

# 军用直升机智能自主控制技术发展研究



吕少杰<sup>1,\*</sup>, 杨岩<sup>2</sup>, 韩振飞<sup>1</sup>

1. 陆军航空兵研究所, 北京 101121

2. 陆军装备部航空装备局, 北京 100012

**摘要:**军用直升机是在低空、超低空执行作战任务的飞行器,随着战场威胁的不断升级和低空环境的日益复杂,对直升机的任务性能需求不断提升。本文从军用直升机的使用需求分析出发,结合直升机飞控系统技术特点,论证了发展智能自主控制技术的必要性,对当前智能自主飞行控制技术的发展动态和智能化应用情况进行了分析。考虑当前技术基础,区分近期和远期目标,对智能自主控制技术的发展进行了展望,提出了初步思路,为后续该领域技术的发展提供参考。

**关键词:**直升机; 飞行控制; 人工智能; 双模式控制; 人机融合

中图分类号: V249.1

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.10.006

飞行员对军用直升机的操纵包括飞行操控和任务载荷操纵,随着对现代军用直升机飞行品质和任务效能要求的日益提高,直升机的飞行控制技术得到了迅速发展,飞行控制系统发展经历了增稳装置—控制增稳—电传操纵/主动控制,直至光传操纵和综合控制阶段,并与航电、火控、发动机等系统交联实现一体化控制与管理,大大改善了现代直升机的飞行品质<sup>[1]</sup>。无人直升机通过运用经典控制理论或现代控制方法,解决了无人直升机自动控制问题,无人直升机具备了超视距飞行控制能力,可按预定航线实现远程飞行、自动起飞、自动返航和自动着陆/着舰,部分先进装备还具备故障诊断/隔离、自动航线规划等功能,自主控制能力达到了美国空军研究实验室定义的自主控制等级(ACL)中4级水平。然而,直升机由于本身结构和使用条件等问题,事故率仍远高于固定翼飞机,军用直升机在激烈对抗条件下,飞行员既需要负责飞行驾驶,又需要进行有效的信息处理和判断以及武器发射,工作负荷较高,这种情况下如果仍然单纯依赖于驾驶员,驾驶员将耗费大量的精力着重于操纵飞机而不是完成任务,直接导致任务完成能力急剧下降。

人工智能是研究与开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学,它企图了解智能的实质,并生产出一种新的能与人类智能相似的方式做出反应的智能机器<sup>[2-3]</sup>。智能技术不仅可以提升直升机

飞行控制的性能水平和智能化程度,减轻飞行员的操纵、决策负担,同时还是提高直升机任务能力和安全性水平的有效途径。本文以智能飞行控制技术为突破口,对直升机智能自主控制技术需求、发展现状及未来展望进行了分析。

## 1 直升机智能自主控制技术的需求分析

### (1) 提高直升机任务效能

军用直升机作战以低空、近距为主要特点,低空和超低空气象条件复杂、障碍密集、火力威胁严重,提高直升机的安全性和完成任务的能力,越来越多的侦察探测和传感设备装备在了直升机上,显著提高了情报侦察和周围环境数据的收集能力,但面对海量、多源、复杂且快速增长的信息数据,直接起到监督、管理和控制作用的飞行员,需要在超强工作强度下,既要驾驶直升机,又要面临障碍物和各种威胁时进行实时评估,同时快速操纵光电探测、雷达探测、武器、自卫干扰等任务载荷完成目标侦察/信息捕获及目标打击任务,操纵负担明显过重。通过发展智能化飞行控制能力,进一步简化人工操纵,辅助飞行员进行任务决策,降低飞行员工作负荷,最终实现飞行的无忧操纵,从而提高直升机任务效能。

### (2) 提升直升机安全性水平

在20世纪末,美国在10年间的直升机事故率约为13.21次/10万飞行小时,这一数据大约为固定翼飞机的2~3

收稿日期: 2020-07-16; 退修日期: 2020-08-15; 录用日期: 2020-09-23

\*通信作者: Tel.: 010-66857553 E-mail: aili-008@163.com

引用格式: Lyu Shaojie, Yang Yan, Han Zhenfei. Research on the development of military helicopter intelligent and autonomous control technology[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(10): 36-40. 吕少杰, 杨岩, 韩振飞. 军用直升机智能自主控制技术发展研究[J]. 航空科学技术, 2020, 31(10): 36-40.

倍。除装备故障原因外,主要是直升机可完成固定翼飞机不能完成的非标准任务,在超低空、复杂地形下执行任务,易遭遇云雾烟雨使飞行员丧失能见度,发生撞击带电的导线、树木、建筑物、堤坝等,易遭遇不可控制的下降气流,使直升机损失航线高度,造成机体撞地、旋翼撞地或尾桨撞山;易碰上复杂气象而使旋翼结冰,造成直升机坠毁。

在目前直升机飞行控制系统中,具有一定的飞行边界保护功能,包括姿态角限制、最大速度限制、过载限制、高度保护等。直升机飞行状态进入边界限制范围,系统会告警并自动进行飞行边界保护,使直升机飞行状态保持在规定的飞行边界内。随着飞控系统智能化能力的不断提高,可以将更加复杂的飞行安全保护功能融入飞控系统,一旦进入限制范围,系统告警并自动退出操纵以改出该飞行状态,实现高等级的飞行安全保护。

### (3) 拓展直升机飞控系统的适用范围

直升机飞控计算机运行速度快,可以处理复杂的计算,但是飞行控制算法及控制率考虑那些在设计阶段就指定好的、被认为关键的、可以量化的变量,对于出现的突发状况或者设计之初未纳入考虑范围的状况却往往束手无策。战场环境瞬息万变,直升机的飞行状态可能由于态势变化、突发威胁或者是特情状态等原因而发生改变,导致预先设定的飞行规则无法正常使用。采用具有认知能力、自学习能力的直升机智能操控方法,通过有效的飞行数据,进行操控技术的自学习、自升级,可不断拓展直升机飞控系统的适用范围,面对突发状况时,产生具有高置信度的操纵指令。

## 2 智能自主飞行控制技术的发展现状

智能自主控制是指具备感知、学习、推理、认知、执行、演化等类人行为属性的自主控制。通过引入智能技术,在感知、决策、操控等方面赋予飞行器类人行为属性,可显著提升其执行任务的自主能力。近年来,军用直升机自主水平不断提高,但仍需飞行员参与飞行控制,无人直升机已经具备了一定的自主飞行能力,但是距离完全自主执行作战等复杂任务仍有较大差距。

### 2.1 持续升级直升机的自主控制能力

当前直升机面临的战场区域的飞行环境更加复杂。这种状态下,如果仍然单纯依赖于飞行员,飞行员将耗费大量的精力着重于操纵飞机而不是完成任务,直接导致任务完成能力急剧下降。目前,有人直升机平台上虽实现了自动驾驶功能,但仅限于稳定航行阶段,仍不具备自主飞行能力。

2013年起,为大幅降低飞行员操纵负担,提升执行任务

的灵活性,美国西科斯基公司开始将无人自主控制技术和有人直升机平台进行融合,开发了“矩阵技术”和可选有人驾驶飞行器(optionally piloted vehicle, OPV)控制系统<sup>[4]</sup>,以UH-60MU为验证机,升级了自主任务管理系统,使其具备有人操纵、有人自主飞行和无人驾驶之间自由切换功能,其中有人自主模式,直升机进行自主飞行,飞行员主要进行任务载荷操作<sup>[5-6]</sup>。在这种驾驶模式下,相当于增加了一名“虚拟”飞行员,根据飞行员的目标级指令自主驾驶直升机完成飞行。飞行员可通过人工操纵退出有人自主模式,切换到有人驾驶模式。加装OPV系统的直升机可执行并提升自动起降、障碍物规避、着陆区自动选择、地形跟踪飞行等补给任务,美国陆军计划在2025年以前将该技术大量应用于现役直升机,其下一代高速直升机V-280、倾转旋翼机SB-1、共轴刚性旋翼直升机均在开展无人自主飞行能力测试。

欧直公司利用EC-145直升机也成功完成了有人/无人双模控制的无人演示验证飞行,EC-145通过将一个OPV黑盒子植入原有的航电系统获得双模控制功能,有人驾驶模式和无人驾驶模式可以在几分钟内完成切换。美国极光公司对UH-1H直升机进行了可选有人驾驶加改装,使其能够在一名飞行员的监督和控制下进行无人飞行试验,并被重命名为AEH-1(自主能力H-1)。AEH-1首先取得了FAA试验类别下的研究及开发飞行试航性认证<sup>[7]</sup>,随后根据美国联邦航空局(FAA)的8130.34条令取得了可选有人驾驶飞行器试验适航性认证。

有人驾驶直升机通过OPV系统将人与机器进行初步融合,发挥人和机器各自最擅长的优势。飞控系统运行速度快,可以处理执行较为底层的事务性操纵任务且精度较高,如保持高精度悬停、远程机动等非常消耗飞行员精力,利用有人自主模式非常容易完成且精度高。飞行员作为任务管理者在更高层面监督任务执行,专注于作战任务而非飞行任务,执行任务规划、战术决策等机器不能很好处理的复杂问题,将飞行员从繁琐的事务性操作中解放出来。另一方面有效降低了直升机编队对于高级飞行员的需求,为直升机机组配置变革提供了可能,如遇部队战情紧急、机组人员短缺的特殊情况,也可以临时采用单人机组配置与“虚拟飞行员”配合以执行特定任务。

### 2.2 智能算法的应用有待加强

高自主飞行控制能力是任务执行的根本条件之一,直升机通过可选有人驾驶飞行器控制系统可具备预定航线飞行、自动起飞、自动返航和降落的基本能力,但作战中更需

要障碍规避、故障隔离/重构、火飞发一体控制、自动航路规划及重规划等智能控制能力,保障任务顺利进行。

与人工智能爆发式发展相对应的是军事智能化,已成为世界军事强国争夺的新高地,美军认为人工智能技术的应用在减少战争资源投入的同时能大幅提高作战效率,自2013年开始发布了多项人工智能计划,加紧了对人工智能的开发,人工智能飞行员阿尔法AI多次击败了美国空军战术专家驾驶的模拟战机;俄罗斯批准执行了《2025年前发展军事科学综合体构想》,强调人工智能系统不久将成为决胜未来战场的关键因素,提出要注重武器装备的智能化升级改造;日本将人工智能划为国家增长战略的优先发展领域等。

目前,国内外深度学习、AI芯片、大数据分析等人工智能技术发展迅猛,先进算法和芯片可显著提升任务规划、综合态势判断、协同指挥、辅助决策、人机交互等方面的能力<sup>[8-10]</sup>。目前,国外直升机系统智能化技术已经发展到了基于机器视觉、深度学习的综合辅助决策阶段,对辅助驾驶员解决直升机在复杂环境下的威胁感知与规避、盲降等问题发挥着越来越重要的作用,但距离完全由机器执行如无人化作战等复杂任务仍有较大差距<sup>[10-14]</sup>。

### 3 发展展望

美军认为,人工智能未来会像航空航天、核、网络、生物技术一样,成为深刻影响国家安全的革命性技术。事实上,目前人工智能已显现出巨大的军事应用前景和影响力,成为大国竞相争夺的战略前沿。美国于2015年提出人工智能是“第三次抵消战略”关注重点,并明确自主学习、辅助决策、增强人体机能、人机编组和网络化半自主武器是美军人工智能五大发展方向,同时积极探索人工智能技术在情报、网电对抗、自主系统、人机协同/无人集群等领域的军事应用。

在直升机领域,呈现直升机单体智能和有人/无人群体智能迭代发展、齐头并进局面。目前,国外发展直升机系统智能化技术的同时,通过研发大规模有人/无人直升机群体作战,开发直升机作战智能体系,形成大规模直升机群体作战智能认知决策体系,目的是加快了直升机装备作战过程中“观察(O)-判断(O)-决策(D)-指示(A)”循环过程。如俄罗斯宣布的“战斗直升机机队长远计划”主要目的是用人工智能嵌入直升机装备体系,并以大规模直升机群体作战为战术,实现更优质、高效、顺畅的人机融合,提升战场决策效率。但智能技术在直升机控制系统以及机载设备中尚未得到广泛的应用,未来可能在以下方面取得进展。

#### 3.1 混合增强智能操控技术

直升机对操纵动作的反应比一般飞机迟缓,实际任务环境大量的不确定性高,而目前在航空飞行控制领域,高度智能化的控制系统尚未成熟,导致了目前的控制系统并不能完全取代飞行员的作用,同时在复杂未知动态对抗环境下,以及操控规则不完备情形下,可能无法快速完成正确的操纵决策,短期内针对智能飞行控制技术的研​​究可以将重点着眼于人机混合增强智能操控技术,通过人和机器的混合增强来补充智能化程度的不足,将人的作用或者人的认知模型以及学习系统加入到直升机自主操纵系统中,形成飞行员和强化学习飞控系统融合的混合增强智能操控系统,如图1所示。



图1 人机混合智能操控示意

Fig.1 Man-machine hybrid intelligent control schematic diagram

人类面对多源、复杂、异构的战场态势数据,其认知能力和决策能力,相对于机器来说是高级智能,机器在作战过程中通过人类优化的操控决策来进行持续增强学习,将能形成更优的机器智能操控和决策。而在另一方面,由于在直升机特情状态或作战状态下,飞行员需要处理海量的外部数据,应对瞬息万变的战场态势,其生理如果达到极限或心理方面的任何异常,都会造成认知速度和处理能力跟不上战场数据增长和变化的节奏,引发直升机操纵安全问题,降低作战效能。通过特情和作战训练场景的设计,混合增强智能操控技术对飞行员和强化学习飞控系统进行互相增强学习,将能同步提高飞行员的不同状态下的操控水平和直升机自主控制的智能水平。使用机器智能增强训练飞行员,同时辅助飞行员实时、高效、科学地进行操纵和决策,通过机器智能辅助降低反应时间,提高执行任务准确度。

#### 3.2 智能自主决策技术

感知态势和对手威胁,并做出决策与判断是进行飞行操纵的基础的前提,飞行控制系统则是决策之后的执行机构。自主决策系统是广义的控制系统,包含了飞行控制系统,是智能控制系统发展的终极目标。相对之下,无人直升



机的发展对于智能自主决策技术的需求更为强烈。

实现自主决策的前提是分类先进智能算法(如自主深度学习、类脑计算等)的应用,“算法战”成为夺取未来战场主动权、取得未战先胜的重要途径。智能自主决策是对信息整合加工,并产生选择意图的信息处理过程,运用神经网络、专家系统、对策论等方法自主或辅助飞行员进行分析、规划、推演、评估、选择,达到有效增强决策的全面性和时效性目的的信息处理技术。直升机智能决策技术将针对直升机环境复杂、任务多样等特点,通过构建典型场景下的专家库、任务样本库、数据驱动的任务规划机制等,实现智能化任务规划。俄罗斯开展研制直升机人工智能自动攻击系统,据透露,俄军列装的米-28N武装直升机将配备先进的人工智能自动攻击系统,可无需飞行员控制自主识别和攻击目标。这种机载侦察攻击系统名为“电子武器操作员”,能够自动分析地面目标并进行敌我识别,确认目标后自行选择和发射合适的机载武器实施打击。该系统同时保留了“人在回路”的能力,飞行员可随时中断人工智能系统的任务进程,确保其使用武器系统的最终决定权<sup>[15-17]</sup>。

随着单平台自主能力的提升,无人集群将成为重要发展方向,自主集群协同控制、直升机与陆海天异构平台协同控制技术将实现多种不同性能的作战平台灵活组合,实现目标探测、干扰、打击和打击效果评估的一体化作战,大幅提升作战能力。小精灵集群无人机系统如图2所示。



图2 小精灵集群无人机系统

Fig.2 Cluster UAV Gremins

随着人工智能技术的快速发展,无人系统逐步具备感知、调整、决策和执行能力,能够针对战场环境变化自动调整和选择行动方式,从自主“执行”任务向自主“完成”任务转变。

## 4 结束语

直升机飞行控制从改善飞行品质和减轻飞行员工作负荷的单一功能逐渐向改善和提高直升机平台性能、提高任务效率方向发展<sup>[18-19]</sup>。本文从直升机的使用需求出发,论证了开展智能自主控制技术研究的必要性,对该技术的最新

新发展及在智能算法方面的应用进行了分析,结合智能算法的研究进展,从近期和远期对智能自主飞行控制技术的发展进行了展望,从混合增强智能操控技术入手,逐步实现更加广义的自主控制(暨自主决策技术)。

本文是从未来发展趋势和思路的角度提出了初步的想法,现阶段应尽快开展相应的理论算法研究和技术集成验证。

AST

## 参考文献

- [1] 杨一栋. 直升机飞行控制[M]. 北京:国防工业出版社,2019.  
Yang Yidong. Helicopter flight control[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2019.(in Chinese)
- [2] 吴明曦. 智能化战场[M]. 北京:国防工业出版社,2020.  
Wu Mingxi. Intelligent wars[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2020.(in Chinese)
- [3] Schmidhuber J. 2006: celebrating 75 years of AI-history and outlook: the next 25 years [EB/OL]. (2007-02-08). <http://www.idsia.ch/juergen>.
- [4] Anonymous. Updated sikorsky's optionally piloted black hawk makes first flight, 'zero-pilot flights' planned for 2020 [EB/OL]. (2019-06-06). <http://www.rotorandwing.com/2019/06/06/>.
- [5] Takahashi M D, Whalley M S, Fletcher J W, et al. Development and flight testing of a flight control law for autonomous operations research on the RASCAL JUH-60A[J]. Journal of the American Helicopter Society, 2014, 59(3): 1-13.
- [6] Whalley M, Freed M, Takahashi M, et al. The NASA/Army autonomous rotorcraft project[C]//The American Helicopter Society 59th Annual Forum, 2003: 2-6.
- [7] Andreas S, Hakan F. Assurance case to structure COTS hardware component assurance for safty-critical avionics[C]// 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference, 2018: 1-10
- [8] Stengel R F. Toward intelligent flight control[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1993, 23(6): 1699-1717.
- [9] 王伟钢, 丁团结, 楚晓东. 智能化航空飞行控制技术的发展[J]. 飞行力学, 2017, 35(3): 1-5.  
Wang Weigang, Ding Tuanjie, Chu Xiaodong. Development of intelligent aviation flight control technologies[J]. Flight Dynamics, 2017, 35(3): 1-5.(in Chinese)
- [10] Huber M. Bell unveils single-screen V-280 cockpit[EB/OL].

- (2015-05-21).<https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2015-05-21/bell-unveils-single-screen-v-280-cockpit>.
- [11] Pappalardo J. Behold the Bell concept helicopter of the future [EB/OL]. (2017-05-09). <https://www.popularmechanics.com/flight/g2988/bell-concept-helicopter>.
- [12] Mnih V, Kavukcuoglu K, Silver D, et al. Human-level control through deep reinforcement learning[J]. Nature, 2015, 518(7540): 529-533.
- [13] Anonymous. Unmanned aircraft systems integrated roadmap 2005-2030[R]. Washington DC: Department of Defense Office, 2005.
- [14] Zhou Kai, Wei Ruixuan, Xu Zhuolan, et al. A brain like air combat learning system inspired by human learning mechanism [C]// IEEE/ CSAA Guidance, Navigation and Control Conference, 2018: 286-293.
- [15] 符文星,郭行,闫杰.智能无人飞行器技术发展趋势综述[J].无人机系统技术,2019,2(4):31-34.
- Fu Wenxin, Guo Xing, Yan Jie. Overview on the technology development trend of intelligent unmanned aerial vehicle [J]. Unmanned Systems Technology, 2019, 2(4): 31-34.(in Chinese)
- [16] Steinberg M. A fuzzy logic based F/A-18 automatic carrier landing system[R]. AIAA-92-4392-cp, 1992.
- [17] Pachter M, Chandler P R, Smith L. Maneuvering flight control[J].Journal of Guidance Control and Dynamics, 2012, 35(3):368-374.
- [18] 石鹏飞,张航,陈洁.先进民机飞控系统安全性设计考虑[J].航空科学技术,2019,30(12):52-58.
- Shi Pengfei, Zhang Hang, Chen Jie. Safety design considerations for advanced civil aircraft flight control system [J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(12): 52-58.(in Chinese)
- [19] 董明明,刘国强,于琦.直升机着陆过程中动不稳定现象分析[J].航空科学技术,2018,29(1):67-73.
- Dong Mingming, Liu Guoqiang, Yu Qi. Research on dynamic instability during helicopter landing [J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(1): 67-73.(in Chinese)

#### 作者简介

吕少杰(1983-)男,博士,工程师。主要研究方向:直升机飞行力学、航空装备总体论证等。

Tel: 010-66857553 E-mail: aili-008@163.com

## Research on the Development of Military Helicopter Intelligent and Autonomous Control Technology

Lyu Shaojie<sup>1,\*</sup>, Yang Yan<sup>2</sup>, Han Zhenfei<sup>1</sup>

1. Army Aviation Research Institute, Beijing 100121, China

2. Aviation Equipment Bureau, Army Equipment Department, Beijing 100012, China

**Abstract:** Military helicopters perform combat mission at low-altitude and ultralow-altitude, with the continuous escalation of the battlefield threats and the increasing complexity of the low-altitude, the demand for helicopter mission performance continues to escalate. First, the military helicopters use requirements on intelligent control technology were analyzed, combined with technical characteristics of flight control system, the necessity of developing intelligent and autonomous flight control technology was demonstrated, the current dynamic and intelligent application of flight control technology were analyzed. Finally, considering the current technical foundation, distinguishing short-term and long-term goals, the development of intelligent and autonomous control technology was prospected, preliminary ideas were put forward, the research result can provide consideration for the subsequent technical development.

**Key Words:** helicopter; flight control; artificial intelligence; dual mode control; man-machine interaction

Received: 2020-07-16; Revised: 2020-08-15; Accepted: 2020-09-23

\*Corresponding author. Tel.: 010-66857553 E-mail: aili-008@163.com