与电子战的结合成为很多国家追求信息战发展的方向。1944年6月,德国军队依靠自身无线电导航的引导夜袭了伦敦,致使英、德两国之间展开了一场激烈的无线电导航对抗,此后雷达投入了作战使用,并很快成为了放空探测和火炮定位的有力武器,且逐渐成为了电子战的重点,其地位和作用不断提高。当前,国内外在雷达对抗方面都取得了很大的突破。自20世纪末以来,美国分别开展了专家系统恒虚警处理(ESCFAR)和基于数字地图信息的空时自适应处理(KBMap-STAP)等研究项目;2013年,美国防御远景研究规划局(DARPA)支持了雷达与通信共享频谱(SSPARC)研究项目;2016年,Greco将认知雷达扩展到被动雷达。

自2008年开始,中国学者在认知雷达领域开展了研究,在环境感知与描述、最优化波形设计、自适应信号处理等方面进行了探索,并取得了一定的研究成果。此外,在雷达目标识别技术研究方面也有比较广泛的研究基础,这其中包括利用神经网络、支持向量机对雷达一维距离像结果的分类识别、合成孔径雷达(SAR)图像的分类识别等^[7-8]。主要针对电子战领域中的雷达对抗,介绍人工智能与雷达对抗相结合的发展概况。

当前,一大批符合未来战争需求的雷达对抗新技术、新概念被不断提出。例如自适应雷达对抗(adaptive radar countermeasures, ARC)、智能雷达干扰决策支持系统等将在未来电子战中发挥巨大的作用。下面主要根据自适应雷达对抗介绍人工智能技术在雷达对抗方面的应用。

由美国国防预先研究计划局启动的自适应雷达对抗,目的是开发短时间内对抗敌方新型、未知雷达的能力,是第一个真正意义上的认知电子战项目。该项目是研制一种可以进行信号特征分析、对抗措施合成以及对抗措施效能评估的闭环系统,系统框图如图2所示^[9]。

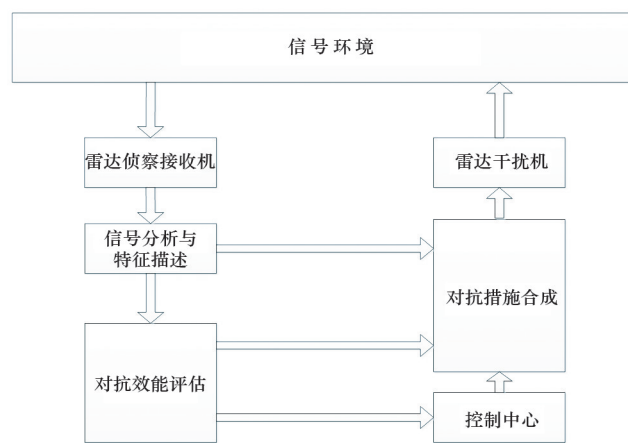


图2 自适应雷达对抗系统示意

Fig. 2 Indication of adaptive radar countermeasure system

该项目是针对对方空中无线电信号而开发对抗对方自适应雷达系统的电子战能力,这种能力可以感知周围复杂电磁环境,并且自动调整,最后实施干扰。通常传统的雷达不具有对环境的认知性,不能够自动识别复杂电磁环境下的未知信号,更不能依据未知的威胁信号实时合成有效的对抗措施。而自适应雷达对抗项目对上述问题进行了很大的优化改善,它可以基于敌方空中无线电信号对抗敌方自适应雷达系统,感知

周围环境并自动调整实施干扰。

从图2可以看出,ARC项目充分体现了认知雷达动态闭环反馈功能的认知原理。(1) 通过对雷达威胁信号的分析确定威胁的功能和意图,即对于目标环境的侦察感知。它充分利用了学习领域的支持向量机和神经网络等方法,展开了对于认知侦察技术的研究,研究的主要内容包括高复杂信号环境下的威胁信号分选、识别和特征值提取算法,重要的是算法的设计必须要考虑实时性及准确性。(2) 自适应的机器学习算法通常需要一定的先验知识作为训练的基础,并且要求其在工作过程中可以不断地积累和捕获新的威胁信号,持续地对数据库里积累的新信号进行学习,从而可以逐步提高自身系统对于威胁信号环境的侦察感知能力。(3) 根据感知到的威胁信号提取信息,利用当前主流的优化方法,遗传算法、粒子群算法(PSO)等推导出进行干扰的最优化策略,自动合成对抗措施的算法和技术,接着由发射机进行干扰信号的发射。(4) 需要继续观察目标信号,通过有效的对比,分析采取干扰措施前后信号的变化情况,对采取的对抗措施进行精确的现场评测,判断干扰信号究竟是否有效,并将评估结果反馈到智能决策,进一步优化策略,从而达到最佳的干扰效果^[10-16]。总之,ARC可以将应对新雷达威胁的时间由过去的几个月甚至一年,缩短至几分钟甚至几秒钟。

3 需要解决的关键问题

3.1 威胁信号的提取及其特征分析

在当前趋势下,世界各军事强国都希望能够引领电磁空间发展,牢牢抓住电子战的主动权,这导致当今的电磁空间十分拥塞,从而对雷达侦察接收机获取威胁信号提出更高的要求。如何实时地从其他射频辐射源的密集复杂电磁环境中分离出威胁信号,是需要关注的问题^[17-22]。针对以上问题,可以考虑将人工智能中的机器学习算法、基于规则的推理及自适应算法等运用到接收机对外界信号的感知中;同时要结合创新的方法对辐射源脉冲进行分析,根据数据库中心的先验知识提取威胁信号特征;此外,要注重这整个过程的实时性和准确性。

3.2 软件算法需要优越的硬件系统

在自适应雷达对抗项目中,很多问题解决的关键在于应用了人工智能中的一系列软件算法。因此需要研究如何使这些软件算法在雷达对抗系统中发挥出优

越的性能,从而对硬件系统提出了要求。必须注意对硬件开发平台的研究,在硬件系统设计等方面投入更多的精力。

3.3 对抗措施合成既干扰信号的产生

自适应雷达对抗系统在工作时,要求能够实时地感知危险信息,并且基于信号分析和特征描述对当前威胁环境的理解无延时地形成对抗措施^[23]。这需要在雷达对抗系统中加入一套预编程的技术方案,可以考虑采用一些新的引擎控制模块(ECM)技术或者是先进的机器学习算法使系统积累一定的经验模型,并且能够通过与环境的交互持续地学习积累新的经验知识,同时要注意干扰波形的优化问题。

3.4 实时的对抗效果评估

当雷达对抗系统发出干扰信号之后,要对干扰的效果进行实时评估,这其中包含两个问题:(1)如何检测干扰效果。无法从威胁雷达处直接观测对抗的效果,需要采用创新的方法进行精确地评估,例如通过威胁雷达波束、带宽等的变化来评估对抗效果;(2)实时性的问题。可以考虑如何提高射频前端的响应能力等,同时在软件方面要注意提升算法的运算速度,也可以在组成硬件系统的新材料或技术等方面进行探索,保证评估的有效性^[24-26]。

3.5 安全性和可靠性需要保证

人工智能技术虽然很大程度上发展了雷达对抗装备,但仍处在一个初级阶段,机器对战场环境的感知处理能力在某些方面未必会超出人类,有时可能会因为机器的自主性导致一些安全事故^[27-29]。安全性和可靠性问题可能会影响人工智能系统的类型,也会影响它们融入常规的军事行动计划。因此,未来需要对安全性和可靠性给予足够重视,使风险降到最低。

3.6 对战双方都具备了自适应,加大了对抗的挑战性

随着自适应雷达对抗系统的发展,今后的电子战中,对战双方都拥有一定的自适应,这必然会为战场环境带来更多的不确定性及挑战性,同时这种不确定因素的增多必然对雷达对抗系统的要求更高^[30]。任何一种技术,不同的发展程度和运用环境一定会形成优劣对比。因此,若想走在未来电子战的前列,就需要时刻注意其他力量在相关的发展状况,力求在装备技术发展上领先于潜在对手。

3.7 发展、培养更多的专业技术人才

当前正处于人工智能发展浪潮中,研究人员都希望通过人工智能技术加强自身领域的发展,但是真正

熟悉并掌握技术的人才较少,很多领域均出现了人才短缺的问题,而且大多技术都是在民用领域形成之后才应用于军事领域。人工智能在雷达对抗中应用的研究人员更加稀缺,如果临时培养,需花费大量的时间精力,周期较长,无法适应发展需求,因此要加强宣传工作,招揽真正的人工智能技术人才投身于相关领域的研究中。

4 结论

一些军事强国已将人工智能技术引入自适应雷达对抗。分析了人工智能技术与雷达对抗结合所带来的理想的应用效果。从技术层面、安全性、可靠性以及人才培养等方面总结了继续深入人工智能与雷达对抗融合发展需要重点解决的关键问题。针对未来发展趋势,人工智能技术将在很长一段时间继续处于研究热潮,要把目光放远、放长,紧跟科学发展脚步,力争实现成为技术创新的引领者。

参考文献 (References)

- [1] 尹超, 马竹娟. 人工智能技术的应用和发展[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2017, 33(5): 27-28.
Yin Chao, Ma Zhujuan. Application and development of artificial intelligence technology[J]. Journal of Chifeng College (Natural Science Edition), 2017, 33(5): 27-28.
- [2] 贺倩. 人工智能技术发展研究[J]. 现代电信科技, 2016, 46(2): 18-21.
He Qian. Research on the development of artificial intelligence technology[J]. Modern Telecommunication Technology, 2016, 46(2): 18-21.
- [3] 张妮, 徐文尚, 王文文. 人工智能技术发展及应用研究综述[J]. 煤矿机械, 2009, 30(2): 4-7.
Zhang Ni, Xu Wenshang, Wang Wenwen. Overview of research on the development and application of artificial intelligence technology[J]. Coal Mining Machinery, 2009, 30(2): 4-7.
- [4] 蔡华悦, 未志元. 人工智能在各军事强国的发展[J]. 国防科技, 2017(5): 7-11.
Cai Huayue, Wu Zhiyuan. Development of artificial intelligence in various military powers[J]. National Defense Technology, 2017(5): 7-11.
- [5] 王莉. 人工智能在军事领域的渗透与应用思考[J]. 科技导报, 2017, 35(15): 15-19.
Wang Li. Thoughts on the penetration and application of artificial intelligence in the military field [J]. Science and Technology Review, 2017, 35(15): 15-19.
- [6] 张路青, 许宏泉, 詹广平. 人工智能在信息化战场的应用探析[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(6): 13-16.
Zhang Luqing, Xu Hongquan, Zhan Guangping. Application analysis of artificial intelligence in the information-based battlefield[J]. Ship Electronic Engineering, 2009, 29(6): 13-16.
- [7] 戴幻尧, 周波, 雷昊, 等. 认知电子战的关键技术发展动态与分析[J]. 飞航导弹, 2014(9): 57-60.
Dai Huanyao, Zhou Bo, Lei Hao, et al. Development and analysis of key technologies for cognitive electronic warfare[J]. Aircraft Missile, 2014(9): 57-60.
- [8] 石荣, 邓科, 阎剑. 雷达认知能力提升及其与EW的智能博弈[J]. 雷达科学与技术, 2015(3): 228-232.
Shi Rong, Deng Ke, Yan Jian. Improvement of radar cognitive ability and its intelligent game with EW[J]. Radar Science and Technology, 2015(3): 228-232.
- [9] 周波, 戴幻尧, 乔会东, 等. 从美军ARC项目看雷达电子战发展趋势[J]. 飞航导弹, 2015(2): 56-60.
Zhou Bo, Dai Zhuoyao, Qiao Huidong, et al. Development trend of radar electronic warfare from the American Military ARC Project[J]. Aircraft Missile, 2015(2): 56-60.
- [10] Haystead J. DARPA seeks proposals for adaptive radar countermeasures[J]. Journal of Electronic Defense, 2012, 35(8): 16-18.
- [11] Gini F. Knowledge-based systems for adaptive radar[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(1): 14-17.
- [12] Haykin S. Cognitive radar: A way of the future[J]. Signal Processing Magazine IEEE, 2006, 23(1): 30-40.
- [13] 陈翼, 王宁, 孟晋丽, 等. 认知雷达对抗体系研究[J]. 现代雷达, 2017, 39(9): 81-85.
Chen Yi, Wang Ning, Meng Jinli, et al. Research on cognitive radar countermeasures[J]. Modern Radar, 2017, 39(9): 81-85.
- [14] 王健明. 面向下一代战争的雷达系统与技术[J]. 现代雷达, 2017, 39(12): 1-11.
Wang Jianming. Radar systems and technologies for next-generation warfare[J]. Modern Radar, 2017(12): 1-11.
- [15] 袁赛柏, 金胜, 朱天林. 认知雷达技术与发展[J]. 现代雷达, 2016, 38(1): 1-4.
Yuan Saibo, Jin Sheng, Zhu Tianlin. Cognitive radar technology and development[J]. Modern Radar, 2016, 38(1): 1-4.
- [16] 张蔚, 杨大川. 认知电子战系统的思考[J]. 电子信息对抗技术, 2017, 32(4): 6-9.
Zhang Wei, Yang Dachuan. Thoughts on cognitive electronic warfare system[J]. Electronic Information Countermeasures Technology, 2017, 32(4): 6-9.
- [17] 王利伟, 朱晓丹, 王建, 等. 人工智能在电子侦察中的应用分析[J]. 航天电子对抗, 2018(2): 29-32.
Wang Liwei, Zhu Xiaodan, Wang Jian, et al. Application analysis of artificial intelligence in electronic reconnaissance[J].

- Aerospace Electronic Countermeasures, 2018(2): 29-32.
- [18] 田达, 宋海伟, 胡新宇, 等. 网络化电子战技术发展思考[J]. 航天电子对抗, 2017, 33(5): 1-4.
Tian Da, Song Haiwei, Hu Xinyu, et al. Thoughts on the development of networked electronic[J]. Aerospace Electronics Warfare, 2017, 33(5): 1-4.
- [19] 王超. 人工智能技术及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.
Wang Chao. Artificial intelligence technology and its military application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016.
- [20] 赵晶伟, 陈洪珍. 在电子战中应用人工智能技术[J]. 电子信息对抗技术, 1988(5): 20-30.
Zhao Jingwei, Chen Hongzhen. Application of artificial intelligence technology in electronic warfare[J]. Electronic Information Countermeasures Technology, 1988(5): 20-30.
- [21] 阙渭焰. 认知作战与战场电磁作战环境智能表征[J]. 强激光与粒子束, 2018, 30(4): 1-7.
Kan Weiyan. Intelligent characterization of cognitive warfare and field electromagnetic warfare environment[J]. Strong Laser and Particle Beam, 2018, 30(4): 1-7.
- [22] 宋海伟, 田达, 李文魁, 等. 智能无人集群电子战系统技术发展研究[J]. 航天电子对抗, 2018(2): 11-13.
Song Haiwei, Tian Da, Li Wenkui, et al. Technology development and research of intelligent unmanned cluster electronic warfare system[J]. Aerospace Electronic Countermeasures, 2018(2): 11-13.
- [23] 美国提出 2018 顶尖技术预测[J]. 数控机床市场, 2017(6): 8-9.
The United States proposes leading technology prediction for 2018[J]. CNC Machine Tool Market, 2017(6): 8-9.
- [24] 理查德·斯科特, 王继石. 指挥与控制——作战室的智能化[J]. 指挥控制与仿真, 1995(2): 30-32, 42.
Richard Scott, Wang Jishi. Command and control: Intelligence of the war room[J]. Command, Control and Simulation, 1995(2): 30-32, 42.
- [25] 李振初. 人工智能技术在电子战中的应用[J]. 电子信息对抗技术, 1988(2): 31-43.
Li Zhenchu. Application of artificial intelligence technology in electronic warfare[J]. Electronic Information Countermeasures Technology, 1988(2): 31-43.
- [26] 张逢堂. 高科技发展对未来战争的影响[J]. 科技进步与对策, 1991(6): 44-45.
Zhang Yitang. Effects of high-tech development on future wars[J]. Science and technology progress and countermeasures, 1991(6): 44-45.
- [27] 槐泽鹏, 龚旻, 陈克. 未来战争形态发展研究[J]. 战术导弹技术, 2018(1): 1-9.
Huai Zepeng, Gong Min, Chen Ke. Research on future warfare morphology development[J]. Tactical missile technology, 2018(1): 1-9.
- [28] 陈文华. 国外智能地雷及控制技术的发展趋势[J]. 探测与控制学报, 1994(4): 42-47.
Chen Wenhua. Development trend of intelligent mine and control technology abroad[J]. Journal of Detection and Control, 1994(4): 42-47.
- [29] 龚惠明. 电子战的新领域——人工智能(三)[J]. 上海航天, 1986(4): 18-23.
Gong huiming. New field of electronic warfare: Artificial intelligence (iii)[J]. Shanghai Aerospace, 1986(4): 18-23.
- [30] 林京华. 实时系统的人工智能问题[J]. 航空计算技术, 1986(1): 30-39.
Lin Jinghua. Artificial intelligence problems of real-time systems [J]. Aerospace Computing Technology, 1986(1): 30-39.

Application of artificial intelligence technology in radar countermeasures

LIU Chunsheng, HAO Zhili, WANG Wei

College of Electronic Engineering, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China

Abstract The artificial intelligence is in a rapid development, and it is influencing people's vision every day. More and more scientific research institutions and enterprise units are working hard to make breakthroughs in their fields through the artificial intelligence technology. The military has also attached a great importance to the maturing of artificial intelligence. This paper reviews the general development of AI technology, focusing on its application in the electronic warfare of military powers. Taking the adaptive radar countermeasures as an example, this paper analyzes the application of AI key technologies in the radar countermeasures, and proposes some problems that need to be paid attention to and solved in the future development.

Keywords artificial intelligence; electronic warfare; adaptive radar countermeasures ●



(责任编辑 刘志远)