

DOI:10.16356/j.1005-2615.2022.05.009

未来智能跨域弹性防御体系展望及关键技术分析

王波兰¹, 刘瑞², 高璞²

(1. 上海航天技术研究院, 上海 201109; 2. 上海机电工程研究所, 上海 201100)

摘要: 智能化赋能、全维度攻防、弹性分布式协同已经成为未来攻防对抗作战体系发展的重要方向, 面向未来全域立体攻防体系对抗, 本文全面分析了未来智能跨域弹性防御作战需求, 提出了未来智能跨域弹性防御体系构建思路和发展趋势, 分析了智能化跨域弹性防御作战的关键技术, 以支持未来智能跨域弹性防御作战体系建设。

关键词: 智能跨域; 分布式协同; 防空反导

中图分类号: V11 文献标志码: A 文章编号: 1005-2615(2022)05-0836-07

Prospect and Key Technology Analysis of Future Intelligent Cross Domain Elastic Defense System

WANG Bolan¹, LIU Rui², GAO Pu²

(1. Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201109, China;

2. Shanghai Electro-mechanical Engineering Institute, Shanghai 201100, China)

Abstract: Intelligent enabling, multi-dimensional attack and defense, and elastic distributed cooperation have become the important directions of the development of the future attack and defense combat system. Facing the future confrontation of the whole domain three-dimensional attack and defense system, this paper comprehensively analyzes the requirements of future intelligent cross domain elastic defense operations, and puts forward the construction ideas and development stages of the future intelligent cross domain elastic defense system. Furthermore, the key technologies of intelligent cross domain elastic defense system are analyzed to support its construction in the future.

Key words: intelligent cross domain; distributed cooperation; air defense and antimissile

随着新一代信息网络、大数据、物联网、人工智能及微电子等先进技术的迅猛发展, 现代战争形态正在发生深刻变化^[1]。以人工智能技术为核心的高新技术逐步加速军事领域智能化赋能, “智能”要素正在取代“信息”要素, 成为引起下一代战争形态发生重大变革的核心特质。在这一趋势下, 智能化作战逐渐从信息化战争中崭露头角^[2]。智能化作

战是以智能化的网络信息体系为依托, 运用智能化武器装备及相应的作战方式, 在以智能算法为核心的指挥控制下, 在多维作战域实施的作战行动^[3]。在智能化战争下, “制智权”已经成为战争制权新的制高点, 以“智能”要素为核心, 基于全域互联的信息网络对多域作战要素进行集成, 逐步形成智能化、分布式、跨域高效协同的新型作战体系。

收稿日期: 2022-08-18; 修订日期: 2022-09-28

作者简介: 王波兰, 女, 研究员, 博士生导师, 南京航空航天大学 96 级校友。历任上海机电工程研究所副所长、所长, 现任上海航天技术研究院副院长, 军委科技委领域专家组副组长, 重点项目首席科学家, 中国航天科技集团有限公司精确制导研发中心常务副主任, 型号总指挥、副总设计师。负责 10 余项装备发展部重点型号、军委科技委和装备发展部重点研发项目。曾荣获国防技术发明一等奖、国防科学技术进步奖一等奖、全国巾帼建功标兵、上海市先进工作者、上海市科技英才等奖项。

通信作者: 王波兰, E-mail: bobo127cn@163.com。

引用格式: 王波兰, 刘瑞, 高璞. 未来智能跨域弹性防御体系展望及关键技术分析[J]. 南京航空航天大学学报, 2022, 54(5): 836-842. WANG Bolan, LIU Rui, GAO Pu. Prospect and key technology analysis of future intelligent cross domain elastic defense system[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2022, 54(5): 836-842.

空天防御体系作战时间敏感性强、技术要求高、协同难度大、系统庞大复杂,天然具有应用人工智能技术的必要性和迫切性^[4]。在当前防空领域,全域一体化联合作战尚处于起步阶段,智能化作战运用技术仍在探索,因此,亟需开展智能跨域弹性防御作战体系研究。通过信息化、网络化和智能化技术,将天、空、地、海、网、电多个作战域分散部署的作战装备要素在信息利用、力量调配、作战指挥等方面进行跨域协同,实现信息广域获取、资源跨域调度的全域一体化协同防御,提升在未来空天防御战争中的体系对抗效能。

1 智能跨域弹性防御体系发展需求

1.1 全域战场体系对抗需求

随着现代化战争战场维度持续延伸,以隐身穿透、有人/无人协同、空天打击、高速远程打击、无人机蜂群等为代表的新型空天进攻作战样式逐步展现,未来空天威胁呈现目标多样、环境复杂、样式多变、体系协同和智能自主等特征,作战领域覆盖陆、海、空、天、电磁、网络、认知等全维作战空间。美军已经提出“多域战”概念,如图 1 所示^[5]。因此,传统以地、海、空基装备为主体,以单一防御武器系统或数型防御武器系统的简单协同作战已经无法满足未来多元高动态防御作战需求,需要探索要素更加齐全、连接更加高效、体系更加灵活、运用更加智

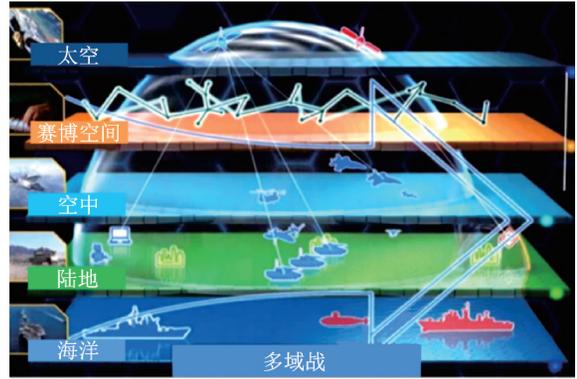


图 1 美军“多域战”概念^[5]

Fig.1 Concept of multi-domain warfare of the US military^[5]

能的智能跨域弹性防御作战体系,满足全域多维空天防御需求^[6]。

1.2 多维态势敏捷认知需求

多域作战推动联合作战力量要素从联合走向融合,使得战场态势变得更复杂、战场态势理解和认知变得越来越困难^[7]。空天防御作战态势感知具有空域广、时敏性强、复杂度高的特点,仅依靠人工处理已无法满足瞬息万变的战场变化,需要利用大数据分析处理、知识图谱建模、多源融合智能识别等技术,基于天、空、地、海全域多维侦察预警信息,进行目标特征挖掘和目标行为意图推理,将海量战场信息转换抽取为作战态势、作战知识、作战认知,实现多维度战场态势广域、敏捷、精准认知和预测,如图 2 所示^[8]。

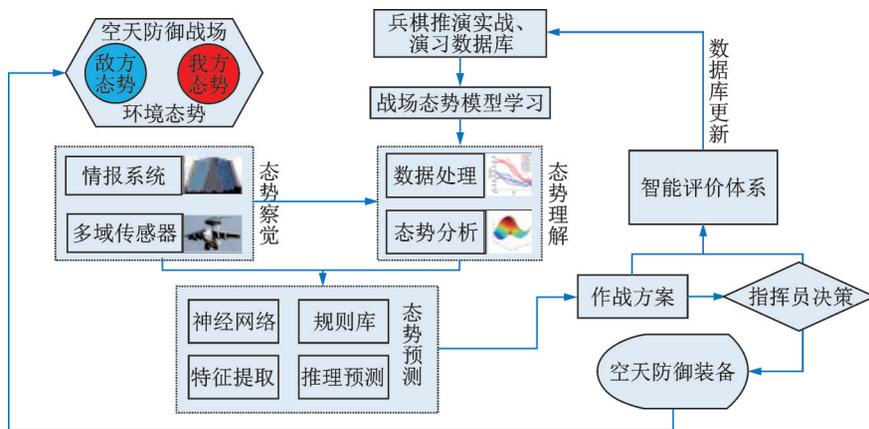


图 2 智能态势认知模型^[8]

Fig.2 Intelligent situation cognition model^[8]

1.3 复杂环境智能博弈需求

现代战争战场维度极大拓展,作战目标急剧增加,战场环境愈发复杂,电磁与认知博弈交织,战场数据量呈现井喷式大爆发,战场态势变化的速度、规模、复杂程度超越了以往任何战争形态,使得战场态势认知、作战指挥决策、全域交战控制、干扰认

知博弈等方面均面临巨大挑战,要求指挥员对环境感知、认知后迅速做出决策,指挥控制作战要素在火力、电磁、认知、协同等多个层面进行全方位、高强度、高动态博弈对抗,在作战体系、装备体系层面,支撑从态势认知、指挥决策、干扰对抗、多弹协同、交战控制等方面实施博弈对抗作战,如图 3 所示^[9]。



图3 智能战场博弈对抗^[9]

Fig.3 Intelligent battlefield game confrontation^[9]



图4 跨域资源协同^[10]

Fig.4 Cross-domain resource cooperation^[10]

1.4 跨域资源弹性协同需求

全域多维空天体系对抗离不开对天基、空基、海基和地基等多域作战资源的高效管控和综合运用,是攻防作战体系双方基于有限资源的集成运用能力的比拼。作战体系需要利用网络化、智能化技术对不同领域、不同空间、不同功能、不同层次及不同体制的作战单元进行统一管控、灵活调度、智能适配,形成统一、全维、多能的高效融合作战体系,将“观察-判断-决策-打击”的循环时间缩短到近乎即时响应,实现各类作战资源跨域弹性协同、作战信息全域快速流转、打击火力精准投送释放,实现作战决策和作战行动的跨代跃升,如图4所示^[10]。

2 智能跨域弹性防御体系发展趋势

未来智能跨域弹性防御体系需要具备架构开放弹性、态势智能认知、网络随遇接入、智能自主决策、全域火力拦截等特征,依托跨域分布式的智能体系架构完成对多域作战要素的智能跨域弹性运

用,最终实现侦察预警自主灵敏、指挥控制智能高效、火力打击自主协同。

2.1 发展趋势

(1) 开放式自适应体系架构

信息化战争核心竞争力是体系,智能化战争更是如此^[11-13]。智能跨域弹性防御体系作战的基础是构建以全域自主智能为核心、以要素分布协同为形态、以跨域多能作战为样式的架构开放、弹性适变、分布协同的“云-边-端”体系架构,能够适应天、空、地、海多域分散部署的探测、火力作战单元随遇接入,基于任务需求自主重组自主适配,支持作战信息按需共享,作战资源按需聚优,作战力量按需释能。体系架构具备在线升级、弹性抗毁能力,能够随着作战单元替换、链路重组、软件升级实现架构升级;当某一作战单元受损失能时,可通过架构动态重组、功能在线定义等方式实现作战功能快速恢复。开放式自适应体系架构如图5所示。

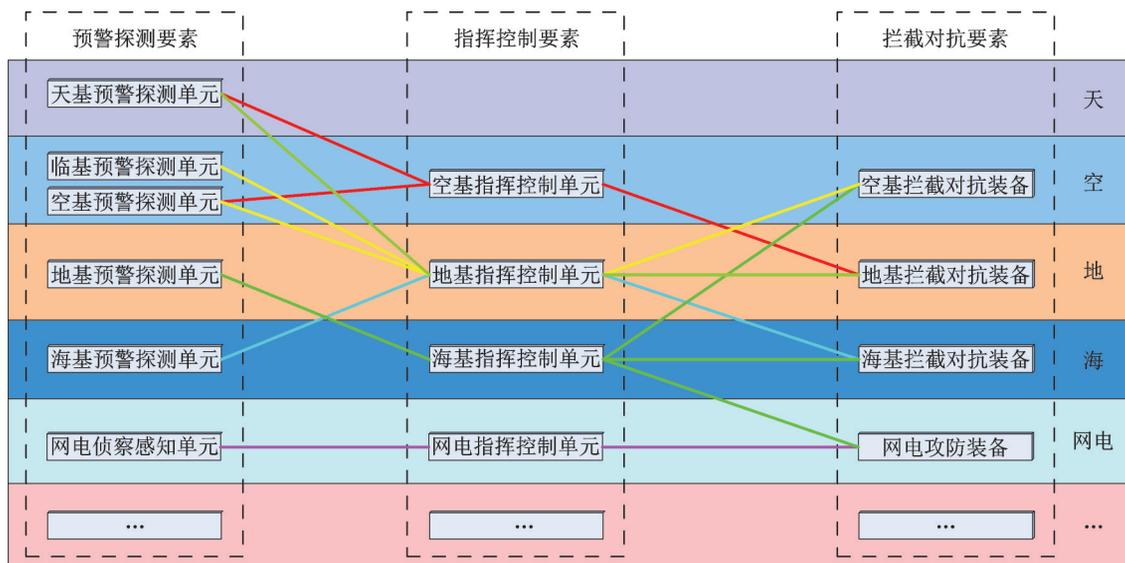


图5 开放式自适应体系架构

Fig.5 Open adaptive architecture

(2) 智能跨域弹性预警探测

未来防空作战体系应融合利用天、空、地、海的各个探测节点的信息资源,构建全方位、分布式、多维度协同的智能跨域弹性预警探测网。预警探测通过多域分布式协同探测、多源异构信息态势融合、智能化认知推理等技术,对多源情报的融合整编、对比印证和深度挖掘,构建起全面立体的数字化战场态势图,获取隐藏在复杂战场态势背后的深层次有效信息,实现对战场态势的全域、实时、精准感知,支撑对战场态势的更高层次的理解、分析、推理、演化,为作战行动提供全域多维、精准可靠的信息和认知支撑。

(3) 自组织接入弹性信息网络

未来智能跨域弹性作战将使用大量广域分布的智能化探测、火力单元,需要构建全域覆盖、快捷组网、自适应重构的自组织随遇接入信息网络(图6),支撑分布式部署的探测端、指挥端和火力端的信息互联互通,并能实现各类资源“即插即用”“随机接入”。自组织随遇接入信息网络依托云计算、大数据技术,构建基于端的局域信息网络和基于云的全域信息网络,各指挥中心可通过基于云的全域信息网络获取统一态势信息、生成资源分配计划,并通过基于端的局域信息网络传输至各作战节点,可为探测、指挥、制导等多维信息的按需分配与快速分发提供基础保障,实现跨域作战单元间的信息共享、任务定制、自主编组、灵活协同。

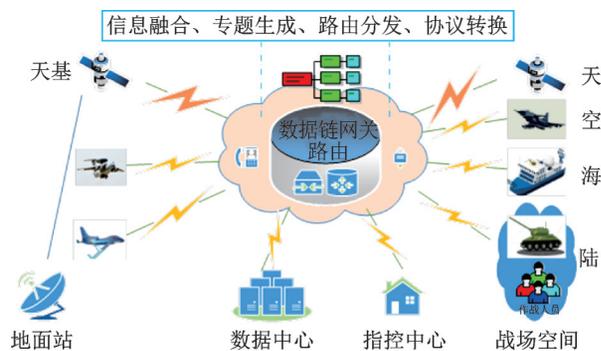


图6 自组织随遇接入信息网络

Fig.6 Self-organized random access to information network

(4) 智能全域敏捷指挥控制

“兵之情主速”,军事智能化的飞速发展加速了观察-判断-决策-行动(Observable-orient-decide-act, OODA)杀伤链循环,使“发现即摧毁”成为可能^[14]。智能全域敏捷指挥控制可依托智能化敏捷作战管理系统,对作战体系内分散部署的侦察、预警、探测、指挥、火力、制导等要素进行解耦、虚拟化、按需接入和管理,实现战场精细化管控和敏捷

化指挥控制。采用智能动态决策模型构建、智能化认知推理、多维度作战效能评估以及人机融合指挥控制等方法,同时充分发挥人脑与机器智能的互补优势,实现指挥艺术与技术的融合,使作战指挥控制走向高度科学化、智能化、艺术化,使广域分布、海量协同的作战单元实现分布式智能协同、跨域灵活聚合,快速精准释放作战效能,瓦解敌方作战体系关键节点链条,或形成全方位的体系压倒优势,实现智能决策、敏捷控制下的体系制胜。

(5) 全域分布协同拦截对抗

未来防空体系作战面对的是全空域、全维度、体系化的空天攻击,面向多样化来袭目标,需要统筹发展具备多样化功能的跨域多能武器装备,围绕形成全域封控、紧前拦截、协同高效的拦截对抗能力,以多任务作战装备为核心,将火炮、电子对抗、激光、高功率微波等多体制拦截对抗装备快速组网,基于随遇接入信息网络形成“分布式部署、模块化编组、跨域式协同、机动式打击”的新质力量体系,按照“谁合适、谁主导,谁有利、谁打击”的原则,基于作战任务迅即组合,实现全域拦截对抗作战的整体联动和聚优释能。

2.2 发展阶段

按照智能化技术应用于空天防御作战体系的程度和发挥的效能,未来智能跨域弹性防御体系发展可分为3个阶段:

(1)技术创新、单点赋能:初步构建开放兼容的自适应体系架构,以现有装备为基础,进行智能化改造,利用大数据分析、自然语义识别、深度强化学习等人工智能技术对目标识别、威胁排序、任务规划、自适应抗干扰等预警探测、指挥控制单点技术进行智能化赋能,实现复杂战场态势全域感知、拦截策略自主规划等能力,以及装备和作战体系局部智能化。

(2)体系集成、综合智能:构建开放式智能自适应作战体系架构,引入无人机、无人艇、智能导弹、智能车等无人化装备,重点突破智能化态势认知、智能化作战决策、作战资源智能管理等技术,提升作战指挥控制系统的作战管理、智能控制、综合服务能力,对有人、无人装备进行体系系统集成,实现传感器与武器网络感知融合,通过体系集成运用实现智能化方面综合作战能力。

(3)万物智联、全域智能:升级开放式智能自适应作战体系架构,基于随遇接入、动态适应的物联网,实现天-空-地-海基有人、无人作战单元的智能连接,实现作战信息的按需快速流转和作战资源的动态适配,突破集群博弈对抗、智能组网协同等技

术,通过各作战单元的弹性互联和智能协同,构建智能高效、弹性抗毁的杀伤网,实现全域智能协同作战。

3 智能跨域弹性防御关键技术分析

3.1 开放式自适应体系架构设计技术

开放式动态自适应体系架构重点是基于“云-边-端”体系架构和高动态自适应战场物联网,使作战体系具备自主学习、自主演化能力,采用接口标准化设计、功能在线定义、模块化单元拼接、信息网络多路备份、指挥关系动态重组等技术,支持各型作战单元兼容接入、弹性互联、自组织协调,实现传感器、拦截对抗单元以及指控关系根据作战任务、作战环境、交战规则快速重构,促进装备体系适应不断变化的战场环境,构建面向任务需求的最优杀伤链,实现从作战装备、装备体系到作战体系的全系统智能演化。美军正在发展的“马赛克战”等作战概念(图7)^[15]即采用开放式自适应体系架构,具备显著的分布式、弹性化特征,支持各类资源即插即用、随遇接入,动态构建杀伤网^[16]。

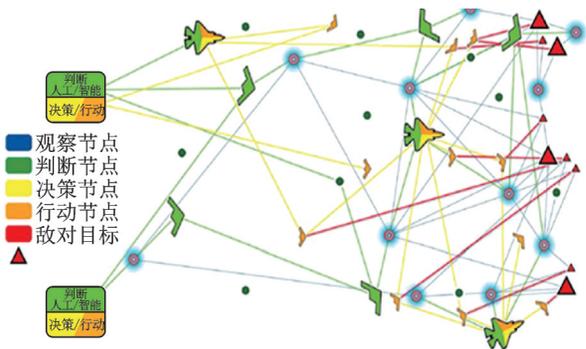


图7 “马赛克战”作战概念体系架构^[15]

Fig.7 Conceptual architecture of “Mosaic warfare”^[15]

3.2 分布式协同态势认知技术

分布式协同态势认知技术通过网络化协同、智能化管控技术将天、空、地、海各域探测装备自适应组成分布式协同探测网络,实现全方位、多维度全域战场态势感知;通过对各传感器进行时空配准、异构信息映射与目标航迹关联,实现多源信息态势融合;通过基于多维特征关联融合识别、数据特征深度挖掘,实现复杂环境下的目标智能识别;通过智能学习算法对目标特性与目标意图进行学习判断,实现智能化态势认知和预测,精准判断对方作战意图,支撑实现智能作战决策。美军已经通过CEC、NIFC-CA系统等实现了空海分布式协同探测和态势融合感知,如图8所示^[17]。



图8 分布式协同探测网络^[17]

Fig.8 Distributed cooperative detection network^[17]

3.3 体系要素动态管理与功能重构技术

通过采用作战资源虚拟化管控技术,构建作战要素资源池和资源智能调度匹配模型,基于泛在物联网和云平台,信息物理系统与多域作战资源互联,对探测、指控、火力、干扰等各类资源进行一体化综合管控和智能适配,如图9所示。基于智能化技术,根据体系作战需求自适应改变作战单元执行的主要功能任务,智能匹配体系作战任务需求。基于深度强化学习等技术,实现智能技术与指挥艺术的融合,提升复杂战场态势下作战单元和作战体系的动态博弈对抗水平,压缩指挥控制层级和OODA循环周期,大幅提升敏捷作战指挥控制能力^[18]。美军正在寻求具备全域化、网络化、智能化特征的联合全域指挥与控制(JADC2),并以其为核心构建新一代全域分布、智能敏捷作战体系,对跨军兵种作战传感器、武器进行动态管理,有效缩短OODA周期和优化杀伤链。

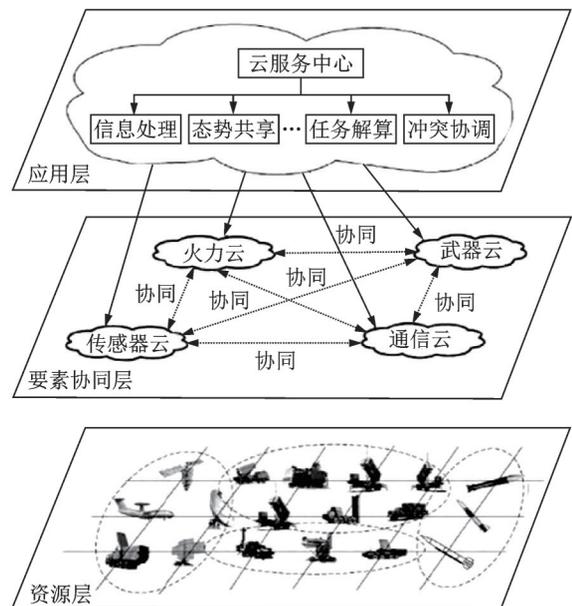


图9 作战资源虚拟化管控

Fig.9 Virtual management and control of combat resources

3.4 跨域飞行器变外形总体设计技术

跨域飞行器变外形设计依赖智能材料或结构变形,主要根据飞行速度、所在空域和性能需求快速自适应地改变气动布局以适应不同空域跨域变速飞行,如图10所示^[19]。通过变体结构设计、智能感知蒙皮、柔性微电子封装等方法,实现飞行器结构、外形自适应变形。同时,需要发展轻质变形驱动机构设计与控制技术满足变形结构对大驱动力、快速响应、高精度、循环响应的需求,支撑未来跨域飞行器变外形总体设计。如美国洛马公司“折叠机翼”方案按照典型的“高-低-高”任务剖面跨域飞行时任务航程可增加30%~50%。

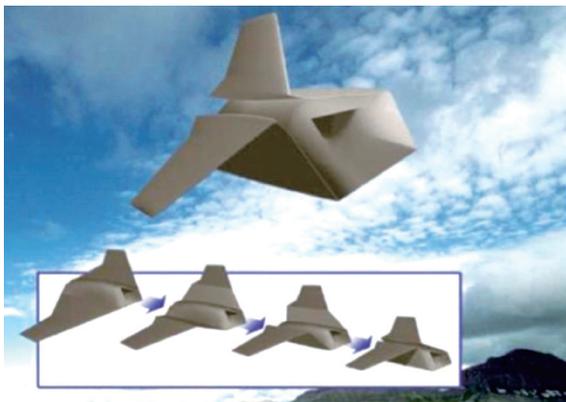


图10 智能变结构飞行器示意图^[19]

Fig.10 Schematic diagram of intelligent variable structure aircraft^[19]

3.5 智能化弹上综合电子集成技术

面向未来智能导弹一体化作战需求,通过“孔径综合+通道综合+处理综合”途径实现侦察感知、主动探测、被动探测、主动干扰及弹间通信多功能一体化小型化集成,采用波形、频率、信道及处理可重构技术,共用处理资源,通过全局可重构和局部可重构方式满足不同功能任务处理需求,实现作战态势在线感知识别和任务在线重构,自适应优化配置资源确保对各类作战目标的精准拦截打击。波音公司T3导弹电子系统采用集成化、小型化设计程度更高的综合集成设计,并引入智能化处理算法,以实现导弹的小型化和多任务作战能力。

3.6 分布式智能协同制导控制技术

面向未来分布式跨域协同作战多装备制导需求,重点突破网络化协同制导、异构多源信息融合制导、智能调控和灵活重构等技术,将天、空、地、海各类探测资源有序规划,实现网络化协同接力制导,大幅拓展作战空间范围,进一步增强制导信息的完整性和准确性,提升集群对抗博弈能力,实现复杂战场环境下智能集群协同作战。如美军最新发展的具备智能化特征的远程反舰导弹(Long

range anti-ship missile, LRASM)(图11)^[20]、“小精灵”无人机等^[21],可通过多弹协同探测、制导、控制,实现编队或集群协同作战^[22]。

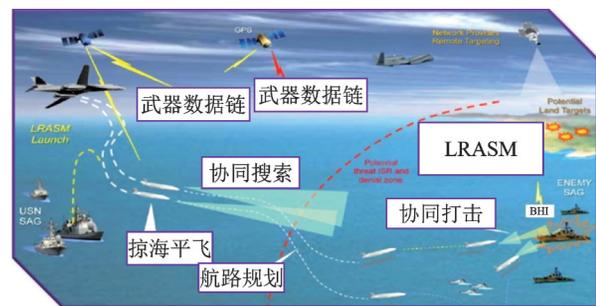


图11 LRASM智能协同作战^[20]

Fig.11 LRASM intelligent cooperative warfare^[20]

4 结 论

智能跨域弹性防御体系是应对未来全域多维空天威胁、制胜空天的关键。为支撑未来智能跨域弹性防御体系构建,本文从未来空天防御作战需求出发,借鉴国外智能跨域弹性作战体系发展特点,在体系构建、预警探测、信息网络、指挥控制、拦截对抗等方面分别提出相应的发展设想,并分析了智能化跨域弹性防御作战的关键技术,为智能跨域弹性防御作战体系建设和发展夯实基础。

参考文献:

- [1] 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): 1-8, 29.
HUAI Zepeng, GONG Min, CHEN Ke. Study of future war form development[J]. Tactical Missile Technology, 2018(1): 1-8, 29.
- [2] 赵先刚, 周毅斌, 李博涵. 解析智能化作战呈现形态[N]. 解放军报, 2022-02-24.
- [3] 赵小康, 张伟. 把准智能化战争新特征[N]. 解放军报, 2021-07-13.
- [4] 文谦, 张为华, 武泽平, 等. 人工智能对导弹武器装备发展及未来战争影响[J]. 弹箭与制导学报, 2021, 41(2): 6-9.
WEN Qian, ZHANG Weihua, WU Zeping, et al. Impact of artificial intelligence technology on the development of missile weapon equipment and future war[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2021, 41(2): 6-9.
- [5] 张宏俊. 空天一体联合体系作战及其技术展望[J]. 上海航天(中英文), 2021(3): 1-7.
ZHANG Hongjun. Combat and technology prospect of air and space integrated operation system[J]. Aerospace Shanghai (Chinese & English), 2021(3): 1-7.
- [6] 张曼曼, 姜毅, 杨昌志, 等. 未来空战对抗环境及作战样式研究[J]. 空天防御, 2021, 4(3): 105-109.

- ZHANG Manman, JIANG Yi, YANG Changzhi, et al. Confrontation environment and combat mode of future air combat[J]. *Air & Space Defense*, 2021, 4(3): 105-109.
- [7] 李婷婷,刁联旺. 智能化态势认知技术与发展建议[J]. *指挥信息系统与技术*, 2020, 11(2): 55-58.
LI Tingting, DIAO Lianwang. Technology and development recommendations for intelligent situation[J]. *Command Information System and Technology*, 2020, 11(2): 55-58.
- [8] 王波兰. 智能博弈趋势下未来空天防御体系展望[J]. *上海航天(中英文)*, 2021(3): 46-52.
WANG Bolan. Outlook of future aerospace defense system under the intelligent game trend[J]. *Aerospace Shanghai (Chinese & English)*, 2021(3): 46-52.
- [9] 崔媛. 无人机集群作战, $1+1>2$ 还是 $N-1=0$ [EB/OL]. (2020-06-26). https://www.thepaper.cn/news-Detail_forward_8000281.
- [10] 军事文摘. 美军测试联合全域指挥控制信息系统 [EB/OL]. (2021-01-30). https://www.sohu.com/a/447689653_743125.
- [11] 谢恺, 张东润, 梁小平. 透视智能化战争制胜机理嬗变[N]. *解放军报*, 2022-04-26.
- [12] 冯杰鸿. 体系智能化发展趋势及其关键技术[J]. *现代防御技术*, 2020, 48(2): 1-6, 14.
FENG Jiehong. Development tendency and key technology of system intellectualization[J]. *Modern Defence Technology*, 2020, 48(2): 1-6, 14.
- [13] 李锦星, 郭舜. 浅析联合全域作战[N]. *光明军事*, 2021-07-05.
- [14] 郭明. 关于智能化战争的基本认知[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2021(10): 14-21.
GUO Ming. Basic understandings of the intelligent wars[J]. *Frontiers*, 2021(10): 14-21.
- [15] 郭彦江. 美国马赛克战概念发展分析 [EB/OL]. (2020-04-02). <https://mp.weixin.qq.com/s/KN2Ip4clB2BS2Lbld5Lo6A>.
- [16] 顾灏冰, 田少华, 周丹发, 等. 基于OODA环的马赛克战理念及关键技术分析[J]. *空天防御*, 2021, 4(3): 65-69.
GU Haobing, TIAN Shaohua, ZHOU Danfa, et al. Analysis of mosaic warfare concept and key technologies based on OODA loop[J]. *Air & Space Defense*, 2021, 4(3): 65-69.
- [17] 中国航空新闻. 网危机解除? 欧洲“未来空战系统”计划难在何处 [EB/OL]. (2021-04-23). http://www.cannews.com.cn/2021/04/23/wap_99324909.html.
- [18] 付强, 王刚, 范成礼, 等. 防空反导智能指控系统作战需求研究[J]. *火力与指挥控制*, 2020, 45(2): 28-31.
FU Qiang, WANG Gang, FAN Chengli, et al. Research on combat demand of air defense anti-missile intelligent command and control system[J]. *Fire Control & Command Control*, 2020, 45(2): 28-31.
- [19] 魏东辉, 王长青. 人工智能在飞航导弹上的应用与展望[J]. *飞航导弹*, 2017(1): 3-9, 54.
- [20] 赵日, 赵鹏飞, 程运江, 等. 人工智能技术在反舰作战中的应用研究[J]. *战术导弹技术*, 2019(5): 86-91.
ZHAO Ri, ZHAO Pengfei, CHENG Yunjiang, et al. Research on artificial intelligence technology application in anti-ship combat system[J]. *Tactical Missile Technology*, 2019(5): 86-91.
- [21] 杨中英, 王毓龙, 赖传龙. 无人机蜂群作战发展现状及趋势研究[J]. *飞航导弹*, 2019(5): 34-38.
- [22] 吴勤. 美军分布式作战概念发展分析[J]. *军事文摘*, 2016(13): 44-47.

(编辑:张黄群)