

智能博弈趋势下未来空天防御体系展望

王波兰

(上海机电工程研究所, 上海 201109)

摘要: 当前, 军事智能化正成为继机械化、信息化之后推动新一轮军事变革的强大动力, 深刻影响着未来战争的制胜机理、作战规则及战争形态。本文全面分析了智能化在未来空天防御体系的应用优势, 结合国外智能化防御体系发展特点, 提出了未来智能空天防御体系发展设想, 梳理了空天防御体系智能化关键技术, 阐述了空天防御体系智能化变革的重要意义。

关键词: 空天防御体系; 多智能体系统; 感知识别; 自主决策; 动态重构

中图分类号: TJ 76 **文献标志码:** A

DOI: 10.19328/j.cnki.2096-8655.2021.03.006

Outlook of Future Aerospace Defense System Under the Intelligent Game Trend

WANG Bolan

(Shanghai Electromechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: At present, military intelligence is becoming a powerful force to promote the new round of military transformation after mechanization and informatization, and has a profound effect on the winning mechanism, operation rules, and warfare patterns of future wars. In this paper, the advantages of the application of intelligence in the future aerospace defense system are comprehensively analyzed. Combining with the characteristics of the development of intelligent defense systems in foreign countries, a development concept of intelligent aerospace defense system in the future is proposed. The key technologies of intelligent aerospace defense system are reviewed, and the significance of the intelligent transformation of aerospace defense system is expounded.

Key words: aerospace defense system; multi-agent system; perceptual recognition; independent decision making; dynamic reconfiguration

0 引言

军事智能化是以人工智能技术为代表的前沿科学技术向军事领域渗透应用, 全面提升智能化条件下军队作战能力的过程。通过对装备的智能化赋能, 使装备具备类人的“智能行为”, 能够自适应感知战场变化, 自主识别决策、自主协同打击、自主学习升级等, 极大提升作战效能。随着人工智能在军事领域中的不断应用, 智力必将超越火力、信息力等成为决定战争胜负的最关键因素, 从机械化战争以物释能、信息化战争以网聚能, 上升到智能化战争以智驭能, 推动战争体系的深刻变革, 从而改变部队编成、作战样式和作战思想^[1]。

空天防御体系作战时间敏感性强、技术要求高、协同难度大、系统构成冗杂, 对应用人工智能技术的需求迫切^[2]。未来空天防御体系发展需要将智能化要素融入其中, 催使其内部结构与外在形态都发生深刻变化, 形成以智能体单元为节点、动态最优网络为基础、智能博弈决策为核心的智能化空天防御体系, 凝聚和释放出更大作战效能。

1 智能军事科技在空天防御体系的应用优势

人工智能技术在许多领域上取得成功, 深度学习的研究促进了自动驾驶、图像识别的突破; 自然

收稿日期: 2021-04-27; 修回日期: 2021-05-31

作者简介: 王波兰(1978—), 女, 硕士, 研究员, 上海机电工程研究所所长, 担任多个国家重点项目首席科学家、行政总负责人, 主要研究方向为体系总体设计、飞行器总体设计、精确制导设计、空气动力学等。

语言处理的进步改善了信息检索、个性推送、知识理解等应用。将智能化技术应用在空天防御体系中,可解决复杂战场态势预判、强干扰环境探测识

别、集群对抗任务筹划、异构弹群协同制导、灵巧精准杀伤等难题,大幅提升体系效能。人工智能技术在空天防御体系中的应用优势见表 1。

表 1 空天防御中人工智能与传统技术优势比较

Tab.1 Comparison of the advantages between artificial intelligence and traditional technology in aerospace defense system

空天防御作战特点	传统技术瓶颈	人工智能优势
新型威胁目标具备高速、高机动、隐身、集群等特点	单型传感器的探测识别能力有限,多型传感器的信息融合效果不佳	通过广域多源信息融合和神经网络感知模型,提升探测识别能力,深入挖掘目标属性
战场决策存在高动态、非完全信息博弈等特点	传统指挥控制决策链路长,规则相对固化,方案裕度低	在多维多域的复杂战场环境下具备适应决策能力,根据态势动态制定方案
防御作战具备跨空域、速决性等特征	传统防御武器作战空域有限,作战效费比低	智能武器具备变空域飞行、智能能量管控、分布式协同、攻防一体等优势

1.1 有效破解战争迷雾,深入挖掘威胁目标属性

随着空天打击武器性能的不断攀升,电磁、气象等战场环境的日趋复杂,高速、隐身、集群饱和等来袭目标(如图 1 所示)会对态势感知系统带来巨大压力^[3]。基于多源广域的智能感知技术,能有效聚合天、空、地、海预警侦察体系,实现对不同方向、不同维度、不同类型目标的全方位、多手段与高精度的预警监视,并对战场态势进行理解和预测。通过大数据驱动的深度学习技术,革新传统战场感知机制,深入挖掘目标深层属性,实现军民识别、敌我识别和关键部位的精细化识别,进一步完成目标威胁估计、作战行动预判和未来战况走向预估等,支撑指挥决策从信息域向认知域跨越。

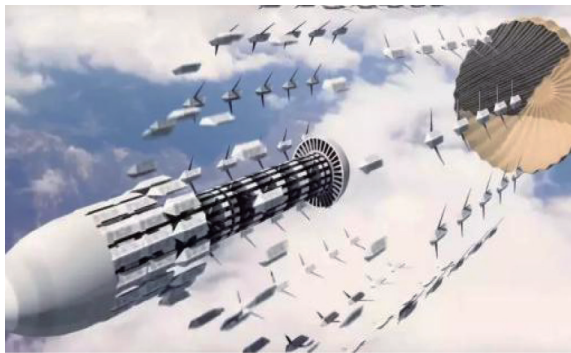


图 1 集群饱和来袭目标示意图

Fig.1 Schematic diagram of incoming targets with cluster saturation

1.2 深刻变革制胜机理,极大提升决策博弈效率

空天防御作战具有高动态、非完全信息博弈、强不确定性等特点。传统指挥控制作战决策链路

长,规则相对固化,方案裕度低。而智能决策博弈技术通过探索规则不固定、信息不完全等情况下作战方案快速寻优和推演,实现作战单元部署、火力配置优化、目标分配和杀伤效果评估等决策支持,并根据指挥员意图快速进行任务分析筹划和行动动态调整,极大缩减以指挥员为核心的作战决策时间,提高空天防御作战的决策博弈效率,实现制胜机理的深刻变革。

1.3 颠覆传统作战样式,大幅提升防御作战效能

传统拦截武器作战空域有限,性能相对固定,协同程度低^[4]。发展以跨空域作战、分布式协同、多任务变构形、智能灵巧毁伤等特征为代表的智能防御手段,能够打破原有空天防御作战的物理界限、控制逻辑和作战规则,颠覆传统作战样式,有效应对新型作战威胁。未来智能空天防御武器可根据飞行环境、飞行剖面 and 作战任务的不同进行自主变形和能量优化,对其自身飞行特性进行智能调节,大幅扩展防御范围,提升防御作战效能。

2 国外空天防御体系智能化发展特点

空天防御体系是由承担空天一体化防御任务的各种武器装备、部队编成和战场设施构成的有机整体,涉及广域多类预警探测、火力拦截智能体的一体化调配与衔接。对这样一个高技术密集的复杂系统进行智能化提升^[5],不能一蹴而就,美军在推进人工智能军事应用中主要采取了体系需求牵引、资源优势整合、技术创新赋能等举措,具有重要借鉴意义。

2.1 以需求牵引空天防御体系智能赋能

随着当前威胁环境的变化和“全球战略”的不断推进,美军在不断提升武器单装效能的同时,以现有导弹防御体系为基础,通过智能军事技术赋能和顶层架构调整,充分提升体系整体的作战弹性和效能,优化区域、国土乃至全球的智能化空天防御体系,形成对传统弹道导弹及新威胁的一体化智能化防御能力。美军以指挥控制/作战管理

和通信一体的反导指挥控制系统(Command and Control, Battle Management and Communications, C²BMC)为智能中枢打造智能化国土防御体系,如图 2 所示,将部署于全球的防御装备和遍布陆、海、空、天的预警探测系统进行智能动态聚优,扩大探测和交战能力,从而实现各类传感器和防御武器的最佳协同配合,推进空天防御体系的智能化提升^[6]。



图 2 美军国土防御体系示意图

Fig.2 Schematic diagram of the land defense system of the US army

2.2 整合优势资源推动智能军事技术创新

为高效发展和推动人工智能技术的军事应用,保持技术与作战优势,需整合资源、建设优势部门,加速智能化军事应用的步伐。美国国防部 2017 年 4 月签发了关于成立“算法战跨职能小组”的备忘录。目前,该小组已经开发出成套的智能算法,标志着“算法战”已经从概念逐步走向实践,加速了人工智能、大数据和机器学习等关键技术在军事领域的应用。同时,为了整合国防部人工智能研究的人才和技术资源,加速扩大军事领域中人工智能的应用,2018 年 6 月,美国国防部宣布成立联合人工智能中心,旨在加快国防部交付人工智能的能力,将人工智能应用于“一系列密切相关的、紧迫的联合挑战”领域。

2.3 智能技术创新与装备迭代升级并重

目前尚未完全实现自主智能的导弹,但以美国为代表的军事强国所研制的导弹武器已经具备了未来智能导弹的一些初步技术特征,其中最为著名的当属隐形亚声速巡航导弹 LRASM,如图 3 所示。其最大特点是智能化程度高,在天基中继制导信息支持的情况下可进行自主导航和精确末制导,突入敌方防御系统,对特定目标进行智能识别和精确打击^[7]。此外,为了应对更复杂多样的导弹威胁,美军不断升级迭代其防御武器系统核心算法,扩大算法优势。例如“宙斯盾”系统正进行基线 10 升级测试,未来将整合 SPY-6(AMDR)雷达、Link-16/CEC 数据链、“标准”系列导弹(SM-3、SM-6 等),提升弹道导弹防御能力,扩大探测防御范围,突出编队体系化防御能力。

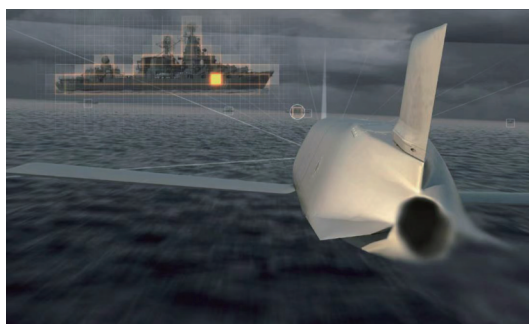


图 3 LRASM 作战场景图

Fig.3 Combat scene of LRASM

3 未来空天防御体系智能化发展设想

未来智能空天防御体系主要具备动态资源智能聚优、空天态势智能认知、作战方案自主决策、智能全域火力拦截等特征,依托分布式的智能体系架构,结合地海空天广域作战资源的智能关联重组,不改变部署即可动态调整防御重点,匹配威胁态势并增强防御体系交战规模,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。

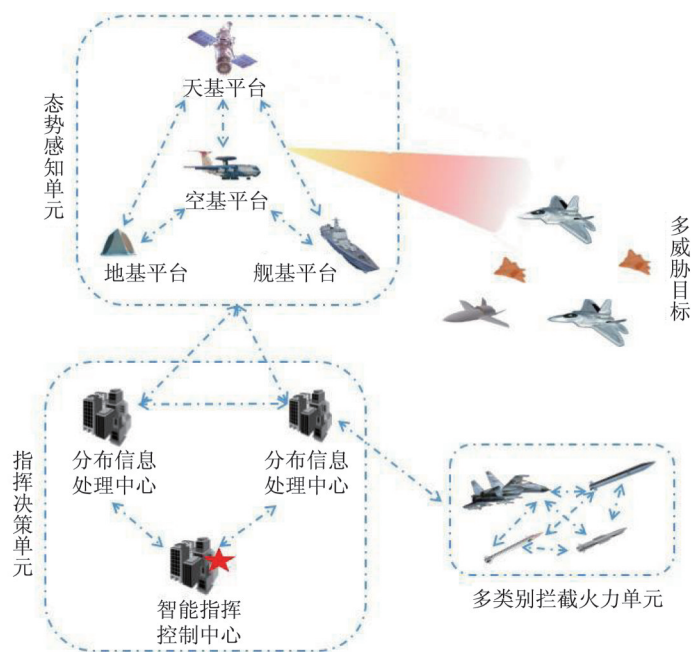


图 4 智能空天防御体系架构

Fig.4 Architecture of intelligent aerospace defense system

2) 空天态势智能认知。

未来空天防御体系将陆海空天网等不同体制、频域的各种侦察感知装备进行态势融合,从而形成全域、全频、全时的分布式战场感知体系,确保各作战单元从不同空间、距离、频率精确获取所需情报

3.1 未来智能空天防御体系主要特征

1) 动态资源智能聚优。

传统防御体系以树状刚性架构为主,各节点间关系相对固定,无法形成以信息共享为基础,多武器平台、多传感器节点与指控节点构成的有机作战体系。

未来空天防御体系是融合信息、决策、火力的智能综合体,其体系架构如图 4 所示。基于多智能体行为特征和交互方式,通过智能体之间的数据交互、动态自适应组网、多平台信息融合及作战任务分配,实现分散平台在时间、空间、功能上的协调统一,具有体系开放、弹性互联、动态重构、自组织协同等特征。在体系架构设计中纳入分散式体系结构理念,实现弹性与分散式防御体系结构,提高系统的可靠性、抗毁性与修复性。通过排列组合广泛分布的作战要素来构成可能的杀伤链,杀伤链可以根据需要多次解体、重构,甚至变更某些功能单元以适应临时任务,具备动态演进特征。

信息,支撑对战场态势的理解、分析、推理、决策^[8-9]。

未来空天态势智能感知模型(如图 5 所示)由战场态势探测分析、人在回路决策执行、学习模型智能迭代等部分组成。通过深度学习算法对战场态势模型数据库内的有效资源进行特征提取以及整合聚

类,建立与实际作战环境相似度高的态势感知模型,为空天防御的态势分析、理解提供依据;同时以多域传感器和情报系统的信息融合作为态势观察的基

础,将获得的综合信息与学习模型的典型特征进行匹配,从而达到对实时战场环境的态势预测,为作战方案快速谋划和动态调整提供数据基础。

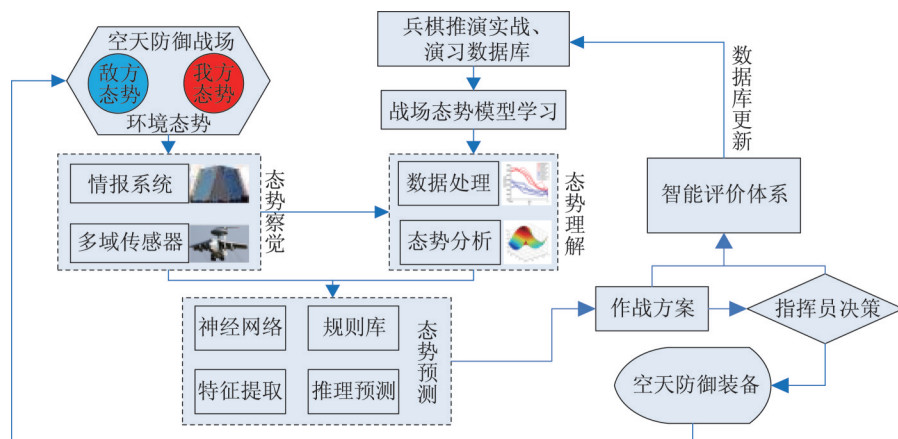


图 5 智能空天防御体系态势认知模型

Fig.5 Situation cognition model of aerospace defense system

3) 作战方案自主决策。

空天防御体系核心是指挥控制、作战管理和通信系统,以时间约束的方式将防御作战各智能体串联,实现感知智能体群和火力智能体群之间的协同配合,主要包括传感器资源和火力资源任务规划,以构建动态全局寻优的防御作战网^[10]。

未来空天防御自主决策模型可由信息综合处理、作战任务规划、智能博弈对抗等部分组成,如

图 6 所示^[11]。信息综合处理模块在对目标探测跟踪基础上,分配出多个数据校准任务序列来匹配和更新目标数据库,推演出目标航路轨迹和威胁意图。作战任务规划模块自主规划出最优作战决策方案,分发给中继跟踪系统和火力拦截系统。为适应以认知决策为核心的“决策中心战”需求,发展自博弈训练和对抗博弈数据库等技术,实现作战方案动态博弈调整和协同优化能力。

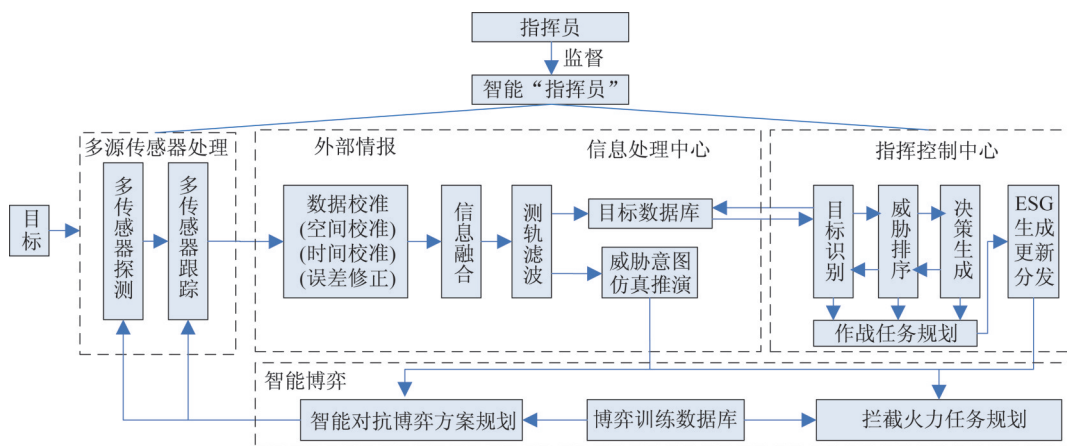


图 6 智能空天防御体系自主决策模型

Fig.6 Independent decision making model of intelligent aerospace defense system

4) 智能全域火力拦截。

未来空天防御火力体系可探索发展新型导弹防御能力和多手段区域拒止防空能力,构建弧段衔接、空域联合的智能全域拦截系统,实现对多样化

目标的一体化智能化防御。

智能武器通过模块化设计、自适应变构形、最优能量管控、智能感知探测等技术,可根据目标类型、遭遇条件和环境条件,自主调整飞行包络和拦

截任务,做到毁伤效果最大化^[12]。

此外,为应对蜂群作战概念,在单武器智能化基础上发展群体智能。拦截组网编队可实时生成目标群威胁清单,利用网间数据交互,动态调整组网内防御单元进行群目标锁定与毁伤,如图7所示。

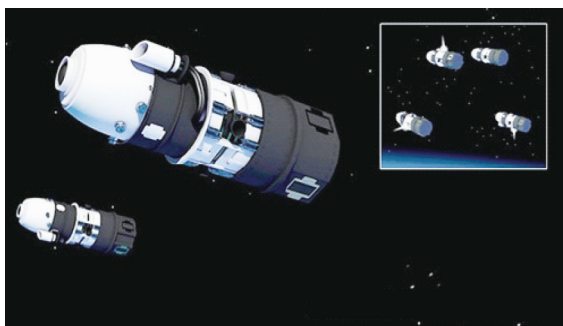


图7 多目标杀伤器概念图

Fig.7 Concept diagram of multi-objective weapon

3.2 未来空天防御体系智能化发展阶段设想

1) 技术创新,实现空天防御体系局部智能化提升。第1阶段,以空天防御体系局部智能提升为主要任务,以现役或在研武器系统智能化赋能为主要标志。此阶段以单项技术创新和作战样式演进为研究核心。以分布式协同态势感知技术、基于深度学习的抗干扰技术和智能火力拦截技术为突破重点,实现复杂战场全域感知、多频域自适应抗干扰和拦截策略自筹划能力^[13],实现防御体系局部智能化特征的涌现。

2) 集成融合,初步构建空天防御体系智能化架构。第2阶段,以空天防御体系的初步智能化为主要任务,以智能防御体系主体架构建立为主要标志。此阶段将以决策博弈与武器系统的集成融合为发展方向。通过自博弈训练、智能组网对抗等技术,提升决策博弈系统在体系化对抗时的作战能力,形成实时可靠的智能博弈对抗体系。通过传感器网络与武器网络深度融合,动态调整感知和拦截资源,提升体系智能化水平,支撑防御体系向智能体系化协同防御转变。

3) 全域协同,全面完成空天防御体系智能化升级。第3阶段,以空天防御体系完全智能化为主要任务,以作战体系全域智能网络构建为主要标志。此阶段发展多平台态势感知预警网络,通过各感知智能体的弹性互联和密切协同,提升空天战场全维

态势理解和战场预测能力。同时,推进拦截智能体向变构形、变空域防御方向转变,并以集群智能拦截博弈为核心框架,构建全时预警、全域覆盖的空天作战智能防御网。

4 空天防御智能化关键技术

为应对未来日趋严重的智能武器突防威胁,加快智能化空天防御体系发展,增强空天防御体系作战效能,可通过深化人工智能技术在体系集成、态势感知、指挥决策、火力拦截等方面的转换应用,从而提升传统空天防御体系作战效能。为此,需要重点发展以下关键技术:

1) 防御体系要素动态管理与功能重构技术。

未来空天防御体系面向不同平台和不同任务,发展防御体系要素动态管理与功能重构技术,以通信和网络集成技术为基础,通过体系内各种传感器、通信网络、指挥控制系统、火力单元等要素解耦,将各个要素聚合成高动态性、高适应性的防御体系,从而主导作战优势。通过开放式可重构的智能化架构、智能要素集合和软件模块复用技术,使硬件模块可替代、软件复杂度可裁剪和整体结构可扩展,通过参数配置和软件重构实现任务及功能的重构。

2) 分布式协同态势感知预警技术。

战场态势感知预警技术通过发展表示学习和可视化、小样本学习、态势感知云、集成学习等技术将遍布陆、海、空、天各领域的传感器组建成弹性松耦合的智能传感器网络,通过智能感知与组网技术,对能够引起作战态势发生变化的安全要素进行分布式、多维度的获取、理解和显示,从而形成强有力的预警信息网,提高态势感知的准确度与决策效率。

3) 基于目标特性认知的探测技术。

为应对未来复杂空天战场环境下多种新型威胁目标和新型干扰技术,需开展多源信息融合的探测技术,以基于目标多维光学/射频特征认知的特征信息融合技术和基于自编码的目标识别技术为发展重点,通过对重点区域的威胁目标进行在线学习,获取多类目标典型特征,自动建立并完善目标特性数据库,从而迭代增加数据网络节点,强化对新型威胁的细节认知。

4) 基于强化学习的智能对抗博弈技术。

在信息不完备、装备参数不确定等复杂战场环境下,采用基于强化学习的博弈对抗训练与基于贝

叶斯理论的制胜要素联合优化等智能方法,研究群组智能化协同作战体系,通过仿真推演自博弈训练、分布式智能体组网对抗等手段,提升单智能体和多智能体的集群协同动态博弈水平^[14]。通过强化单元和周边环境交互以寻求最优化作战方案,缩短 OODA (Obseration, Orientation, Decision, Action) 循环周期,大幅提升作战效能。

5) 智能变形聚合技术。

随着军事科技的迅猛发展和空天一体化进程的快速推进,传统作战空域已逐步扩展到太空和邻近空间等新领域,因此需要发展以飞行任务、速度和环境等要素判断的智能变形聚合技术,其飞行器示意图如图 8 所示。可采用形状记忆合金、压电陶瓷等智能材料、可变形结构等实现导弹结构外形变化,自适应动态改变弹体气动特性,也可通过伸缩翼或柔性可变形充气翼改变气动外形,以不同的气动布局形式满足不同的飞行任务,实现大空域、宽速域作战环境下的多域作战能力。

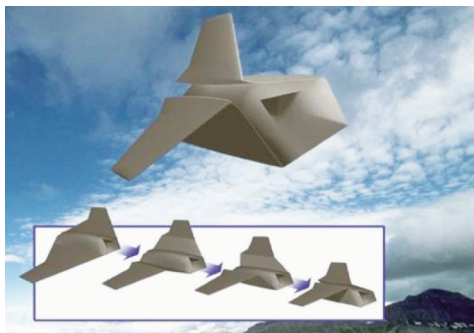


图 8 智能变结构飞行器示意图

Fig.8 Schematic diagram of the intelligent variable structure aircraft

6) 多武器协同拦截技术。

针对未来体系对抗条件下单武器作战效能不断下降的问题,多武器协同拦截技术通过合理有效的协同策略,对作战资源统筹管理配置,提高防御系统的拦截概率^[15]。主要发展基于移动预测的链路稳定性的路由技术、基于信道感知的多通道快速接入技术和基于自组网协同通信的高精度时频同步技术。利用网间协同实现高频数据交互,保证对目标误差散布区域的有效覆盖;通过对网间数据链自组网动态拓扑,实现信息高速度、低延迟互传,提高其在复杂电磁环境下对群目标的防御效能。

5 结束语

新时代空天防御面临多维度高强度体系对抗,需以军事智能科技为主轴,布局推动我国空天防御体系创新超越发展。本文在分析军事智能应用优势和国外智能化发展特点的基础上,提出了未来智能空天防御体系发展设想、主要阶段和关键技术,旨在推进我国空天防御体系智能化演进,保证我国未来空天安全。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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[EB/OL].(2020-11-11)[2021-04-20]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1234.TJ.20201111.1549.015.html>.
- [3] 鲜勇,李扬.人工智能技术对未来空战武器的变革与展望[J].航空兵器,2019,26(5):26-31.
- [4] 徐刚锋,张旭荣,张岩,等.人工智能技术在导弹武器装备领域的发展研究[J].战术导弹技术,2019(5):12-17.
- [5] 张哲,刘力,李勇.空天防御体系及技术发展[J].国防科技,2017,38(4):23-28.
- [6] 郝雅楠,祝彬,朱华桥,等.美军导弹智能化发展态势研究[J].战术导弹技术,2020(1):15-21.
- [7] 张耀,王永海,王菁华,等.美国下一代反舰导弹 LRASM 性能分析与研究[J].飞航导弹,2018(7):18-22.
- [8] 李婷婷,刁联旺,王晓璇.智能态势认知面临的挑战及对策[J].指挥信息系统与技术,2018,9(5):31-36.
- [9] 高晓阳,王刚.基于深度学习的空天防御态势感知方法[J].火力与指挥控制,2018,43(8):8-12.
- [10] 付强,王刚,范成礼.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.
- [11] 李宪港,李强.典型智能博弈系统技术分析及指控系统智能化发展展望[J].智能科学与技术学报,2020,3(1):36-42.
- [12] 刘代军,王超磊.空空导弹智能化技术的发展与展望[J].航空兵器,2019,26(1):25-29.
- [13] 吴集,刘书雷.探索智能化时代颠覆性技术与新军事变革[J].国防科技,2019,40(6):7-11.
- [14] 周来,靳晓伟,郑益凯.基于深度强化学习的作战辅助决策研究[J].空天防御,2018,1(1):31-35.
- [15] 童鹏飞,陈好,许新鹏,等.多导弹多目标协同探测信息融合技术研究[J].空天防御,2020,3(3):54-62.