

人工智能技术在直升机领域的应用及发展展望



吴明忠,刘永志*

中国直升机设计研究所,江西 景德镇 333001

摘 要:人工智能技术正在受到世界各国的高度重视,并逐渐在军事领域得到推广应用。人工智能技术与装备的有机结合,将极大地提升装备作战效能,甚至颠覆作战样式。本文基于直升机技术特点分析了直升机对人工智能的典型技术需求,介绍了当前直升机在智能化技术发展方面的最新研究成果,最后对未来直升机的智能化技术的发展趋势进行了展望。

关键词:直升机;军事领域;作战效能;人工智能技术;发展趋势

中图分类号:V11

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2021.01.005

迈入21世纪,人工智能技术进入了高速发展阶段,已成为公认的最有可能改变世界的颠覆性技术。许多国家已将发展人工智能上升为国家战略,并作为提升国家核心竞争力的重要抓手,持续加快人工智能技术创新。在日常的生产生活领域,人工智能正成为经济发展的新引擎,智能监控、生物特征识别、工业机器人、服务机器人、无人驾驶等逐步进入实际应用,带来了社会建设的新机遇。在军事领域,人工智能逐渐成为武器装备从数据优势、信息优势、知识优势向决策优势转变的重要工具,智能化感知与信息处理、智能化指挥控制辅助决策、无人化军用平台、仿生机器人、人体增强等技术在军事领域扮演着越来越重要的角色,推动着作战形态从信息化战争向智能化战争加速演进。

直升机作为低空/超低空作战体系中的重要航空装备,其结构和运行原理特殊,操纵和使用环境复杂,对人工智能技术应用的需求尤为迫切。借助人工智能技术的发展,直升机有望“乘风”实现变革,智能化的设计理念和应用模式将改变直升机的平台性能及使用方式,人工智能技术将在直升机领域扮演生命保障、活动助手、平台管家、智能空战专家等角色,提升平台的作战能力,精准控制直升机完成特定作战任务,改善飞行员单调紧张的驾乘环境。

本文基于直升机技术特点,从气动环境、操纵控制、飞行感知和训练保障等多个维度,分析直升机对人工智能技

术的典型需求,介绍了智能技术在直升机领域的应用现状和技术水平,并对未来人工智能技术在直升机领域的发展方向进行预测和展望。

1 直升机的人工智能需求

在直升机的飞行机理上,前飞时,直升机旋翼系统始终处在非对称、非定常气流环境中,加上非线性安装系统(旋翼-主减速器-操纵)以及高模态机身结构等影响因素,带来了全机较大的振动与噪声,极大地影响飞行安全性及舒适性。人工智能技术主要基于大数据及深度学习算法,对于直升机振动/噪声主动控制、智能旋翼技术的加速发展,将起到极大的推动和促进作用。

在操纵上,直升机操纵复杂,需要对总距杆、周期变距杆、脚蹬进行协同操纵,并要求“手不离杆”;通过总距杆实现直升机的升降,通过周期变距杆实现前、后、左、右飞行,通过脚蹬实现航向变化,各操纵之间交叉耦合强烈,尤其在诸如山脉、峡谷、海面以及恶劣气象等环境下,飞行员一直处于操纵修正补偿状态,操纵性和稳定性难以得到兼顾,亟须将人工智能技术引入直升机飞行控制系统或结构中,发展智能飞行控制技术,协助飞行员处理复杂的飞行任务,提高飞行安全性。

收稿日期:2020-10-10; 退修日期:2020-11-11; 录用日期:2020-12-12

*通信作者: Tel.: 022-59800676 E-mail: leoyongzhi@qq.com

引用格式: Wu Mingzhong, Liu Yongzhi. Application and development prospect of AI technology in helicopter field[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(01): 29-34. 吴明忠, 刘永志. 人工智能技术在直升机领域的应用及发展展望[J]. 航空科学技术, 2021, 32(01): 29-34.

在使用过程中,直升机主要用于低空领域,所面临的战场环境复杂,机上配备的传感设备数量和种类繁多,没有智能技术的参与,飞行员工作负荷将呈指数增长。因此,需要发展智能协同、智能感知、智能认知、智能决策、智能执行等技术,将计算力转化为战场上的感知、决策和执行优势,提升直升机作战过程中信息处理的OODA循环速率,从智能作战单元本体方面满足未来复杂战场环境下快速响应的需求。

直升机使用过程中的训练、维护和保障工作量突出,目前在该方面的信息化程度还较低,不能满足飞行员、勤务人员的实际需求。需开发智能训练、智能维护、智能保障等先进系统,在训练策略、维修策略、故障诊断策略与程序、保障策略等方面全面引入人工智能技术,强化训练质量、提高外场维修效率、减少维护保障的时间^[1]。

2 直升机人工智能应用现状

近些年,人工智能技术在直升机领域进入逐步推广应用的阶段,人工智能技术与直升机技术的初步结合,主要体现在直升机的减振降噪、辅助飞行、辅助决策、着陆起降、有人/无人协同,以及智能驾驶等技术方面。

2.1 减振降噪技术

处理好直升机的振动和噪声问题是直升机设计工程师永恒的主题,也是核心关键难点。第一代直升机的振动水平高达0.25g,噪声达到了110dB^[2]。世界各国针对直升机的减振降噪开展了一系列的技术研究,随着计算机处理速度的飞跃和核心算法的解决,智能控制方式被广泛研究。以直升机智能旋翼为例,其核心是根据不同的飞行工况,以及飞行环境自动调节桨叶翼型和参数,通过智能驱动机构、智能材料以及其他方式控制桨叶的高阶谐波气动力分布,来达到旋翼减振降噪的目的。控制方式包括高阶谐波控制(HHC)、单片桨叶控制(IBC)、主动后缘襟翼(ACF)和主动扭转(ATR)等^[3]。2010年,美国国防预先研究计划局(DARPA)启动名为任务自适应旋翼(MAR)的新构型旋翼概念开发项目(见图1),通过改变旋翼长度、后掠角、弦长、翼型弧度、桨尖形状、扭转角、刚度、转速以及其他参数,以显著提高有效载荷和航程,并降低噪声和振动。

直升机平台的主动振动控制,其核心是“以振动抵消振动”,作动器根据机体振动信号通过自适应控制算法输出振动响应,抵消旋翼激振力产生的振动响应,降低直升机振动水平^[4]。目前已有CH-47、EH-101、UH-60、S-92等机型成功进行了振动控制飞行试验,并取得了非常显著的减振效



图1 任务自适应旋翼

Fig.1 Mission adaptive rotor(MAR)

果。可以预见,随着人工智能技术在振动与噪声控制领域的成熟应用,安静、舒适的乘坐和驾驶环境将成为现实。

2.2 辅助飞行技术

直升机在低空、超低空飞行或执行任务,由于近地环境复杂,直升机的飞行安全受到极大考验。合成视景、视景增强等新兴技术能够在各飞行阶段为飞行员提供合适的信息,便于飞行员操纵飞行,提高直升机的近地飞行安全。而基于智能感知、智能认知的飞行辅助技术,在应对突发情形,驾驶员来不及或无法判断操作时,由智能系统完成的环境感知、路径规划和自主决策,可以辅助飞行员完成自主避障^[5](见图2),如罗克韦尔-柯林斯公司的避障路线重规划软件ARR-2500能够通过认知决策辅助技术提升驾驶舱内的态势感知和安全性;莱奥纳多公司的激光避障系统在悬停和低速飞行时,通过图像和音频向飞行员提供直升机与周围障碍物距离信息等。极光公司的自主空中货运通用系统(AACUS)项目成果可用于各种垂直起降飞行器,使其能够在无准备地点起降,自主躲避障碍物,且前线操作员不用经过训练即可控制其完成起降。

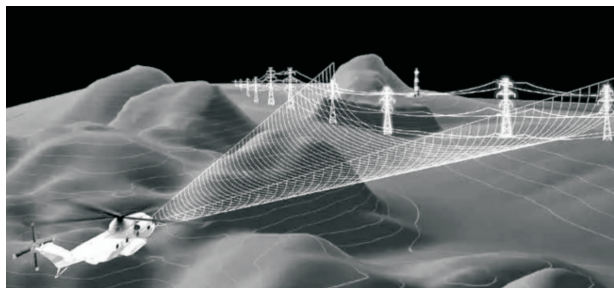


图2 自主避障系统

Fig.2 Autonomous obstacle avoidance

2.3 辅助决策技术

军用直升机在作战时,要面临高度对抗、任务多变的战场环境,战场态势信息交互呈现爆炸式增长,飞行员以及战

斗员都需要快速进行态势评估和决策。具备智能辅助决策能力的核心处理(作战)系统,可在极其复杂的超低空高速飞行情况下,完成各种飞行动作、信息处置和作战任务,为飞行员提供决策支撑。

美军通过不断的技术验证,在“黑鹰”和“阿帕奇”直升机中植入了“战斗助手”核心模块的“认知决策辅助系统”和“机动指挥官助手”核心模块的“智能体数据挖掘组件”,在不同程度上解决了超低空高速飞行的同时,执行各种战术任务状态下的工作负荷问题,提高了飞行员对于战场情报的感知、吸收效率以及即时反应能力(见图3)。

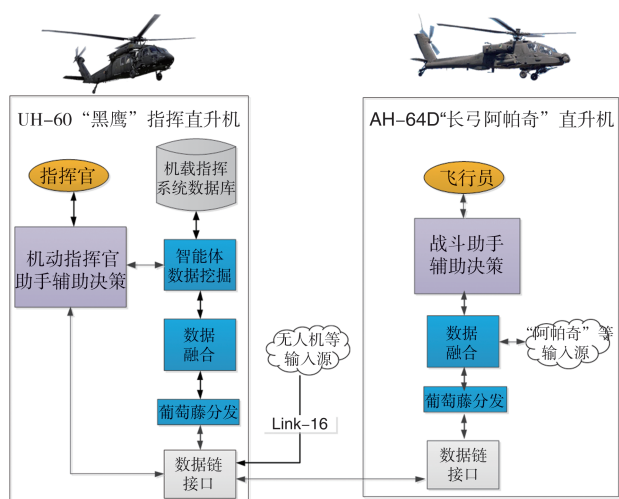


图3 战术辅助决策

Fig.3 Tactics decision-aided system

2.4 着陆起降技术

直升机最大的优势是起降不需要专用跑道,外场使用不受场地限制。但是,直升机在外场场地环境复杂情况下,特别是在复杂海况下进行舰船甲板起降,直升机存在气动干扰严重、动态适配难等问题,带来了较大的安全隐患。将常规起落架技术与自适应技术相结合的自适应起落架(采用机器人仿生技术,实现起落架姿态的实时调整),可以有效地解决复杂场地着陆问题,应用人工智能技术实现控制策略传递的有效性和快速性,将极大提高控制系统对操纵机构的灵活性和响应速度,拓展直升机在两栖作战中岛礁登陆、晃动甲板上的起降思路。

2015年,DARPA展示的新型机器人起落架系统即属于此类范畴(见图4)。自适应系统将标准起落架替换为4个铰接式连接腿,连接腿能够在飞行中折叠在直升机机身旁并且在其脚部配备力敏感接触传感器。在着陆期间,每个支腿延伸并使用其传感器实时确定适当的角度,以确保直升机保持水平并最小化转子接触着陆区域的任何风险。



图4 DARPA自适应起落架

Fig.4 DARPA adaptive landing gear

2.5 有人/无人协同技术

直升机的有人/无人协同大幅提高了直升机的作战效能,扩大了直升机的使用范围,实现无人机自主飞行、有人/无人协同是当前直升机智能化发展的重要方向^[6],飞控操纵、协同感知、协同飞行是主要的研究内容。美军AH-64E“阿帕奇卫士”直升机具备了控制“阴影”和“灰鹰”无人机飞行路径和载荷的能力,利用无人机可以探测到更远距离或障碍物后方的敌人,大幅提升了AH-64E的态势感知能力(见图5),但尚缺乏自主决策能力。2016年起美国陆军规划开展了协同有人无人智能团队项目,以提升自主决策和协同任务能力。可以预计,随着智能化技术的应用,上述问题也将会得到解决。



图5 AH-64E直升机控制无人机

Fig.5 AH-64E controlling UAV

2.6 智能驾驶技术

由于直升机操作复杂,且具有特有的低空/超低空飞行方式,开展具备智能化工作环境的直升机驾驶舱设计,可以将飞行员从繁重的四肢工作中解脱出来,减轻飞行员工作负荷^[7]。世界上先进的四代机固定翼飞机座舱已集成了大屏显示器、多点触控、头盔显示器、三维音频告警、指令式语音控制等技术,为飞行员提供大视场显示、自主界面重构、三维战场态势感知和快速指令执行等功能(见图6)。

在美国陆军有人/无人空中运输(MURAL)项目中,“黑



图6 驾驶舱自动化系统

Fig.6 Cockpit automatic system

鹰”直升机被改进为可选有人操作,升级了最新版本的自主任务管理系统,可以进行自主和远距监控飞行。2015年开始,DARPA 利用人工智能测试直升机驾驶舱自动化系统(ALIAS)。该项目将发展一种可定制、嵌入式的自动飞行系统,并能通过人机接口与飞行员流畅互动。飞行员将仅关注任务规划、军事战术等复杂问题,ALIAS 将完成起飞、巡航、避障、降落等操作,也能纠正飞行员的失误、协商规划飞行方案等。

3 发展展望

每一次重大技术的进步都会引起战争形态和作战样式的深刻变革,结合目前的直升机技术发展方向和未来人工智能发展态势,分析认为,直升机未来的人工智能技术应用将重点朝着三个方向发展:一是基本飞行智能化;二是任务执行智能化;三是综合保障智能化,其对应的三个应用方向的典型应用场景如下所述。

3.1 基本飞行智能化

(1) 智能蒙皮

智能蒙皮又被称为“机灵蒙皮”,是一种针对外界环境变化迅速做出反应的智能材料结构,具备对信息传递、处理和驱动三种功能^[8],采用智能蒙皮结构的直升机将在性能上得到两方面提升,一是可通过微传感器、微处理器、光纤和压电材料与复合材料结合,感知直升机的结构受力、振动分布、疲劳扩展情况,及时做出响应,提高平台性能和安全品质;二是通过光学迷彩形成与背景颜色相匹配的迷彩图案,使直升机成为“变色龙”,提高直升机在低空飞行时的视觉隐身能力^[9]。

(2) 智能变形结构

随着材料、传感器、计算机、微机电系统、气动、控制等

技术的不断进步和完善,基于智能材料与结构来主动改变机翼弯矩和扭矩的新型智能变体机翼技术,可减轻结构重量(质量)和提高气动性能。直升机方面,变体旋翼在直升机性能提升、减振降噪等方面都具有很大的发展潜力,是下一代旋翼技术的发展方向。鉴于变体旋翼气动/结构/驱动/控制耦合动力学问题的复杂性,通过气弹机理来设计控制律显得越来越困难,但未来的人工智能技术能为变体旋翼智能控制提供一条可行的技术途径。

(3) 无忧操纵

无忧操纵主要通过对直升机飞行条件、飞行员的操纵及直升机速度的姿态、载荷变化等进行分析和综合判断,对飞行员操纵进行干预,无忧操纵保证了直升机下一刻的各部件载荷、飞行速度、姿态、发动机及传动等不超过设计限制或对寿命不构成严重损伤。融合了人工智能技术的无忧操纵系统可以通过设计,避免飞行员由于疏忽飞出使用包线,系统保证直升机一直处于使用包线内。由于减轻了飞行员监控座舱仪表和告警的要求,可显著降低工作负荷,减少执行任务的时间,提高任务效能。

3.2 任务执行智能化

(1) 多模式人机交互

通过多模态感知信息(视觉、听觉、触觉、脑电等)处理、语言理解、知识推理等方法,使飞机能够理解操纵人员的控制手势、自然语言、脑电频率信号等非结构化数据,提升机器的数据分析与理解能力,实现辅助决策、智能控制等功能,大幅提高飞机任务响应速度及任务执行效率,并减少对飞行操控者的技术要求。

(2) 航路与任务重构

直升机在不需要改变任务模态的前提下,基于探测感知的战场态势威胁、气象、地形威胁等飞机飞行历史的轨迹数据,采用机器学习技术,对运动模型进行训练并得到精确的飞机模型。通过各种路径优化算法,重新调整航路规划参数,自主生成新的飞行路径,或切换至其他导航模式,从而达到逃逸轨迹精确预测、规避威胁、提高告警成功率、提高高空突防和编队飞行安全性的目的。

(3) 智能协同

有人直升机与无人机协同作战已成为国内外研究关注的热点,其中有人直升机上的无人机操作员需要规划和管理作战任务,甚至直接操控无人机飞行,此外动态变化的战斗任务管理对操作员的智力水平、判断决策及人机协作能力都提出了更高要求,将极大影响作战决策并导致误操作。研发无人机编队管理、有人/无人协作小组管理、无人机航

路管理等内容的智能操作辅助系统嵌入到有人直升机的无人机组操作控制站中,是解决这一问题的有效途径。

3.3 综合保障智能化

(1) 智能训练

为满足贴近实战的训练要求,在提高陆军航空兵的训练效率的同时,应降低训练成本费用。基于人工智能技术,构建基于飞行培训、战术演练和作战效能的智能化模拟训练及实战场景,可打造智能训练系统。充分利用混合现实技术,在实际飞行中叠加模拟外部战场环境及各种作战威胁,如地面威胁、导弹攻击、雷达照射等,使训练人员完全沉浸在“现实环境+虚拟战场”中,犹如打了一场“真实的仗”。

(2) 智能保障

智能战场后勤保障将实现从传统的事后维修、定期维修向主动维修、基于剩余寿命的预测性维修的转变,实现从粗放、规模型维修保障到集约、精确、敏捷型维修保障的转型^[10]。智能后勤系统是未来多机种保障的需要,建立高效获取、存储和处理大量来自多机型、多种类型数据的先进方法,可以通过为多种机上、机下生成的多种类型数据提供通用的数据存储、检索和处理方法来实现。结合故障预测健康管理技术与分布式决策技术,通过实时获取维修保障需求、动态配置保障资源。

4 结束语

人工智能技术在直升机中尚未全面应用,在广度和深度方面还有很大拓展空间,智能化是提升直升机平台性能的关键环节,是提升直升机设计水平的重要手段,是直升机融入未来作战体系的必然趋势。需要直升机行业紧抓时代机遇,做好战略谋划,制定各项有力措施,加大直升机智能化研发力度,推动智能技术在直升机上的发展应用。

参考文献

- [1] 何晓骁,姚成康.人工智能等新技术在航空训练中的应用研究[J].航空科学技术,2020,31(11):7-11.
He Xiaoxiao, Yao Chengkang. Analysis of artificial intelligence and other new technology in aviation training[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(11):7-11. (in Chinese)
- [2] 倪先平,蔡汝鸿,曹喜金,等.直升机划代[J].直升机技术,1999(4):1-9.
Ni Xianping, Cai Ruhong, Cao Xijin, et al. Helicopter generation [J]. Helicopter Technology, 1999(4):1-9. (in Chinese)
- [3] 邓旭东,胡和平,孟微.智能旋翼振动高阶谐波控制方法[J].直升机技术,2018(4):1-7.
Deng Xudong, Hu Heping, Meng Wei. Higher harmonic control approach to smart rotor vibration reduction[J]. Helicopter Technology, 2018(4):1-7. (in Chinese)
- [4] 张永孝,李强.直升机结构响应主动控制技术工程化应用研究[J].飞行力学,2015,33(4):372-375.
Zhang Yongxiao, Li Qiang. Research of engineering application for active control of helicopter structure responses[J]. Flight Dynamics, 2015, 33(4):372-375. (in Chinese)
- [5] 刘冠邦,成海东.基于模糊决策的无人直升机智能实时避障研究[J].信息化研究,2018,44(2):19-20.
Liu Guanbang, Cheng Haidong. Intelligent real-time obstacle avoidance for unmanned helicopter based on fuzzy decision making[J]. Informatization Research, 2018, 44(2): 19-20. (in Chinese)
- [6] 韩志钢.美军有人直升机与无人机协同技术发展启示[J].电讯技术,2018,58(1):114-115.
Han Zhigang. Developing progress and enlightenment of U.S. cooperative technique for manned helicopter and unmanned areal vehicles[J]. Telecommunication Engineering, 2018, 58(1): 114-115. (in Chinese)
- [7] 万会兵,邹博,王立强,等.人工智能在直升机航空电子系统中的应用[J].计算机与网络,2019(21):54-59.
Wan Huibing, Zou Bo, Wang Liqiang, et al. Application of artificial intelligence in helicopter avionic system[J]. Computer and Net, 2019(21):54-59. (in Chinese)
- [8] 李小飞,张梦杰,王文娟,等.变弯度机翼技术发展研究[J].航空科学技术,2020,31(2):12-24.
Li Xiaofei, Zhang Mengjie, Wang Wenjuan, et al. Research on variable camber wing technology development[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(2):12-24. (in Chinese)
- [9] 张亚坤,曾凡,戴全辉,等.雷达隐身技术智能化发展现状与趋势[J].战术导弹技术,2019(1):56-63.
Zhang Yakun, Zeng Fan, Dai Quanhui, et al. Development status and trend of intelligent radar stealth technology[J]. Tactical Missile Technology, 2019(1):56-63. (in Chinese)
- [10] 年夫顺.关于故障预测与健康管理技术的几点认识[J].仪器仪表学报,2018,39(8):1-14.
Nian Fushun. Viewpoints about the prognostic and health management[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018,

39(8):1-14.(in Chinese)

(责任编辑 陈东晓)

Tel:022-59800334

E-mail:wu_mingzhong2021@163.com

作者简介

吴明忠(1975-)男,硕士,研究员。主要研究方向:直升机旋翼动力学。

刘永志(1986-)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:直升机全机动力学。

Tel:022-59800676

E-mail:leoyongzhi@qq.com

Application and Development Prospect of AI Technology in Helicopter Field

Wu Mingzhong, Liu Yongzhi*

China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333001, China

Abstract: AI technology has been highly valued by various countries, and has been widely used in the military domain. The organic combination of AI technology and equipment will greatly improve the operational efficiency and even subvert the combat mode of modern warfare. In this paper, the typical requirement of helicopter AI is analyzed based on the characteristics of helicopter technology, then the research results of foreign helicopter in the development of AI technology are delivered. Finally the development trend of helicopter AI technology is proposed.

Key Words: helicopter; military domain; operational efficiency; AI technology; development trend

Received:2020-10-10; Revised: 2020-11-11; Accepted: 2020-12-12

*Corresponding author.Tel. : 022-59800676 E-mail: leoyongzhi@qq.com