

联合全域作战及其人工智能技术应用探析

陈小瑜, 吴海, 盛骥松, 步新玉

(中国船舶集团有限公司第七二三研究所, 江苏 扬州 225001)

摘要: 近年来, 世界各国竞争加剧, 军事冲突发生风险增加, 各大国纷纷加快军事智能化研究, 提升各军兵种信息化、智能化作战能力。美军经过对作战概念从“多域战”到“多域作战”的探索, 提出了“联合全域作战 (Joint All-Domain Operation, JADO)”的新型作战概念, 并且从理论研究迅速发展到了联合实弹演习, 通过作战试验检验了联合作战能力。本文通过梳理 JADO 的提出背景与发展脉络, 指出 JADO 包含联合全域指挥控制、联合全域态势感知、联合全域火力打击等多个核心能力, 并研究分析了人工智能技术在其中的应用, 包括联合全域指挥控制中的作战筹划、部署准备、作战执行、实时评估和联合全域战斗管理; 联合全域态势感知中的多源异构数据融合、态势信息推理预测与个性化推送; 联合全域火力打击中的复杂约束条件下火力打击资源和打击目标的动态分配等。最后, 指明了未来战争中军事发展的几个趋势, 为未来军事发展研究提供了分析思路。

关键词: 联合全域作战; 人工智能; 联合全域指挥控制; 联合全域态势感知; 联合全域火力打击; 军事智能化

本文著录格式: 陈小瑜, 吴海, 盛骥松, 等. 联合全域作战及其人工智能技术应用探析[J]. 新一代信息技术, 2022, 5(9): 51-57

中图分类号: TN974

文献标识码: A

Analysis of Joint All-Domain Operations and the Applications Within It of Artificial Intelligence Technology

CHEN Xiao-yu, WU Hai, SHENG Ji-song, BU Xin-yu

(The 723 Institute of CSSC, Jiangsu Yangzhou 225001, China)

Abstract: In recent years, as competition among countries around the world intensified and the risk of military conflicts increased, major countries are accelerating research on military intelligence to enhance the information and intelligent operational capabilities of their arms. After several years of exploring the operation concepts from “multi-domain combat” to “multi-domain operation”, the US military has proposed a new operation concept, “joint all-domain operations (JADO)”, and has rapidly developed from theoretical research to joint military exercises. The exercises tested joint combat capabilities. By sorting out the background and development context of JADO, this paper points out that JADO includes multiple core capabilities such as joint all-domain command and control, joint all-domain situational awareness, and joint all-domain firepower strike. And this paper studies and analyzes the application of artificial intelligence technology in JADO, including operational planning, deployment preparation, operational execution, real-time assessment and joint all-domain battle management in joint all-domain command and control; multi-source heterogeneous data fusion, situational information reasoning prediction and personalized push in joint all-domain situational awareness; dynamic allocation of fire strike resource and strike target under complex constraints in joint all-domain fire strike, etc. Finally, several trends of military development in future wars are pointed out, which providing analytical ideas for future military research.

Key words: joint all-domain operations; artificial intelligence; joint all-domain command and control; joint all-domain situational awareness; joint all-domain firepower; military intelligence

Citation: CHEN Xiao-yu, WU Hai, SHENG Ji-song, et al. Analysis of Joint All-Domain Operations and the Applications Within It of Artificial Intelligence Technology[J]. New Generation of Information Technology, 2022, 5(9): 51-57

0 引言

近代以来, 科技发展日新月异, 各种新兴技术不断涌现并在军事领域快速发展应用^[1], 在不同时期催生出了诸如相控阵雷达、隐身飞机、核潜艇、高超音速导弹、无人机等多种新型武器装

备, 它们的出现很可能成为各个时期战场中的制胜法宝, 也程度地塑造了新的作战样式, 从而推动战争形态由机械化、信息化到智能化持续向前发展演变^[2]。在这个过程中, 美俄等世界主要军事强国为了适应自身发展的需要、应对国际形势的变化以及压制竞争对手军事力量的提升等,

不断提出了新的作战概念和相应作战理论,并根据当时技术和武器装备发展水平形成作战条令,指引着各种新型战争的进行,而这些战争的结果往往也会决定世界格局的新走向。可见从技术涌现到装备发展,再到作战概念与理论的演变,以及最终战争结果和国际形势的走向,始终环环相扣、密不可分。因此,对新技术和新作战概念的研究具有重要的军事意义。

新型作战概念对于作战理论的创新研究具有重要的牵引作用,美军向来非常重视对于新型作战概念的研究^[3]。自二战以来,美军不断发展各种新武器,开发各种超前的新型作战概念,从而确保自身在大国博弈中的军事优势。美军曾先后提出过网络中心战、空海一体战、分布式作战、决策中心战、马赛克战等多个作战概念^[4],它们都对作战方式产生过重大影响,增加了竞争对手的应对难度。针对当前复杂多变的国际态势和高速发展的新兴技术,军事发展越来越离不开多维度、多领域的深度交叉,军事打击也更加追求跨域协同和精准高效。2016年,美军提出了“多域战”的作战概念,并逐步发展形成“联合全域作战”(Joint All-Domain Operation, JADO)的新型作战概念,这一新作战概念迅速得到美军各军兵种的广泛认同和接纳,于2020年3月正式纳入空军条令,标志着美军确立了以联合全域作战为未来的主要转型方向^[5]。

另一方面,人工智能技术近十年来经历了爆炸性发展和应用,不仅快速渗透到了多个民用领域,改变着我们的生活,也从各个层面深刻影响了军事技术的发展^[6-7]。因此,人工智能技术与军事领域的深度融合即军事智能化也被认为是未来军事发展的主要方向,多个国家将军事智能化上升为国家战略,发布系列官方文件,并对其持续投入并积极开展广泛深入的研究,近年来世界各国甚至有展开智能军备竞赛的趋势^[8]。当前,以机器学习和深度强化学习为代表的人工智能技术不仅在各类武器装备中得以应用,也在作战体系中有着一多层次多领域的深刻影响,联合全域作战的实现就离不开人工智能技术的广泛应用。通过分析联合全域作战概念,并深入剖析联合全域作战中指挥控制、态势感知和火力打击等方面涉及的人工智能技术,展望联合全域作战和未来战争的未来发展趋势,为应对强敌新型作战模式和探索军事智能化发展路径提供借鉴思路。

1 联合全域作战概念浅析

作战概念是美军从作战构想到作战条令的重要桥梁,美军对作战概念的研究由来已久,且逐步形成了一套完整的军事创新理论体系。

1.1 联合全域作战概念的提出背景

近几十年来,美军一方面积累了丰富的实战经验,另一方面也在不断探索发展多种前沿技术,美军多次基于实战经验并结合最新科学技术大胆创新,探索新的作战构想,不断开发提出各种新型作战概念,用于牵引作战理论创新和指导军事发展转型^[9]。而且,这些新作战概念不仅快速形成了作战理论和条令,还会在之后演习和实战中迅速应用,通过发现不足积累经验逐步完善,从而对作战概念和作战理论完成实战验证和反复迭代,不断推进美军作战理论的改进和实战力量的提升。如美军在海湾战争中验证了空地一体战,在科索沃战争中验证了一体化联合空中打击,在阿富汗战争中验证了无人化空战,在伊拉克战争中验证了网络中心战等等。这种“结合实战与技术创新开发-形成理论并立法推广落地-实战验证并迭代改进”的螺旋式作战概念开发正是美军作战力量得以持续演进提升的关键。

近年来,随着国际形势快速变化和大国竞争烈度显著加大,不稳定因素日益增多,军事冲突的可能性和复杂性都大大增加,同时由于人工智能等新技术持续涌现,高端武器装备的性能显著提升,现代战争的作战样式正在经历新一轮变革,作战空间持续拓展,也不再局限于陆海空天等单一作战域,各域深度交叉协作的趋势日益凸显。在此背景下,美军为应对国际形势并提升与大国竞争的军事优势,产生了跨域作战的构想,以充分发展联合作战能力。而联合全域作战就是美军在这样的大背景下提出的最新核心作战概念。

1.2 联合全域作战概念发展脉络

2016年,美陆军训练与条令司令部时任司令通过公开演讲的方式首先推广了“多域战”(Multi-Domain Battle)这一作战概念,随后美陆军首次在文件《APD3-0:作战概念》中正式提出“多域战”作战概念,引发广泛讨论^[10]。2017年,美军发布了以《多域战:21世纪合成兵种》白皮书为代表的一系列多域战相关文件^[11],涉及多域战概念必要性分析和初步措施方案等内容,形成了多域战概念的雏形。直到同年10月发布的《多域战斗:21世纪合成兵种的演变2025-2040》^[12],阐述了多域联合作战的可能性和必要性,将多域战确立为陆军部队作战和建设的核心作战概念,这一文件也被称为多域战1.0版本。2018年,美陆军将这一作战概念进一步深化完善形成了《多域作战2028》,即多域作战1.5版本^[13]。这一版文件中将“多域战”更名为“多域作战”,并将多域作战概念提升到国家战略层级,明确了多域作战的核心思想、基本原则和战略目标,重点针对中俄等主要竞争对手提出了具有可操作性的详细解决方案和对应的能力建设要点。除了文件法规的

发布, 美军还成立了未来司令部统一管理陆军现代化建设, 组建多域特遣部队测试联合作战能力, 并在 2018 年环太平洋军演中首次开展联合反舰打击演习, 通过多国陆海空军联合实弹打靶初步检验了多域作战概念的可行性, 多域作战由此得到美军各方更加广泛认可和深入的研究^[14]。在此基础上, 美军 2019 年进一步提出“联合全域作战”的概念^[5-15], 提升了多域作战的推行范围和深度, 以期将这种多域联合作战能力拓展到陆地、空中、海上、太空、网络、电磁域等全域作战空间中。2020 年美军明确表示将联合全域作战作为未来军费预算的重点大力发展。同年美空军首次正式将联合全域作战概念写入空军条令, 明确了联合全域作战中空军的各项职责^[5]。之后, 美军从各个层级对联合全域作战概念展开了全面深入的研究。

1.3 联合全域作战核心能力

经过几年的研究发展, 联合全域作战概念已经逐步体系化, 包含了联合作战顶层概念、联合行动概念、联合功能概念和联合集成概念四个层次, 从顶层战略到具体行动形成了较完整的作战理论体系^[9]。具体而言, 联合全域作战是指陆、海、空、天、网、电磁等全域作战资源以精准、高效、智能的方式深度有机协同进行联合作战以实现共同的军事目标, 这要求联合作战全过程的全域作战资源都能按需实时智能组织调度。因此, 联合全域作战在战争中实现克敌制胜的核心能力包括联合全域指挥控制 (Joint All-Domain Command and Control, JADC2), 联合全域态势感知, 联合全域火力打击, 全球公域介入等几个方面。

指挥控制系统是保障作战意图快速准确执行、推动作战系统正常运行的基础, 对于联合全域作战, JADC2 是有效遂行联合作战行动的核心^[16-17]。联合全域态势感知是作战指挥控制及决策的基础支撑, 从全域、多维、全天候感知信息的实时获取、处理、共享, 到作战单元火力打击的指控信息都离不开各种情报和战场态势信息的支撑^[18]。联合全域火力打击是发挥联合作战系统威力的集中体现, 基于 JADC2 和态势感知信息, 可以在全部作战域实施高效精准的杀伤^[19]。全球公域介入能力则为联合全域作战在全球执行作战任务提供了有力保障, 美军的作战力量遍及全球, 执行作战任务的地点也不固定, 要及时调度全球各域作战资源最大化形成战斗力需要全球公域介入能力作为保障。最后, 联合全域作战中的各项决策要考虑和涉及的因素极其复杂多变, 单靠人脑难以胜任, 借助人工智能技术可以更好地实现各个层级的智能化决策^[20]。

2 联合全域作战及其人工智能技术应用

联合全域作战跨越多个作战域, 包含多种作

战要素, 需要多种核心能力, 这都离不开人工智能技术的支撑。因此, 联合全域作战的实现需要从指挥控制, 态势感知, 火力打击等多个方面构建人工智能生态系统。下面从联合全域作战核心能力涉及的几个方面对其人工智能技术应用进行简要分析阐述。

2.1 联合全域指挥控制及其人工智能技术应用

如前所述, JADC2 是有效遂行联合全域作战行动的核心。联合全域作战具有活动范围大, 涉及作战要素多, 战场博弈态势复杂, 作战单元高度分散等突出特点, 更需要强有力的 JADC2 系统作为重要保障, 建立起各项作战决策和行动之间的沟通桥梁。这要求 JADC2 突破传统军兵种及其作战域的限制, 作为有机整体以共同的作战目标为基准进行统一调度协作, 以最优化的方式完成作战任务, 而人工智能技术在 JADC2 的各个环节都起到了重要作用^[21]。

分析 JADC2 中的人工智能技术首先需要建立全域指挥控制活动的一般过程模型。传统上一般通过“观察 (Observe)-判断 (Orient)-决策 (Decide)-行动 (Act)”循环即 OODA 环理论来描述军事作战活动的基本过程, 而对于联合全域作战中的指挥控制系统, OODA 环难以充分地描述和指导其作战筹划、资源协调、综合管理以及效能评估等宏观过程, 这是因为 JADC2 系统相比于单一作战域指挥控制系统的复杂性有了质的提升, 其过程特征也展现出不同的机理, 因此需要建立新的模型来描述和研究。

文献 [22] 提出了“筹划 (Planning)-准备 (Readiness)-执行 (Execution)-评估 (Assessment)”即 PREA 环来描述宏观尺度上指挥控制活动的一般过程。文献 [23] 进一步基于 PREA 环思想, 建立了多域多 PREA 环嵌套模型来描述 JADC2 的机理, 将 JADC2 过程分解为筹划、准备、执行、评估四个交互嵌套的闭环过程。PREA 环的本质是以评估为中心, 建立多域多层级的“筹划-准备-执行”闭环运行过程, 全域和各分域的指挥控制过程形式上都可以分解为 PREA 四个环节, 形成多域多环嵌套结构, 每个具体执行的作战行动中又可以包含多个 OODA 环过程。人工智能技术则在 PREA 环的各个环节中广泛应用, 确保了 JADC2 系统的快速、精准、高效运行。JADC2 的 PREA 环嵌套模型如图 1 所示。

首先在作战筹划环节, 可以通过基于当前背景知识库和历史事件关联或统计数据的认知图谱技术分析推理, 辅助指挥主体充分理解上级作战目标和意图来进行整体谋划设计, 形成更加完备的作战预案。在部署准备环节, 可以利用基于分层任务网络的智能推理技术, 如基于着色 Petri 网的智能算法等, 对作战预案进行多目标最优化任

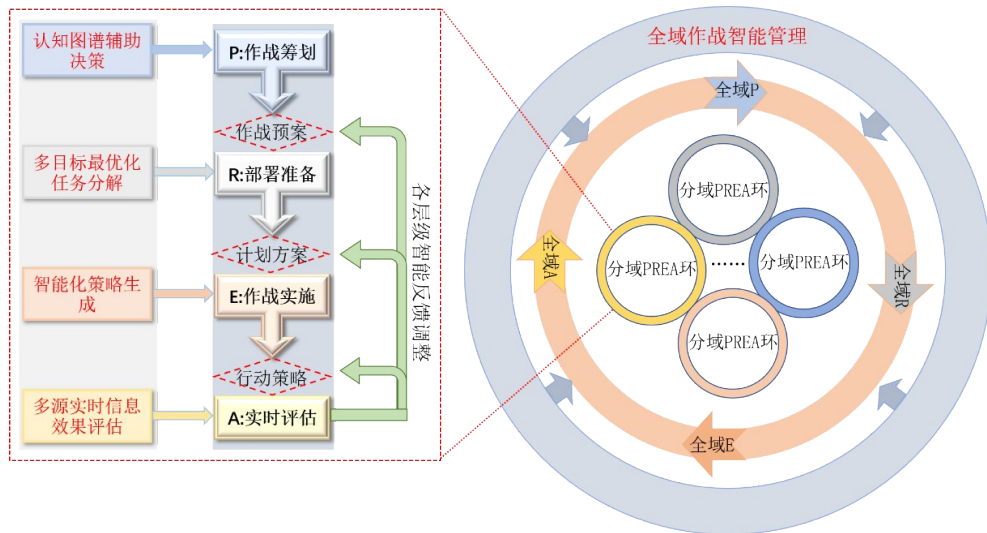


图1 联合全域指挥控制 PREA 环嵌套模型及其人工智能技术

Fig.1 PREA loop nesting model of joint global command and control and its artificial intelligence technology

务分解,充分发挥作战资源的价值,制定各分域作战单元行动的计划方案并进行相应的部署准备工作。在作战实施环节,各作战单元根据上一环节输入的计划方案,结合各自能力边界,利用特定的深度强化学习模型智能生成最优战斗策略对战场进行快速响应。同时智能评估系统基于多源实时态势信息对作战效果持续进行动态评估,并根据评估结果对行动策略、计划方案以及作战预案进行实时分层级反馈调整,以实现对战场的整个过程智能控制^[24]。

除了 PREA 各环节中的人工智能技术,联合全域战斗管理系统中同样应用了人工智能技术,以实现对战场的资源、行动要素和作战进程的全面管理,同时对各分域作战资源产生冲突时进行智能跨域协调和统筹。在概念研究的基础上,美军对 JADC2 进行了各种新项目的开发,以加快向作战能力的转化^[25]。美空军 2021 年就交付了具备智能化辅助决策等多种先进能力的“先进作战管理系统 (ABMS)”,经过多轮开发和试验后,正在快速形成作战能力^[26]。

2.2 联合全域态势感知及其人工智能技术应用

态势感知是现代战场中利用战场数据和信息指导作战的必要手段,通常包含对各种战场数据和信息的感知、理解和预测三种层级,并以战场态势图的形式服务于作战。而战场数据和信息的来源十分广泛,既包括各种情报、监视和侦察 (ISR) 系统,也有作战专家的战场知识等。传统上态势感知信息非常依赖于人的主观判断,处理难度较大,准确度也不足,随着军事信息化和智能化的快速发展,态势感知系统也在变得更加智能,发挥的作用也越来越大^[18]。

联合全域作战相比于单域作战面临的态势感

知问题更加复杂,其涉及作战域和作战要素更多,战场形势更加瞬息万变,态势信息更加错综复杂。联合全域态势感知体系要处理的态势信息往往来源分散且碎片化,多元异构不确定性大,实时快变维度复杂。因此,联合全域态势感知在数据融合、认知分析、推理预测及服务应用等多个方面都面临巨大挑战,人工智能技术在联合全域态势感知中的应用也成为必然选择^[27]。

联合全域态势感知要求信息要素多样、表达形式多种、服务按需动态设计,文献[28]提出建立战场全息地图的方式来动态、全息地表达态势感知信息,将人工智能技术应用于面向联合全域的态势感知体系中。战场全息地图的“动态”包含对作战人员态势信息需求的动态分析,实时战场信息的动态处理以及基于需求对表达形式的动态设计,而“全息”是指针对语法、语义和语用的“全信息”在信息来源与内容和表达方式与符号语言方面都做到全面。为实现这种全天候、多维度准确满足全域作战态势信息需求的战场全息地图,首先需要基于知识图谱与机器学习等人工智能技术实现多源异构非结构化数据融合分析,将混杂的战场信息统一融合为标准的结构化信息,其中,知识图谱构建可扩展、可推理的智能知识库,结合机器学习的智能分析能力,实现多源异构非结构化数据的融合分析。然后,基于情境要素模型利用人工智能技术实现态势感知系统的情境感知与推理能力,使系统理解战场情景并能根据需要进行智能推理预测,这通常要用到深度学习技术,对实时大数据的高维特征智能提取分析。最后,基于深度强化学习技术,根据各作战单元需要实时智能生成并自动推送战场全息地图给各个终端用户,满足个性化态势服务需求。由此实现了以战场全息地图的方式智能地生成、表达和

利用全域态势感知信息, 为联合作战提供有力的信息和认知支撑能力。

2021 年, 美军就在“会聚工程 2021 (Project Convergence 2021)”能力演示试验中, 通过作战演习检验了智能化战场态势生成与理解等关键技术以及联合全域态势感知、智能化自主化情报侦察等作战场景^[29]。同年, 美军发布了首个开放式体系架构军用传感器标准——SOSATM 参考体系架构技术标准 1.0 版, 为指挥、控制、通信、计算机、网络、情报、监视和侦察 (C⁵ISR) 的开发提供了支撑, 加快了美军联合全域态势感知装备的研制^[30]。

2.3 联合全域火力打击及其人工智能技术应用

火力打击是战争双方发生军事冲突的最直接体现, 也是发挥战斗效能、毁伤敌方目标的最终形式, 通常要综合考虑目标价值、出动平台、打击顺序、击中概率、威胁等级、毁伤效果、费效比、战损比等多种因素, 力争以最小代价实现最大对敌毁伤效果。联合全域作战中的火力打击还涉及各域多军兵种协同配合, 作战资源统筹调度, 远程火力跨域引导等更多复杂因素, 需要在 JADC2 和态势感知系统的基础上, 根据潜在打击目标清单的数量、价值和特点, 以实时战场态势和敌我动态博弈情况为约束条件, 借助人工智能技术生成最优火力资源调度策略, 动态分配火力打击资源和对应目标, 以实现联合全域火力打击效能的最大化。同时, 联合全域火力打击系统还需要在火力打击过程中, 实时评估预测打击目标毁伤程度及己方弹药使用需求情况, 以迅速决策是否实施多波次打击, 确保实现预期打击效果。

其中, 复杂约束条件下火力打击资源和打击目标的最优动态分配问题是联合全域火力打击的关键, 这在军事运筹学领域是一个 NP 完全问题。对于这种问题的求解, 国内外已有较多研究, 一般采用以遗传算法为典型代表的各种智能优化算法, 如遗传算法、模拟退火算法、蜂群算法、蚁群算法、粒子群算法等, 以及数据和知识协同驱动的深度学习方法等人工智能方法^[31-32]。除此之外, 对打击目标毁伤程度的实时评估甚至预测也离不开人工智能技术, 通过机器学习与强化学习等人工智能技术, 结合联合全域态势感知的 ISR 系统, 可实时远程推测评估每次火力打击的毁伤效果, 为进一步打击的决策提供有效依据。因此, 人工智能技术的应用是处理联合全域火力打击问题的关键。

基于这些人工智能技术, 联合全域火力打击可构建智能闭环杀伤链, 大大提升目标判别准确度、定位跟踪稳定度、决策过程速度和火力杀伤精度, 形成覆盖全域的智能化杀伤能力, 尤其对时敏目标产生了巨大的杀伤威胁^[33]。另外, 联合

全域火力打击链中还可以应用智能弹药, 如 LRASM 反舰导弹等, 进一步提升火力打击的隐蔽性和成功率。

目前, 国内对这方面的问题以理论和仿真研究为主, 如文献[31-32]分别提出了信息素遗传算法和进化粒子群算法等智能优化算法用于联合火力打击任务规划, 提高了算法收敛效率和全局寻优能力。美军则更注重实战能力的形成, 目前已经开展了联合火力打击作战杀伤链相关科目的演习训练, 如在“会聚工程 2021”演习中, 演练了完整的多域协同智能化联合火力打击。其主要实现过程是, 联合指控中心采用综合防空与导弹防御作战指挥系统 (IBCS), 对长航时无人机和 F35C 战机等实时获取的以及低轨通信/中继卫星传来的多源 ISR 态势信息进行智能融合分析, 并将联合态势感知处理结果提供给战术级联合火力打击中心, 即战术情报目标访问节点 (TITAN) 系统, 利用其中的人工智能程序 SHOT 实现联合火力打击的自主动态规划与武器选择, 快速完成精准远程火力打击, 实现了联合火力打击的智能闭环。“会聚工程 2022”还将对此类科目开展进一步深化演练试验^[34]。

3 未来发展趋势

联合全域作战作为美军当前最新军事发展和转型方向的新型作战概念, 经过几年的探索研究, 已经在美军几大军兵种得到全面推广并在实弹演习中取得了阶段性进展。近年来, 国内对联合全域作战概念也在快速跟进, 展开了广泛的理论和仿真研究, 不断提升对这一新作战概念的认知。同时, 随着人工智能等前沿技术的飞速发展, 军事发展正在朝着信息化、智能化、无人化等方向快速演进, 多种前沿技术也正在被快速应用于军事领域^[35]。未来军事发展呈现以下几种趋势。

(1) JADO 将成为未来大国军事斗争中的典型作战样式之一。随着世界各国博弈态势的不断复杂化, 单一作战域难以应对各大国之间的多维度混合对抗。在可预见的未来, JADO 在大国参与的军事斗争中将成为典型的作战样式之一, 陆、海、空、天、网、电磁等多个作战域的交叉融合发展程度将快速提升。

(2) 智能化技术的应用深度和广度将成为提升战斗力的关键。在 JADO 中的 JADC2、态势感知及火力打击等多个方面, 人工智能技术都将在其中发挥关键作用, 甚至给对手造成降维打击, 显著提升克敌制胜的能力。

(3) 未来战争中无人化装备与反无人系统的对抗强度将显著提高。未来作战系统与武器装备能力的快速提升和智能化程度的大幅提高, 也将使指控中心对武器装备的控制权限不断下放, 越

来越多的智能无人化装备将在战争中发挥更加显著的作用,无人化装备的广泛使用也是军事智能化发展中的主要表现形态之一^[36]。另一方面,反无人系统也将快速发展,成为克制无人化装备的关键,从而不断提升无人化装备与反无人系统的对抗强度。

(4) 未来态势感知系统的能力范围将快速拓展。态势感知系统也将随人工智能技术的发展而加强,不断将海陆空天网等更多来源、更多种类的信息深度整合到系统中,提升信息融合与分析能力。未来诸如美国星链系统等多种新型态势感知方式的大力发展将极大拓展态势感知系统的能力范围,给侦察与反侦察带来新的挑战。

4 结束语

技术发展速度的加快也推动着军事转型的脚步持续向前,美军在当前复杂多变的国际形势下提出了联合全域作战概念牵引陆海空天网等作战领域的深度融合发展。作为美军未来军事转型的主要方向,联合全域作战自提出以来便备受重视,经过几年时间的大力投入已经取得了阶段性进展。

通过梳理美军作战概念从“多域战”到“联合全域作战”的发展脉络,厘清了联合全域作战概念的提出背景和发展逻辑。进一步从联合全域指挥控制、态势感知、火力打击等多个方面探析了联合全域作战的核心能力,并分析了人工智能技术在其中的具体应用,展望了联合全域作战军事转型及未来战争的发展趋势。未来大国竞争的博弈强度和对抗烈度都可能显著增加,为应对潜在的军事冲突、守护国家安全和利益,必须加快提升军队战斗力,分析美军向联合全域作战转型的发展过程和动向可以带来有益的启发。

参考文献

- [1] 秦浩,刘凌旗,栾添,等. 2021 年世界网信前沿技术领域发展综述[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(4): 354-361.
- [2] 尤嵩菀,王文龙. 美俄军事智能化发展及启示[J]. 海军工程大学学报: 综合版, 2020, 17(2): 64-69.
- [3] 郭齐胜,田明虎,穆歌,等. 装备作战概念及其设计方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2015, 29(2): 7-10.
- [4] 齐嘉兴,杨继坤. 美军作战概念发展及其逻辑[J]. 战术导弹技术, 2022(1): 97-105.
- [5] 陈彩辉,线珊珊. 美军“联合全域作战(JADO)”概念浅析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15(10): 917-921.
- [6] 王彬,李海岩,王玉林. 未来空天领域中的人工智能技术展望[J]. 指挥与控制学报, 2020, 6(4): 349-355.
- [7] 房超,薛颖,李川. 基于系统工程思想的军事智能技术体系框架研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2022, 36(1): 75-80.
- [8] 单博楠. 美军人工智能战略与规划综述[J]. 电子技术与软件工程, 2019(12): 242-244.
- [9] 杜国红. 美军作战概念开发特点及启示[J]. 国防科技, 2020, 41

- (4): 52-57.
- [10] 王璐菲. 美陆军“多域战”概念在各军种间凝聚人气[J]. 防务视点, 2017(9): 58.
- [11] 王璐菲. 美军《“多域战”: 21 世纪合成兵种》白皮书[J]. 防务视点, 2017(9): 60-61.
- [12] 李白. 美军推行“全域战”的内在逻辑探析[J]. 军事文摘, 2020 (19): 54-57.
- [13] 叶秋玲,汪强. 美军发布多域作战概念最新 1.5 版本[J]. 军事文摘, 2019(3): 51-54.
- [14] 庞娟,文苏丽. 美国陆军多域作战概念发展分析[J]. 飞航导弹, 2019(12): 55-57, 72.
- [15] 太阳谷. 美军联合全域作战探索路线浅析[J]. 军事文摘, 2020 (23): 32-34
- [16] 张维明,黄松平,黄金才,等. 多域作战及其指挥控制问题探析[J]. 指挥信息系统与技术, 2020, 11(1): 1-6.
- [17] 高一丹,辛昕. 美军联合全域指挥控制探析[J]. 飞航导弹, 2021(9): 84-89.
- [18] 张佳琦,鹿瑶,张修社. 多域一体化作战下的多源异类信息融合研究概述[J]. 现代导航, 2020, 11(1): 26-30.
- [19] 苟子奕,韩春阳. 美陆军杀伤链作战体系建设发展探析——以“项目融合”演习为例[J]. 军事文摘, 2021(3): 19-24.
- [20] 刘科. 美军联合全域作战指挥体系的理论思考[J]. 中国电子科学研究院学报, 2021, 16(7): 722-727.
- [21] 郑少秋,吴浩,梁汝鹏,等. 智能化作战及其智能指挥控制技术需求[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(2): 1-6, 13.
- [22] 阳东升,朱承,肖卫东,等. 宏观尺度 C2 过程机理:多域多 PREA 环及其冲突协调模型[J]. 指挥与控制学报, 2021, 7(1): 11-27.
- [23] 易侃,钟元芾,曾逸凡,等. 联合全域指挥与控制机理模型及应用分析[J]. 指挥与控制学报, 2022, 8(1): 1-13.
- [24] 曹雷,孙彧,陈希亮,等. 联合作战任务智能规划关键技术及其应用思考[J]. 国防科技, 2020, 41(3): 49-56.
- [25] 李皓昱. 2021 年世界军事指挥控制领域发展分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(4): 317-323.
- [26] 方芳,李晓文,李硕. 美军联合全域指挥控制发展动向及影响分析[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(4): 1-4
- [27] 刘伟,王赛涵,辛益博,等. 深度态势感知与智能化战争[J]. 国防科技, 2021, 42(3): 9-17.
- [28] 贾奋励,王光霞,田江鹏,等. 面向全域作战态势感知的战场全息地图[J]. 指挥与控制学报, 2022, 8(1): 30-36.
- [29] 方芳,彭玉婷. 2021 年外军信息系统领域发展综述[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(4): 311-316.
- [30] 郭敏洁. 2021 年外军情报侦察领域发展综述[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(4): 324-328.
- [31] 邢岩,刘昊,吴世杰. 基于信息素遗传算法的联合火力打击任务规划[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(8): 169-175, 192
- [32] 刘昊,宋敬峰,陈超. 基于进化粒子群算法的联合火力打击任务规划方法[J]. 舰船电子工程, 2020, 40(4): 21-26, 47.
- [33] 马之璇. 从美军杀伤链流程看人工智能的应用[J]. 军事文摘, 2021(3): 31-36.
- [34] 江宁. 20 秒内开火——美陆军“项目融合”演习及相关技术发展[J]. 兵器, 2021(2): 26-29.
- [35] 吴明曦. 智能化战争时代正在加速到来[J]. 学术前沿, 2021

(10): 35-55.

- [36] 张明杰, 盛耀威. 智能化作战条件下的无人机系统应用及其关键技术[J]. 甘肃科技, 2021, 37(4): 65-67.



陈小瑜(1992-)男, 博士, 工程师, 研究方向: 电子对抗总体技术、认知电子战。

吴海(1975-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 雷达总体技术、电子对抗总体技术。

盛骥松(1968-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 电子对抗总体技术。

步新玉(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 电子对抗总体技术。