

Research on the Development of Artificial Intelligence Technology in the Civil Aviation Maintenance Service Industry

Wenyin Yao

Beijing Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd., Shanghai Branch, Shanghai, 201615, China

Abstract

With the rapid development of the civil aviation industry, aviation safety and operational efficiency have become the focus of the industry. Aviation maintenance services, as a key link in ensuring flight safety and aircraft airworthiness, directly affect the operating costs and reputation of airlines. In recent years, the rapid development of artificial intelligence (AI) technology has brought profound opportunities for change to the traditional aviation maintenance service industry. This paper aims to explore the current application status, development trends, and challenges faced by artificial intelligence technology in the civil aviation maintenance service industry. It also provides an outlook on the future integration path of AI technology in the aviation maintenance field, suggesting that human-machine collaboration will be the mainstream direction in the future. Relevant suggestions are put forward for the industry to promote the development of aviation maintenance services in a smarter, more efficient, and safer direction.

Keywords

Artificial Intelligence; Civil Aviation; Aviation Maintenance; Predictive Maintenance; Fault Diagnosis; Intelligent Operation and Maintenance

人工智能技术在民用航空维修服务行业发展的研究

姚文银

北京飞机维修工程有限公司上海分公司, 中国·上海 201615

摘要

随着民用航空业的蓬勃发展, 航空安全与运营效率成为行业关注的焦点。航空维修服务作为保障飞行安全和飞机适航性的关键环节, 其效率和质量直接影响着航空公司的运营成本和声誉。近年来, 人工智能 (AI) 技术的飞速发展, 为传统航空维修服务行业带来了深刻的变革契机。本文旨在探讨人工智能技术在民用航空维修服务行业的应用现状、发展趋势及其面临的挑战, 对未来AI技术在航空维修领域的融合路径提出了展望, 认为人机协同将是未来发展的主流方向, 并对行业提出了相应的建议, 以期推动航空维修服务向更智能、更高效、更安全的方向发展。

关键词

人工智能; 民用航空; 航空维修; 预测性维护; 故障诊断; 智慧运维

1 引言

民用航空运输业是全球经济的重要支柱, 连接着世界各地, 促进了贸易、旅游和文化交流。然而, 航空器作为复杂精密的工业产品, 其安全运行依赖于一套严格、高效且持续改进的维修保障体系。航空维修服务, 是指对航空器及其部件进行维护、修理和大修, 确保其持续适航状态的活动, 是航空产业链中不可或缺的一环 [1]。传统航空维修模式往往依赖于经验丰富的维修人员, 采用定期检查和事后维修相结合的方式, 这种模式在保障安全的同时, 也存在着维修成本高、停放时间长、资源利用率低等问题。

近年来, 以大数据、云计算、物联网和人工智能 (AI)

为代表的新一代信息技术迅猛发展, 为各行各业带来了颠覆性的变革。在航空领域, AI技术的应用潜力巨大, 尤其是在维修服务方面, 其强大的数据处理、模式识别和预测能力, 为解决传统维修模式的痛点提供了新的思路和方法。此外, AI还能辅助维修人员进行更精准的故障诊断, 优化维修流程, 提升培训效果, 甚至实现备件库存的智能管理。

因此, 深入研究人工智能技术在民用航空维修服务行业的应用现状、发展趋势及其影响, 对于推动航空维修行业的转型升级, 提升我国民航的安全水平和国际竞争力具有重要的理论意义和现实价值。本文将围绕这一主题展开论述, 分析AI在航空维修各环节的应用, 探讨其带来的机遇与挑战, 并对未来发展路径进行展望。

2 航空维修服务行业现状及对AI技术的需求

民用航空器是高度复杂的系统, 由数百万个零部件组

【作者简介】姚文银 (1988-), 男, 中国江西人, 本科, 工程师, 从事机械设计制造及其自动化研究。

成,涉及机械、电子、液压、软件等多个领域。航空维修服务旨在确保这些系统在严苛的运行环境下持续、安全地工作。根据维修对象和性质的不同,航空维修服务通常分为航线维护、定期检修和部件修理三大类。无论哪一类维修,都要求极高的可靠性和安全性,任何疏忽都可能导致严重的安全事故。

当前,全球航空维修市场呈现出以下特点:

一是市场规模持续扩大,随着全球航空客运量和货运量的增长,对飞机维修的需求也随之增加;

二是市场竞争日益激烈,传统大型 MRO 供应商面临来自区域性 MRO、航空公司自设 MRO 以及第三方专业服务商的挑战;

三是技术更新换代快,新一代飞机(如波音 787、空客 A350)采用了更多复合材料、先进航电系统和电传操纵技术,对维修人员的技术水平提出了更高要求;

四是成本压力增大,燃油价格波动、人力成本上升等因素使得航空公司更加注重维修效率和成本控制。

传统航空维修模式主要存在以下痛点:

预防性维护的局限性:基于时间的预防性维护虽然简单可靠,但往往导致过度维修,即在部件尚未达到实际失效点时就进行了更换,造成了不必要的成本浪费和资源闲置。同时,对于一些偶发性或慢性的故障,TBM 难以有效预防。

故障诊断的挑战:航空器故障往往表现为复杂的系统级问题,涉及多个部件和子系统。传统依赖维修人员经验进行故障排查的方法,不仅耗时,而且可能因经验不足或判断失误导致诊断错误,延误维修。

维修效率与成本问题:航空器停场时间直接影响航空公司的运力。传统维修流程可能不够优化,导致维修周期长。同时,维修所需的人力、备件、设备等成本高昂。

数据利用不足:现代飞机配备了大量的传感器,在飞行和地面运行过程中产生海量的数据,然而,这些数据往往被分散存储,难以进行有效整合和深度分析,其潜在价值未能充分挖掘。

面对这些挑战,航空维修服务行业迫切需要引入更先进的技术手段来提升效率、降低成本、增强安全性。人工智能技术,特别是机器学习、深度学习、自然语言处理等分支,以其强大的数据分析和模式识别能力,恰好能够满足这些需求。AI 技术能够处理海量、多源、异构的数据,从中发现隐藏的规律和关联,实现对航空器状态的精准评估和故障的早期预警,从而推动航空维修服务向更加智能化、预测性和高效化的方向发展。

3 人工智能技术在航空维修服务行业的应用

人工智能技术在航空维修服务行业的应用场景广泛,涵盖了从预防性维护到维修执行、再到人员培训等多个环节。以下将重点介绍几个关键应用领域:

3.1 预测性维护与健康管理的健康管理

预测性维护是 AI 在航空维修中最具潜力的应用之一。其核心思想是利用 AI 算法分析飞机运行数据,预测部件的剩余使用寿命或潜在故障发生的时间,从而在故障发生前安排维修,实现从“定期维修”到“按需维修”的转变。

案例:美国航空公司与 GE 合作,利用 GE 的 Predix 工业互联网平台和 AI 算法分析飞机发动机数据,实现了对发动机性能的实时监控和预测性维护。通过提前发现潜在问题并安排维护,该公司显著减少了非计划停机时间,降低了维修成本 [2]。

3.2 故障诊断与推理

当航空器出现故障时,快速准确地定位故障源是缩短停场时间、降低维修成本的关键。AI 技术,特别是基于专家系统和机器学习的故障诊断方法,能够有效辅助甚至替代部分人工诊断工作。

基于规则的专家系统:将资深维修专家的知识和经验(以 IF-THEN 规则的形式)编码到系统中,当输入故障现象时,系统能够根据规则进行推理,逐步缩小故障范围。虽然传统专家系统在处理复杂、模糊问题时存在局限,但结合 AI 技术可以使其更强大。

基于机器学习的诊断:利用大量历史故障案例数据训练分类或聚类模型,使模型能够学习故障模式与故障原因之间的复杂映射关系。当遇到新的故障现象时,模型可以输出可能的故障原因及其概率。

基于信号处理的诊断:对于某些类型的故障(如机械故障),可以通过分析传感器信号(如振动信号、声学信号)的特征来进行诊断。AI 算法(如小波变换、频谱分析结合机器学习)能够从复杂的信号中提取故障特征,实现早期检测。

自然语言处理(NLP)辅助诊断:利用 NLP 技术分析维修工单、飞行员报告、故障隔离手册等文本信息,提取关键故障描述和维修过程,辅助诊断推理。

例如,波音公司正在开发基于 AI 的“智能维护系统”,该系统利用机器学习分析飞机传感器数据和维修记录,能够自动识别异常模式,并提供故障诊断建议,帮助维修人员更快地解决问题 [3]。

3.3 维修流程优化与自动化

AI 技术不仅能够优化维修决策,还能优化维修执行过程本身。

任务规划与调度:基于飞机的维修需求、可用维修资源(人员、工具、备件)、维修优先级等信息,AI 算法可以生成最优的维修任务计划和 workflows,实现资源的合理分配,减少等待时间,提高维修效率。

AR/VR 辅助维修:增强现实(AR)技术可以将维修指导信息(如步骤、部件位置、检测参数)叠加到维修人员的视野中,实时引导操作,减少错误。虚拟现实(VR)技

术可以用于模拟复杂的维修任务，供维修人员进行训练和预演。AI可以驱动AR/VR系统，根据维修情境提供个性化的指导。

自动化检测与修复：在某些标准化程度高的维修任务中，可以引入机器人或自动化设备，在AI的指导下完成检测、拆卸、更换、装配等工作，提高效率和一致性，降低人力成本和人为错误风险。例如，使用带有AI视觉系统的机器人进行飞机表面裂纹检测或铆接作业。

3.4 维修人员培训与技能提升

航空维修人员需要具备扎实的理论知识和丰富的实践经验。AI技术可以革新传统的培训方式，提升培训效果。

个性化学习系统：基于维修人员的学习历史、知识掌握程度和技能短板，AI可以推荐个性化的学习内容和训练模块，实现因材施教。

VR/AR模拟训练：如前所述，VR/AR结合AI可以创建高度逼真的模拟维修环境，让维修人员在安全、可控的条件下反复练习复杂或危险的维修操作，积累经验，提升技能。

智能导师系统：AI可以作为虚拟导师，在维修人员遇到问题时提供即时解答和指导，如同经验丰富的老员工在旁辅助。

3.5 备件需求预测与库存管理

备件管理是航空维修成本控制的重要环节。备件短缺会导致飞机停飞，备件积压则占用大量资金。AI可以通过分析历史维修数据、飞机运行计划、部件故障率、供应商信息等多方面数据，进行更精准的备件需求预测。

机器学习模型可以预测未来一段时间内各类备件的需求量，帮助航空公司或MRO企业优化库存水平，实现按需采购，减少库存成本和缺货风险。同时，AI还可以优化备件的存储位置和取用流程，提高仓库管理效率。

4 未来发展趋势与建议

展望未来，人工智能与民用航空维修服务的融合将更加深入，呈现出以下发展趋势：

更深度的数据融合与智能分析：随着物联网技术的发展，飞机将产生更丰富、更实时的数据。AI将能够融合更多维度的数据，进行更复杂的关联分析和预测，实现对航空器健康状态的全面、精准把握。

更强的自主性与决策能力：AI系统将不仅仅提供建议，而是在授权范围内自主执行部分维修决策和任务，例如自动生成维修工单、甚至控制自动化设备完成简单维修。人机协同将更加紧密，人主要承担监督、决策确认和复杂问题处理。

边缘计算的应用：将部分AI计算能力部署在飞机或地面站边缘端，可以实现数据的实时处理和快速响应，减少对云端传输的依赖，提高系统的可靠性和效率，尤其适用于需要快速决策的场景（如紧急故障诊断）。

标准化与模块化：随着应用的普及，AI在航空维修中的应用将趋向标准化和模块化，形成可复用的解决方案，降

低应用门槛。

数字孪生技术的结合：构建航空器的数字孪生体，将物理实体与虚拟模型相结合。AI可以在数字孪生体上进行模拟、测试和优化，预测潜在问题，指导物理世界的维修活动。

基于以上分析，对民用航空维修服务行业提出以下建议：

加强顶层设计与战略规划：航空公司、MRO企业应将AI应用纳入公司发展战略，明确应用场景、目标、路线图和投入计划。

重视数据治理与基础设施建设：加大对数据采集、存储、清洗、整合的投入，建立统一的数据平台，为AI应用奠定坚实基础。

开展试点项目，循序渐进：选择合适的场景，进行小范围试点，积累经验，验证效果，逐步推广。

加强人才培养与引进：通过内部培训、外部引进等方式，培养一批既懂航空业务又懂数据科学和AI技术的复合型人才。

推动产学研合作与标准制定：加强与高校、科研机构的合作，共同攻克技术难题。积极参与行业标准的制定，推动AI技术在航空维修领域的规范化应用。

关注人机协同，提升用户体验：在系统设计和应用推广中，充分考虑维修人员的使用习惯和接受度，设计友好的人机交互界面，让人工智能真正成为提升工作效率的助手。

5 结语

人工智能技术正以前所未有的速度渗透到民用航空维修服务行业的各个环节。从预测性维护到故障诊断，从流程优化到人员培训，AI的应用不仅能够显著提升航空维修的效率、降低成本，更重要的是能够增强航空安全水平，为航空公司的可持续发展注入新动能。尽管在数据、算法、人才、法规等方面仍面临诸多挑战，但随着技术的不断成熟和行业的积极拥抱，这些障碍将逐步被克服。未来，人机协同的智慧运维模式将成为主流，人工智能将成为民用航空维修服务行业不可或缺的“智慧大脑”，引领行业迈向更安全、更高效、更智能的新纪元。

参考文献

- [1] 基于改进YOLOv7的遥感图像小目标检测方法[J]. 苗茹;岳明;周珂;杨阳. 计算机工程与应用, 2024(10)
- [2] 基于深度学习的翼型参数化建模方法[J]. 沈剑雄;刘迎圆;王乐勤. 工程设计学报, 2024(03)
- [3] 发动机大修成本影响因素浅析[J]. 许丕昕. 设备管理与维修, 2023(23)
- [4] 基于轻量化YOLO模型的电力机房设备状态快速检测[J]. 陈鹏;刘攀;郑逐隧;李本航. 制造业自动化, 2023(05)
- [5] 基于深度学习的航空发动机涡轮叶片自动射线检测技术研究[J]. 王栋欢;肖洪;吴丁毅. 推进技术, 2024(05)