

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2020.01.001

面向军事应用的航空人工智能技术架构研究

雷宏杰, 姚呈康

(航空工业西安飞行自动控制研究所, 西安 710076)

摘要:通过全面梳理国内外面向军事应用的航空装备智能化发展现状,紧密围绕未来智能化空中作战的任务场景,给出航空军用人工智能技术的概念和内涵,并依据智能系统信息运行模型,提出不同运行层级的航空装备智能升级的途径和方法。在此基础上,形成包含基础使能、关键技术群、智能系统、运行层级的航空人工智能技术架构,对关键技术群按面向运行层级、面向功能需求、面向基础使能进行分析,得到重点技术发展方向,并给出提升我国航空装备智能化水平的具体措施建议,为制定相关航空人工智能技术规划提供参考。

关键词:航空军事应用;人工智能;技术架构

中图分类号:V37

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号:2095-8110(2020)01-0001-11

Technical Architecture of Aviation Artificial Intelligence for Military Application

LEI Hong-jie, YAO Cheng-kang

(AVIC Xi'an Flight Automatic Control Research Institute, Xi'an 710076, China)

Abstract: Based on a comprehensive review of the current situation of intelligent development of aviation equipment for military applications at home and abroad, and around the mission scenarios of intelligent air combat in the future, the concept and connotation of military aviation artificial intelligence technology are given. According to the information operation model of artificial intelligence system, the ways and methods of intelligent upgrading of aviation equipment at different operational levels are proposed. On this basis, an AI technology architecture including basic enabled platform, key technology groups, intelligent systems and operative level is formed. Besides, the key technology group is analyzed according to the operational level, function demanding and basic enabling, and the key technology development direction is obtained. Finally, suggestions are given to improve the intelligence level of China's aviation equipment. It can be used as an important reference for developing the military aviation AI technology strategic plan in China.

Key words: Aviation military application; Artificial intelligence; Technological architecture

收稿日期:2019-10-25;修订日期:2019-12-05

基金项目:航空科学基金(2018ZG18010)

作者简介:雷宏杰(1970-),男,博士,研究员,主要从事导航、制导与控制技术及航空人工智能技术研究。

E-mail:hjlei@facri.com

0 引言

当前,随着云计算、大数据、机器学习、模式识别、人机交互等人工智能技术不断成熟,机器对于人类智能的模拟程度和决策能力日益提高,在众多领域和任务场景中呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等新特征^[1]。人工智能技术已成为新一轮产业变革的核心驱动力,在互联网、高端制造业、武器装备研发等领域发挥作用,衍生出各种新兴技术和应用产品,对国家经济、社会发展、国防安全、国际格局产生重大而深远的影响^[2]。在军事领域,人工智能技术同样被认为是赢得全球军事对抗主动权的重要战略抓手^[3]。世界主要军事大国近些年相继出台国家级人工智能发展规划,凝聚各领域优势研发资源,颁布一系列产业促进政策,为技术向产业渗透奠定良好基础。对军事装备而言,由于其任务场景具有环境高复杂、博弈强对抗、响应高实时、信息不完整、边界不确定的特征,因此无法将民用人工智能技术直接应用到军事应用中^[4]。世界各主要军事强国都在军事领域投入大量研发资源,用于提升武器装备对军事任务场景的感知、认知、决策和执行能力,并通过对战场的进一步挖掘和处理,形成新技术支撑下的全新对抗战术和战法,提升自己在国际安全事务方面的话语权和影响力。目前,基于人工智能的智能雷达、智能电磁频谱战设备、智能协同无人机集群,基于类脑技术的信息获取与处理,基于机器学习和计算机视觉的军事图像分析、军事资源能力知识图谱,基于AR或VR技术的单兵装备、空间智能感知、智能空管等新一代人工智能军工技术和产品已经得到应用^[5]。

在航空领域,智能航空武器装备将成为未来体系化斗争中的核心枢纽之一。在空中作战任务场景中,天空背景相对简单,作战单元之间的节点信息化基础较好,因此面向作战的军事智能技术将最早在航空装备上形成作战能力,人在空中作战对抗中的角色也将从操作员逐步转变为指挥员,极大地增强体系战斗能力,保证对抗优势。当前,国外对航空装备智能化研究投入巨大,在机载硬件、算法软件、飞行验证等方面取得了突破性的进展^[6-7]。因此,在国家军民融合战略的大背景下,需要充分吸收和利用民用人工智能技术的优秀成果,系统梳理空中作战任务场景的技术需求和实现途径,完善包

括航空军事应用在内的各领域人工智能技术架构,指导未来一段时间内的军事智能技术规划与发展,实现装备研发和制造过程的创新发展,以满足未来智能化对战条件下的军事需求和装备智能化升级需求^[8]。

1 军用航空智能技术应用现状

1.1 国外航空装备智能化现状

美国的军事智能技术主要面向各种军用平台,通过提升航空武器装备在作战体系中的智能化水平和协同能力来指引技术转化方向^[9]。典型成果包括:郊狼无人机蜂群、自主化无人对抗平台、智能化精确制导杀伤弹药、智能指挥决策系统、阿尔法(ALPHA)空中作战模拟系统、智能装备故障诊断系统等。在航空领域,美国自2014年9月提出抵消战略以来,已经在自主学习、人机协作、机器辅助人员作战、有人作战单元与无人作战单元混合编队作战、网络化半自主武器五大关键技术上取得了一系列的突破和应用^[10]。当前的一些典型技术突破和重点项目包括:面向导弹和无人机蜂群协同攻击的自主集群技术;面向无人轰炸机的神经网络高性能计算技术;空军实验室成立ALPHA自主空战项目,搭建以提升无人机战术决策能力为目标的仿真实验环境;成立算法战跨职能小组,研究面向航空无人装备目标探测、识别与预警的高性能视觉算法;2017年,美空军E-3机载预警与控制系统和F-16战斗机将成为首批接受人工智能和物联网联合预测维护服务试验的武器装备。美军在F-35、F-22等先进战斗机平台上开展了无人僚机项目研究,以实现人类飞行员可以在座舱内直接控制无人机,执行侦察监视、火力打击等作战任务的构想。美军下一代B-21远程轰炸机也将探索与无人机的混合编队。2019年,美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)启动空战进化(Air Combat Evolution, ACE)项目,重点研究人机协同作战与空中格斗情况下,人类飞行员和人工智能系统混合编队作战机制^[11]。

1.2 智能空中作战任务场景分析

未来的智能化空中作战场景的主要特点是对抗样本学习量有限、机载能力约束大、计算资源有限、网络资源不足、电力资源有限、加密机制导致数据结构复杂等挑战。在典型的空中对抗任务场景中,需要航空装备在人机协同、集群控制、自主学

习、攻防决策 4 个方面具备一定程度的智能水平。

在人机协同方面,要求无人航空器与有人机形成混合编队,参与空中对抗,具备辅助人或自主实施攻防战术行为的能力;集群控制方面,要求作战单元具备化整为零,随机分散的集群化作战和控制能力;自主学习方面,要求作战单元具备战场协同与先进飞控策略的解算执行能力;攻防决策方面,要求作战单元具备针对新型航空器的打击毁伤型攻击系统的加载和控制能力,重点研究方向为机载定向能武器。

基于上述分析,未来的智能化空中作战可按照航空装备智能化水平高低分为初级与高级 2 个阶段。初级阶段以集群化无人作战单元执行辅助人类作战任务为目标,面向集群攻击、集群防御和侦察监视任务,在弹射、空投、集群飞行、集群重构、群体感知、集群通信、任务规划、任务执行、任务评估及回收等任务场景中,不断提升无人机群自主搜索、确认、摧毁、反馈评估和补充打击能力。高级阶段以空中无人作战平台与人类形成混合编队共同作战为目标,面向有人无人协同空中作战和无人机空中作战任务,具备战场大数据分析和战略意图自主决策的进化适应能力,不断丰富无人作战平台的战术库、机动库、机器学习算法、态势理解算法、智能决策算法、机动轨迹生成算法、机动轨迹跟踪算法以及空中作战态势评估算法,实现人与机器共生共存。

1.3 军用航空人工智能技术发展方向

未来的智能化战争将围绕“人+泛在系统智能+智能航空装备”的战斗要素展开,因此需要同时开展泛在系统智能和智能航空装备的研发^[12]。

泛在系统智能通过去中心化网络技术促进异构系统的信息共享、共洽和融合,基于人工智能、大数据和泛在网络构建新型跨域融合的柔性体系架构,实现动态重组和自主学习进化,使系统涌现出新的体系特征和能力。泛在系统智能主要包括智能指挥控制、多智能体协同组织、战场态势认知与决策等。

智能航空装备则需要全面提升感知、认知、决策、执行智能化程度。采用人工智能技术,延伸和增强人的能力和效率,提升航空装备的智能化水平,提升作战效能,满足未来航空装备在单体作战、群体作战、联合作战以及战区作战的要求,实现在未来作战体系下,作战人员与武器装备的高效协

同,共生共存。

2 军用航空人工智能的定义和内涵

2.1 军用航空人工智能的概念与范畴

航空装备在面对未来的智能化战争环境高复杂性、博弈强对抗性、响应高实时性、信息不完整性、边界不确定性的挑战方面,由于样本学习量有限、机载能力约束大、计算资源有限、网络资源不足、芯片处理能力不足、电力资源有限、加密机制导致数据结构复杂等限制,导致军用航空人工智能与一般人工智能存在一定区别^[13],有待进一步针对性和研究。本文对所述的军用航空人工智能概念描述如下:军用航空人工智能是针对航空军事任务场景,面向作战需求,研究和制造在人类给定的具体目标下,能够通过感知、认知、决策、执行过程达成给定目标的航空装备及其相关产品的科学与工程。

在上述定义下,本文所述的航空人工智能技术主要面向作战,以军事应用为背景,基于人机混合智能系统的任务执行想定,通过不断提升机器的智能水平,使航空装备在强实时、高动态、不确定态势和不完备信息条件下,能够逐步实现对人的辅助、协同以及融合,不断提升人机混合智能系统的任务执行效能。因此,对通用人工智能技术在航空军事任务中的应用与集成、面向人机混合智能任务的航空武器装备及其子系统产品开发,上述过程中的基础使能类技术都属于军用航空人工智能技术范畴。

2.2 军用航空人工智能技术发展路线

人工智能系统可以在给定问题、领域知识和问题求解目标的前提下,通过获取相关信息、提取解决问题所需的专门知识、在目标引导下把知识转化为决策和可执行的行动,最终达到目标、解决问题。在这个过程中,问题、领域知识、预期目标都需要由人类设计者预先给定。按照目前脑神经科学和认知科学的研究成果,将人类智能的信息处理过程按照信息科学理论分为感知(Observe)、认知(Orient)、决策(Decide)、执行(Action)4个环节,简称为OODA过程。其运行模型如图1所示。

对于给定具体目标的人工智能系统而言,技术模拟的途径集中在感知、认知、决策、执行环节,目的是提高人造系统自身的智能水平,达到与人相似的任务目标求解表现。与此同时,人工智能技术还

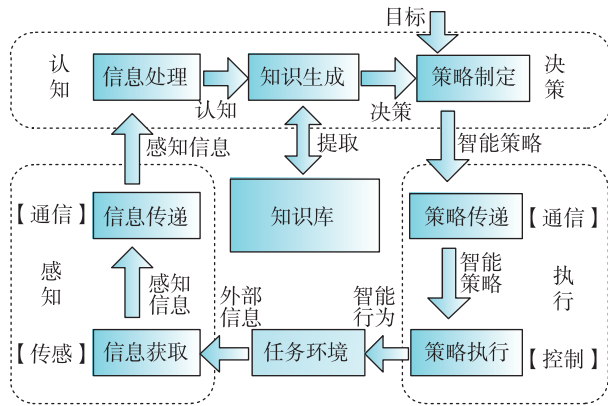


图 1 人工智能系统的信息运行模型
Fig. 1 Information operation model of artificial intelligence system

被广泛应用在提升人机混合智能系统的应用场景中,图 1 中的目标和智能系统的知识库,在最初只能由人类定义和输入,因此在目标生成、知识图谱、规则编码等研究领域有众多技术被应用在人机混合系统的交互、协同、控制和维护上,确保人工智能系统可以按照人类期望的方式进行工作。

当前主流的人工智能系统研发途径按派系分为连接主义、符号主义和行为主义,三者分别在结构、逻辑和行为中对人类智能进行了模拟。上述技术途径彼此之间的关系如图 2 所示。

图 2 中将人工智能的技术实现途径按思考、行动、类人程度、理性这 4 个维度进行分割,这些途径的主要成就和缺陷如表 1 所示。

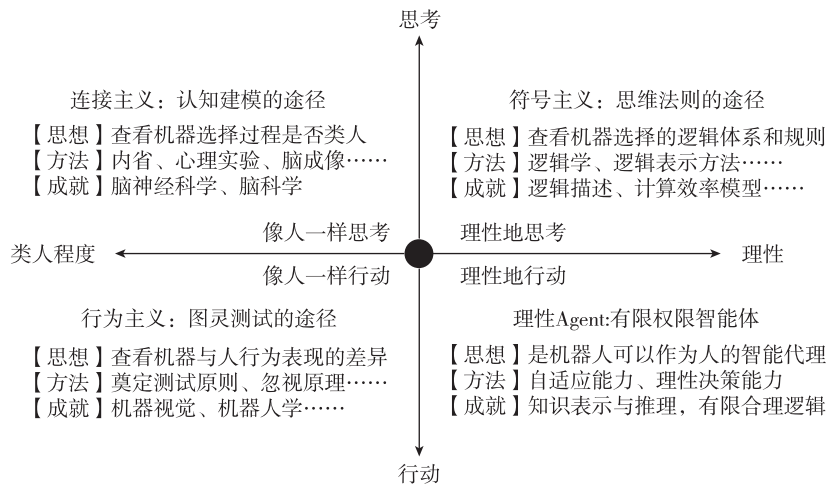


图 2 人工智能系统研发技术途径分类

Fig. 2 Research and development technical approaches of AI system

表 1 当前人工智能技术途径的成就和缺陷

Tab. 1 Achievements and defects of typical AI technical approaches

途径	典型成就	主要缺陷
认知建模	神经网络、模式识别、故障诊断、组合问题优化……	现有工业技术条件所能实现的模拟是极大简化,神经网络的复杂性远低于大脑,工作机制(学习算法)与大脑机制差异较大,前景受到挑战和质疑
思维法则	逻辑表示法、深蓝计算机、Watson	模拟人类逻辑思维需要大量系统的知识做基础,同时知识的获取、表达、推理都存在巨大困难。目前遭遇知识瓶颈困境。同时欠缺基础意识和情感表达
图灵测试	感知-动作系统、MIT 智能机器人、阿特拉斯机器人	该模拟方法难以模拟深层的智能,严重依赖状态-行动表

航空人工智能系统研发将综合上述技术途径,结合具体航空应用,以通用人工智能技术成果为支撑,理性 Agent 研发为牵引进行技术研发,构建如图 3 所示的军用航空人工智能技术发展路线。

理性 Agent 技术途径基于智能运行机制,将现有的结构、逻辑、行为模拟方法进行拼接,按照智能体(Agent)能力的不同,结合运行环境,形成具有不同智能程度的、以有限理性为评估的人工智能技术路线。对航空领域而言,其技术研究路线从航空应用的实际结果出发(皮特森象限),既注重基础科研研究(波尔象限),也注意面向航空装备和业务需求的工程技术积累(爱迪生象限),最终形成面向航空军事应用的行业人工智能技术群(巴斯德象限),带动航空军事智能技术全面发展。

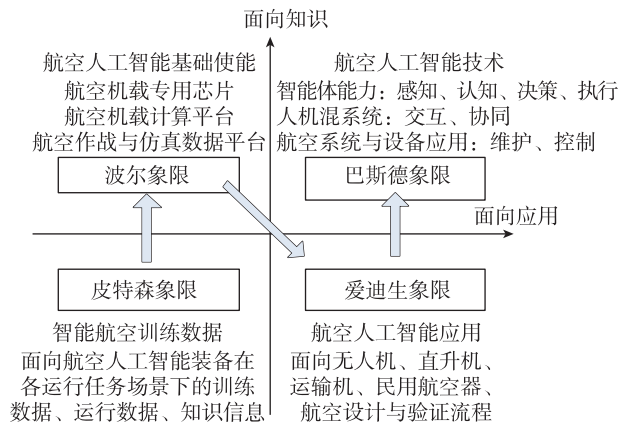


图 3 航空人工智能技术发展路线
Fig. 3 Development route of aviation AI technology

2.3 航空人工智能运行层级与实现途径

基于未来体系化战争场景,将航空人工智能系统依据其运行环境和层内承担的主要功能差异,划分为图 4 所示的四层运行层级。

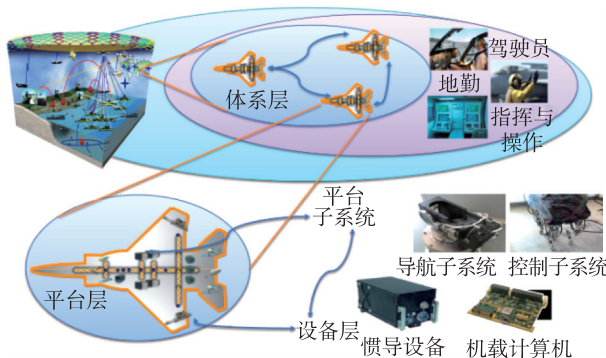


图 4 航空人工智能装备运行层级
Fig. 4 Aviation AI equipment operation level

其中,体系层由相同或者不同机种之间协同配合,形成针对给定任务的集群体系;平台层指能够执行单独任务的航空单智能体单元;平台子系统层指航空平台产品中与智能功能相关的子系统;设备层指子系统中承担感知、认知、决策、执行具体功能的设备。体系层之上为航空装备与其他装备构成具有跨域协同特征的复杂组织体系,在此不对该层智能特征进行分析。

在应用层面,通过将计算力转化为战场上的感知、认知、决策和执行能力,极大地提升作战单元的 OODA 循环速率,进而形成强大的战斗力^[14];通过研究交互、协同、控制、维护等应用场景中的技术需求,提升人机混合智能系统在不同任务场景中的智能水平,满足现代战争对响应速度、资源配置、自主

决策等方面的需求。

现代空中作战理论,在飞机能力相同、敌方可见、武器可达的情况下,OODA 循环速度决定着空中作战的成败,整体循环速度越快取胜几率越大^[15]。当前上下层 OODA 循环速度的落差是制约空中作战平台性能发展的瓶颈,表现为信息过载、人机融合困难。因此,机载设备智能化水平的提高,意味着人类操作者可以将更多的 OODA 环节任务移交给机器,以获得更大的空中对抗制胜概率^[16-17]。

以军用单体作战平台为例,在认知和决策过程中的任务转移和与此相关的关键技术如表 2 所示。

表 2 平台层单体智能系统任务转移列表

Tab. 2 Task transfer list for platform operation level

过程	人类任务	转移到机器时的关键技术
认知	作战意图理解	多源信息智能识别跟踪技术
	敌方意图判断	精确目标识别技术
	敌我态势判断	基于混合增强智能的战场理解技术
	作战方案推荐	战场态势解析与威胁评估技术
决策	战术决策	舰载机综合搜攻潜辅助决策技术
	目标分配	超低空避障辅助决策技术
	航路规划	面向集群作战的协同战术决策
	攻击占位	航路与任务重构技术
		自主任务规划决策技术

以平台层航空装备为基础,体系层和由海陆空天联合作战体系构成的复杂组织体系是对 OODA 过程的嵌套和层叠,经过对平台层进行多体综合和体系综合,OODA 任务复杂度、智能水平、系统可靠性要求逐步提高;平台子系统层和设备层是对平台层 OODA 环节的增强,经过对平台层进行系统拆解和组件拆解,OODA 各环节可以在时间加速和空间加速的技术途径上实现能力增强,OODA 循环速度逐步提高,人类授权的任务量逐步增多。面向各运行层级的智能需求如图 5 所示。

图 5 中的体系层由多个智能体构成,每个智能体有自己的 OODA 环,同时又与其他的 OODA 环之间进行信息交互,从而实现态势共享、协同认知、共同决策、联合攻防。对体系层而言,其智能增强的方式是通过信息共享和组合行动实现效能倍增,其关键问题是个体智能的融合与群体权衡、认知与意图的传递、通信拒止条件下的系统稳定性等^[18]。总体来说,随着智能等级的提高,OODA 自主性逐步提高,协同的难度逐步增加。体系层航空装备的嵌套 OODA 过程如图 6 所示。

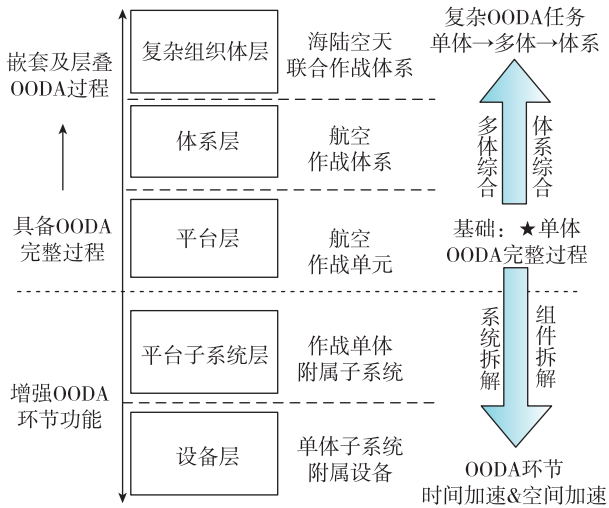


图5 航空装备各运行层级对智能的需求

Fig. 5 Requirement of intelligence for each operation level of aviation equipment

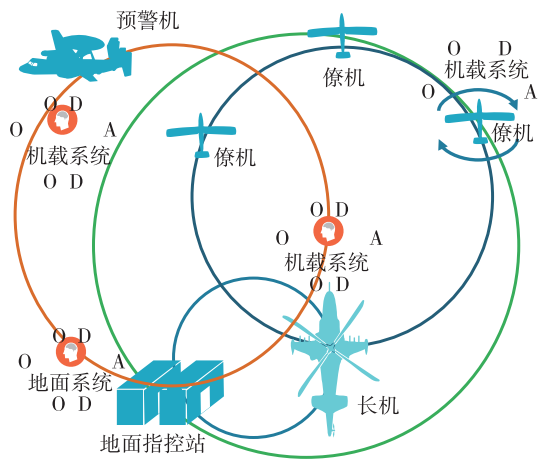


图6 体系层航空装备的多层OODA过程

Fig. 6 Multi OODA processes for SOS aviation equipments

对于平台子系统层而言,其不具备完整的OODA环节,但具有以优化系统性能为目的的学习过程,其智能增强的方式是通过自学习的手段增强平台层装备在OODA各环节的自适应能力。典型的平台子系统OODL(感知、认知、决策、学习)的智能增强途径如表3所示。

对于设备层而言,其智能增强的目标为单一的平台层OODA环节功能。例如传感器提升观测效率、执行器提升作动效率。该层能力提升是航空智能化水平提升的基础。

表3 典型平台子系统层智能增强的途径示例

Tab. 3 Examples of approaches to intelligent enhancement for typical platform subsystems level

过程	雷达及传感器	信息处理系统	决策子系统	执行子系统
O	探测	信息收集	态势收集	指令收集
O	场景认知	信息甄别	决策寻优	信息综合与余度
D	信息处理	信息融合	效果评估	自适应指令计算
A	参数优化计算	信息需求学习	决策算法学习	控制算法优化

3 航空人工智能技术架构

3.1 总体架构概述

航空人工智能技术架构基于军用航空装备的人工智能关键技术需求进行搭建,按照需求分析、系统设计、验证确认的系统工程分析方法,形成目标明确、路径明确、条件明确的人工智能架构,如图7所示。

3.2 航空人工智能技术体系

关键技术群可按照运行层级(设备层、平台子系统层、平台层、体系层),智能功能(感知、认知、决策、执行、交互、协同、控制、维护),智能等级(效能增强级、运作灵巧级、执行自主级、任务自主级、融合智能级)3个维度构成如图8所示的关键技术功能空间。航空人工智能关键技术都可以在此技术空间中找到对应的位置。对于体系层而言,存在跨功能的综合技术,但总体来说仍处在关键技术空间中。

如图9所示,面向运行层级主要指应用于运行层级的综合性技术,该类技术包含有多个智能功能;面向智能功能主要指针对感知、认知、决策、执行、交互、协同、控制、维护这8个智能功能的专用技术;面向基础使能主要指支撑航空装备智能化提升所需要的基础技术。需要指出的是,在智能功能类别中,感知、认知、决策、执行是通过将通用人工智能算法、硬件、分析方法等面向航空任务场景进行研究与开发,形成能够显著提升相应设备或子系统在OODA环节性能表现的基础性技术;而交互、协同、控制、维护是面向行业具体应用需要,通过将人工智能系统与特定应用场景深度融合,定制开发而形成的应用性技术。两类技术共同构成了航空人工智能系统研发的功能技术群。

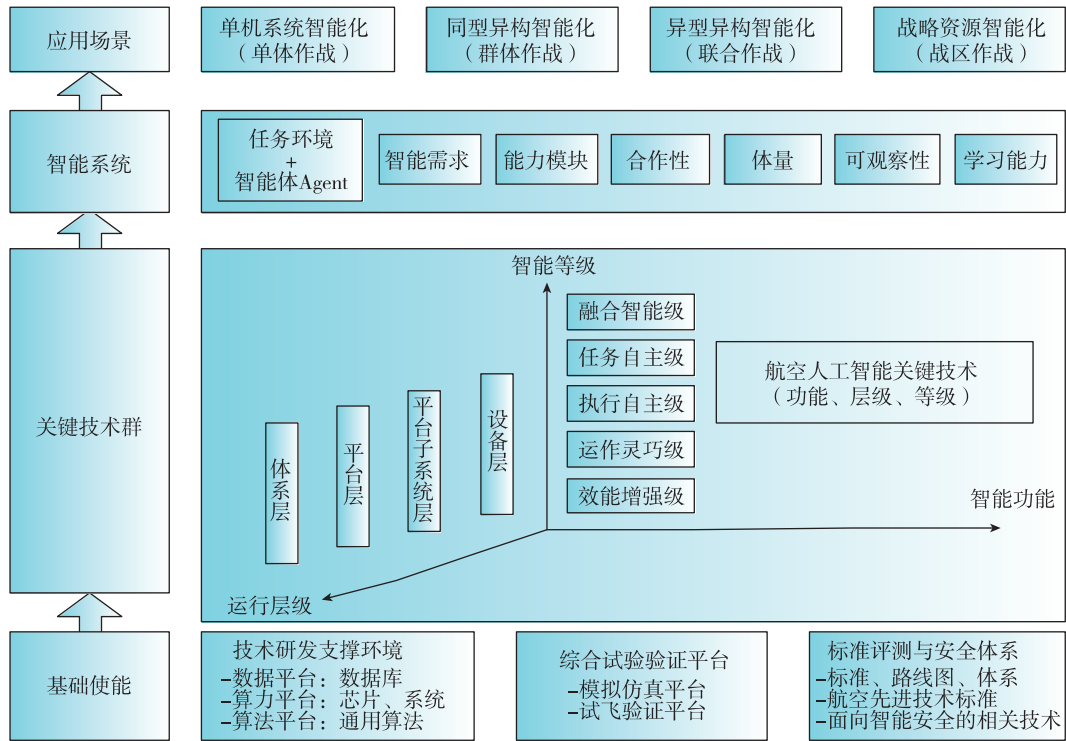


图 7 航空人工智能技术总体架构

Fig. 7 General architecture of aviation artificial intelligence technology

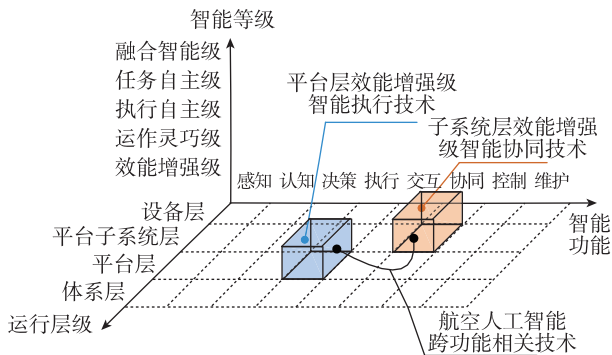


图 8 航空人工智能关键技术功能空间

Fig. 8 Function space of key technology of aviation AI

关键技术空间可以将航空人工智能技术分为如图 9 所示的三类。

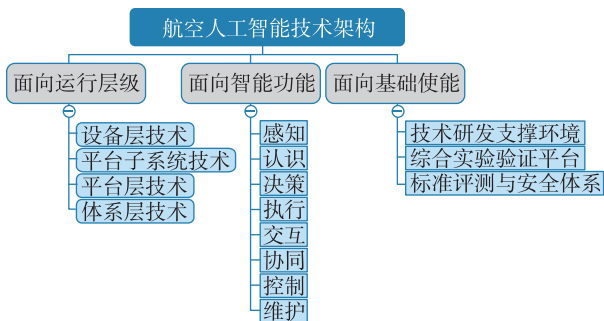


图 9 航空人工智能技术架构类别

Fig. 9 Category of aviation AI architecture

3.3 航空人工智能重点技术

(1) 面向智能功能

智能感知:提升传感系统对外部环境的感知能力,借助相关人工智能软硬件技术,使感知系统可以在高动态任务环境下,通过适应环境变化,自主生成最佳传感策略,实现对不同类型和范围的感知目标进行特征提取与持续跟踪^[19-20]。

智能认知:提升对感知系统输出信息的处理能力,实现对任务态势信息的压缩、理解、预测,达到与人类相当的认知水平。对感知信息的处理可围绕任务需要,通过滤波、变换、融合、特征提取、识别等算法,综合不同数据源信息^[21],依据认知系统已形成的知识库数据,形成可供决策系统处理的信息。

智能决策:提升对认知系统输出信息的综合处理能力,实现基于任务目标约束下的快速求解能力。通过运用神经网络、专家系统、模糊推理、对策论等方法自主或辅助人类对认知数据进行整合、分类、分析、规划、推演、评估,最终可提供基于规则、认知、类脑运算等模式下的决策推理^[22-23],并结合智能体 Agent 的执行能力,在期望时间内给出决策结果,显著增强人机混合智能系统决策的全面性和实效性。

智能执行:提升对决策系统输出指令的执行处

理能力,利用推理、规划等手段将决策意图分解为智能系统相应设备的可执行指令,并通过机动或运行等方式实现决策意图。具体来说,从任务需要出发,执行系统可以根据系统内部自带的分析系统,通过选择指令高效执行、指令自主执行、任务高效执行、任务自主执行、自主学习与自主执行结合的方式,最优化地完成决策系统的输出意图,确保任务能够低耗、精准、有效、快速执行^[24]。

智能交互:面向航空人机混合智能系统,在机载环境的限制约束下,提升人与机器之间信息传递的效率和方式^[25]。利用多平台多模式多维交互,实现各种任务环境下的对人类参与者的自然语音、脑控信息、指令意图识别,可通过虚拟及增强视觉等反馈方式,将智能系统的处理结果以更友好直观的方式向人类参与者传输,达到机器与人的无障碍便捷交互。

智能协同:面向由航空多智能体参与的任务场景,通过对任务态势进行感知、认知,形成针对多智能体的决策意图,为多智能体以最优配对要求执行决策意图提供无缝的、透明的、通畅的协同基础环境和协同机制,达到不同构型、不同模式平台之间可以互相理解、通信、交流的目的^[26-27]。

智能控制:面向提升航空智能体任务执行的鲁棒性要求,确保在任务环境发生变化或智能系统本身出现部件和子系统故障时,可以通过自主学习优化、自主进行大范围控制参数调整以及执行系统结构调整,达到在各种环境条件下始终维持较大范围控制包线,实现智能体在执行过程中对任务环境自适应、自优化控制^[28]。

智能维护:面向航空装备,可依据在任务环境中以及特定的测试中获取的信息,提供一种预知型、主动式的维修保障模式,实现从传统的事后维修、定期检修向主动维修、基于剩余寿命的预测性维修转变,全面提升航空装备健康管理和面向任务的权衡保障能力,突破认知性保障技术和冗余管理技术,达到从粗放、规模型维修保障到集约、精确、敏捷、经济的维护型保障转型^[29]。

(2) 面向运行层级

设备层智能技术:针对航空机载设备,通过将当前通用的先进感知技术、认知算法、决策模型、执行算法等与相关机载设备研制相融合,在航空装备平台子系统智能提升需求牵引下,研发符合机载应用环境限制的软硬件技术。

平台子系统层智能技术:针对航空装备平台的子系统,通过提升感知自适应能力、认知强推理能力、决策类人推理能力、执行自进化能力,进一步将通用技术与各种子系统研制相融合,研发一系列面向 OODA 能力提升的专用技术。在此基础上,综合与集成面向航空装备单体能力提升的 OODA 技术,为研制机载环境约束下的交互子系统、协同子系统、控制子系统、维护子系统提供相应的技术支持。

平台层智能技术:针对航空装备平台,面向其承担的具体独立任务,通过研究其任务实现过程中对于感知、认知、决策、执行各环节的能力需求,研发一系列面向不同任务的专用技术。在此基础上,综合与集成面向不同复杂程度航空任务的 OODA 技术,为人机混合系统在任务执行过程中的交互、协同、控制、维护提供相应的技术支持。

体系层智能技术:针对多个航空智能体构成的智能体系,研发一系列信息共享与协同机制技术,实现多智能体面向复杂任务的效能倍增和协同配合,实现群体智能增强,解决单智能体向群体融合过程中的行动权衡、认知与意图传递、通信拒止条件下的体系稳定性等问题,为多智能体之间共享态势、协同认知、共同决策、联合攻防提供技术支持^[30]。

(3) 面向基础使能

基础使能为关键技术提供支撑技术,是针对航空人工智能应用的特殊性,为航空装备在强实时、高动态、不确定态势和不完备信息等不利条件下的多样化智能应用提供通用性的技术支持,实现对智能感知、智能认知、智能决策、智能执行、智能交互、智能协同、智能控制、智能维护技术和产品的通用化支持。支撑技术主要包括技术研发支撑环境、综合试验验证平台、标准评测与安全体系。

技术研发支撑环境:利用经过适用性改造的算法、芯片、运行支撑环境,构建高效能的智能计算平台,通过与其配套的系统设计与验证手段,为关键技术群提供基础支撑。该类技术之间的支撑关系如图 10 所示。

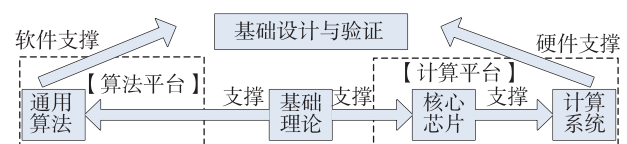


图 10 航空人工智能技术研发支撑架构

Fig. 10 R&D support architecture of aviation AI technology

图 10 中的基础理论是发展航空人工智能算法和核心芯片的前提,研究院所可采取跟进、学习手段,以国内外高校联合论证或咨询等方式实现对基础理论研究的了解与利用。技术研发支撑环境的关键技术集中在算法平台、计算平台、基础设计与验证中。

综合试验验证平台:航空人工智能技术需要经过严格的试验并在验证后投入批量生产和实际应用,包括模拟验证、试飞验证、适航验证。对于模拟验证,须包括一定复杂度与逼真度的机载系统仿真、环境仿真和战斗单位仿真,并建立仿真评价体系,对人工智能应用的效能、成本、缺陷等进行定性或定量的测算。对于试飞验证,需对模拟验证项目进行进一步验证,与模拟验证进行迭代,提升技术成熟度。适航验证则需验证人工智能应用与目前航空工业对于机载技术的适航要求是否符合,并论证新适航规章制定的必要性和修订方案。

标准评测与安全体系:航空人工智能标准是在基础理论与应用取得进展的前提下,对人工智能应用方向的标准化工作,包括软件工程、互操作性、性能验证、涉密信息处理、信息安全与防崩溃机制、可追溯性等进行约定和规范^[31]。航空人工智能安全是对智能系统伦理、法律与社会影响,以及智能系统面对恶意攻击的反应进行研究,主要内容包括符合社会伦理道德与法律的功能定义与使用限制、考虑社会影响的系统使用方案^[32]、功能监控与安全终止机制、系统安全漏洞的检测与修补、面临恶意攻击的防御能力、自我诊断和修复能力、自我改进的确认与倒回机制、错误指令的保护机制、涉密信息的保护与销毁机制。

4 结论

本文通过梳理面向军事应用的航空人工智能进展现状和面向未来空中作战任务场景需求,归纳出航空人工智能技术的概念和内涵,并从人工智能技术发展路线出发,对运行层级、功能需求、基础使能 3 个层面所需要的智能技术发展重点进行论述,最终归纳得到航空领域的人工智能技术架构。本架构对制定航空领域相关技术规划的指导意义如下:

1) 本文所述的技术架构可作为航空工业单位进行人工智能技术研发的参考,促进各技术按照层级分类联合研发,逐步形成完备有序的技术储备。

工业部门可依据技术架构中关键技术层的实际需求,加强对应用层的支撑和对基础层的牵引,协助形成行业合力,带动上下游相关产品研发进展,为联合其他工业部门形成装备的体系化智能提升奠定良好基础。

2) 航空人工智能具有高动态、强对抗、高安全、高可靠等特殊需求,建议以支撑航空智能系统功能需求为牵引,优先发展面向系统功能和应用场景的航空人工智能技术。同时梳理提炼技术突破中遇到的基础理论问题,据此面向全社会研究机构发布航空领域智能技术基础理论研究课题,并紧跟工业化需求开展相关的标准制定工作,构建航空军用智能技术研发环境。

3) 由于军事装备的特殊性,现有面向民用领域的人工智能技术不能够直接应用于军事装备,需要由工业部门牵头,面向未来体系化作战需求,提升海陆空天各作战单元之间的协同作战能力。航空人工智能技术架构可作为民用人工智能技术向军事应用融合转移的指导性参考,制定具有较强针对性的军民融合战略,促进军民产业之间交流合作,明确技术方向,提升成果转化效率。

参考文献

- [1] 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. Penetration and application of artificial intelligence into military field [J]. Science and Technology Review, 2017, 35(15): 15-19(in Chinese).
- [2] 程运江, 张程, 赵日, 等. 人工智能的发展及其在未来战争中的影响与应用思考[J]. 航空兵器, 2019, 26(1): 58-62.
Cheng Yunjiang, Zhang Cheng, Zhao Ri, et al. Development of artificial intelligence and thoughts on its influence and application in the future war[J]. Aero Weaponry, 2019, 26(1): 58-62(in Chinese).
- [3] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 新一代人工智能技术引领下加快发展智能制造技术、产业与应用[J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 73-78.
Li Bohu, Chai Xudong, Zhang Lin, et al. Accelerate the development of intelligent manufacturing technologies, industries, and application under the guidance of a new-generation of artificial intelligence technology [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(4): 73-78(in Chinese).
- [4] Goztepe K. Artificial intelligence applications, do

- army need it[J]. *Journal of Military and Information Science Editorial*, 2014, 2(2): 20-21.
- [5] 侯营东, 胡肖, 丛岳, 等. 基于 LESO 状态反馈的无人机速度控制[J]. *导航定位与授时*, 2018, 5(6): 48-52.
- Hou Yingdong, Hu Xiao, Cong Yue, et al. Airspeed control system design for UAV based on LESO state feedback[J]. *Navigation Positioning and Timing*, 2018, 5(6): 48-52(in Chinese).
- [6] Zhang D, Wang X. Autonomous landing control of fixed-wing UAVs: from theory to field experiment [J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2017, 88(2-4): 619-634.
- [7] Ernest N, Carroll D, Schumacher C. Genetic fuzzy based artificial intelligence for unmanned combat aerial vehicle control in simulated air combat missions [J]. *Journal of Defense Management*, 2016(6): 1.
- [8] 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.
- Huai Zepeng, Gong Min, Chen Ke. Study of future war form development[J]. *Tactical Missile Technology*, 2018(1): 1-8(in Chinese).
- [9] 李婷婷. 美军军事智能化研究现状与启示[C]// 第五届中国指挥控制大会论文集, 2017: 5.
- Li Tingting. Introduction and inspiration to military intelligent of America[C]// *Proceedings of the 5th China Conference on Command and Control*, 2017: 5 (in Chinese).
- [10] 石玲玲, 张恒, 吕博, 等. 美国空军装备技术体系规划及发展分析[J]. *国防科技*, 2017, 38(5): 31-35.
- Shi Lingling, Zhang Heng, Lyu Bo, et al. Analysis of equipment technical system planning and development of American air force[J]. *National Defense Science and Technology*, 2017, 38(5): 31-35 (in Chinese).
- [11] Schwarzrock J, Zacarias I, Bazzan A L C, et al. Solving task allocation problem in multi Unmanned Aerial Vehicles systems using Swarm intelligence[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2018, 72: 10-20.
- [12] 韩佳澎, 薛华. 人工智能技术在航空领域的应用分析[J]. *科技创新导报*, 2019, 16(9): 7-9.
- Han Jiapeng, Xue Hua. Application analysis of artificial intelligence technology in aviation field[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2019, 16(9): 7-9(in Chinese).
- [13] 罗素, 诺维格. 人工智能: 一种现代方法(第3版)[M]. 殷建平, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2013: 4-6.
- Russel S J, Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach(3rd edition)[M]. Translated by Yin Jianping, et al. Beijing: Tsinghua University Press, 2013: 4-6(in Chinese).
- [14] Vagle J L. Tightening the OODA loop: police militarization, race, and algorithmic surveillance[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2017.
- [15] Zhao Danling. The method to evaluate the command and control effectiveness of operational system under uncertain threat situation[C]// *Proceedings of 28th Chinese Control and Decision Conference*, 2016: 5897-5902.
- [16] Jia Y, Li Q, Qiu S. Distributed leader-follower flight control for large-scale clusters of small unmanned aerial vehicles [J]. *IEEE Access*, 2018(99): 1.
- [17] Alsalam B H Y, Morton K, Campbell D, et al. Autonomous UAV with vision based on-board decision making for remote sensing and precision agriculture [C]// *Proceedings of 2017 IEEE Aerospace Conference*. IEEE, 2017.
- [18] John K. Air force to use artificial intelligence and other advanced data processing to hit the enemy where it hurts[J]. *Military & Aerospace Electronics*, 2010, 21(3).
- [19] Kwon D, Kim H, Kim J, et al. A survey of deep learning-based network anomaly detection[J]. *Cluster Computing*, 2019, 22(1).
- [20] Brummelena J V, Brien M O, Gruyer D, et al. Autonomous vehicle perception: the technology of today and tomorrow[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 89: 384-406.
- [21] Judd G B, Szabo C M, Chan K S, et al. Representing and reasoning over military context information in complex multi domain battlespaces using artificial intelligence and machine learning[P]. *Defense Commercial Sensing*, 2019.
- [22] 金欣. 深绿及 AlphaGo 对指挥与控制智能化的启示[J]. *指挥与控制学报*, 2016, 2(3): 202-206.
- Jin Xin. Inspiration to intelligent command and control from deep green and AlphaGo[J]. *Journal of Command and Control*, 2016, 2(3): 202-206(in Chinese).
- [23] Zhen Z, Xing D, Gao C. Cooperative search-attack mission planning for multi-UAV based on intelligent self-organized algorithm[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2018, 76: 402-411.
- [24] Zhang J, Lou M, Xiang L, et al. Power cognition;

- enabling intelligent energy harvesting and resource allocation for solar-powered UAVs[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2019.
- [25] Miller A. The intrinsically linked future for human and Artificial Intelligence interaction[J]. *Journal of Big Data*, 2019, 6(1): 38.
- [26] 任章, 郭栋, 董希旺, 等. 飞行器集群协同制导控制方法及应用研究[J]. *导航定位与授时*, 2019, 6(5): 1-9.
- Ren Zhang, Guo Dong, Dong Xiwang, et al. Research on the cooperative guidance and control method and application for aerial vehicle swarm systems[J]. *Navigation Positioning and Timing*, 2019, 6(5): 1-9(in Chinese).
- [27] Zhao Q, Dong X, Song X, et al. Cooperative time-varying formation guidance for leader following missiles to intercept a maneuvering target with switching topologies[J]. *Nonlinear Dynamics*, 2019, 95(1): 129-141.
- [28] 毛昱天, 杨明, 张锐. 异构多导弹系统自适应分布式协同制导[J]. *导航定位与授时*, 2017, 4(3): 39-45.
- Mao Yutian, Yang Ming, Zhang Rui. Distributed adaptive cooperative guidance for heterogeneous multi-missile systems[J]. *Navigation Positioning and Timing*, 2017, 4(3): 39-45(in Chinese).
- [29] Yezep P, Alsayyed B, Ahmad R. Intelligent assisted maintenance plan generation for corrective maintenance[J]. *Manufacturing Letters*, 2019, 21: 7-11.
- [30] Goztepe K, Kahraman C. A new approach to military decision making process: suggestions from MCDM point of view[C]// *Proceedings of the International Conference on Military and Security Studies*. At Istanbul, 2015: 118-122.
- [31] 付振秋, 杨瑛, 季光. 航空装备人工智能关键技术与标准化探究[J]. *航空标准化与质量*, 2018(4): 23-25+37.
- Fu Zhenqiu, Yang Ying, Ji Guang. Research on the key technology and standardization of artificial intelligence for aviation equipment[J]. *Aeronautic Standardization and Quality*, 2018(4): 23-25+37(in Chinese).
- [32] Swarte T, Boufous O, Escalle P. Artificial intelligence, ethics and human values: the cases of military drones and companion robots[J]. *Artificial Life and Robotics*, 2019, 24(3).