

智能飞控故障诊断系统的研究与实现

赵智星

(中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西 西安 710089)

摘要 智能飞控故障诊断系统是当前航空技术中的重要组成部分,其目的是提高飞行控制系统的安全性和可靠性。系统可以实时监测分析飞行数据,及时发现定位飞控系统内的潜在故障。本文主要介绍了智能飞控故障诊断系统在功能、性能及用户界面方面的需求,然后从系统架构、关键算法、系统实现等方面分析了系统设计方法,旨在通过系统开发测试与实际应用促使系统功能实现,最后利用系统评估结果辅助系统优化,使系统功能更为完善。

关键词 智能飞控; 故障诊断系统; 系统设计; 系统实现

中图分类号: V249.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.07.006

0 引言

近年来,我国航空技术快速发展,飞行控制系统的安全性与可靠性也逐渐成为航空领域中重点关注的问题。在现代航空技术中,智能飞控故障诊断系统占据着关键地位。该系统可以控制和减少飞控系统的故障发生,从而为飞行安全提供充分的保障。系统中融合了先进的数据分析、机器学习、人工智能等技术,可以实时监测并深度挖掘飞行数据,及时找出并解决故障风险。在系统的研究与实现过程中,应明确系统需求和设计思路,以达到理想的效果。

1 智能飞控及故障诊断的概述

飞控系统可视为飞行器的神经中枢,连接着飞行员指令与飞行器实际动作,也承担着飞行安全与性能优化的任务。飞控系统利用精密的计算与调节,保证飞行器在各种复杂环境条件下都能稳定飞行。在飞行器体系中,一旦飞控系统出现异常,将直接影响飞行器的稳定性与操控性,甚至威胁乘员的生命安全。因此,飞控系统的状态监测与故障诊断成为航空领域中的重要研究课题。故障作为系统性能下降或失效的直接体现,涵盖了从轻微的性能偏差到严重的系统崩溃等所有异常情况。故障的分类是依据性质、影响范围及修复难度等因素,可划分为硬件故障、软件故障、通信故障等多种类型^[1]。故障诊断是识别并解决系统故障的关键,其流程包括故障信号采集、特征提取、模式识别与故障定位等环节,为飞行器的持续安全运行提供保障。

2 智能飞控故障诊断的特点要求

智能飞控故障诊断面临着飞控系统高度复杂性的挑战,飞控系统由众多精密部件与复杂算法构成,各组件间相互关联、相互影响,形成了一个庞大而精细

的网络。高度的复杂性增加了系统出现故障的可能,也使故障模式呈现出多样化的特点。例如传感器故障、执行机构失效、软件程序错误、通信链路中断等,都对故障诊断的精准度与全面性提出了高要求。因此,智能飞控故障诊断追求的是快速与准确。飞行安全是航空领域的生命线,任何故障如不能得到及时处理,都会对飞行安全构成严重威胁。故障诊断系统必须在极短的时间内准确识别故障类型,定位故障源头,以便快速采取措施,避免事态恶化。要求故障诊断算法不仅要具备高度的智能化与自动化水平,还要能实时处理海量的飞行数据,捕捉故障信号,实现故障的即时预警与精确诊断。

3 智能飞控故障诊断系统的需求

3.1 系统功能需求

智能飞控故障诊断系统在设计上应全面覆盖关键功能领域,提升飞行安全与维护效率。首要的是实现实时的故障检测与即时诊断机制,系统必须持续监控飞行控制系统的各项参数,一旦察觉到异常信号立即启动精密的分析流程,可快速识别潜在问题以便快速响应。建立故障定位与原因剖析功能,运用高级算法追踪故障源头,深入剖析故障发生的根本原因,为后续的修复和预防工作提供依据。提供前瞻性的故障预测与趋势分析能力,综合分析历史数据与当前状态,预测潜在故障的发展趋势,为预防性维护策略的制定提供数据支持。此外,系统还需具备维修建议与决策支持功能,依据故障分析结果自动生成详细的维修指南,包括故障处理步骤、所需备件信息及最优维护时间表等。提供基于大数据的智能决策辅助,优化维护资源配置。

3.2 系统性能需求

智能飞控故障诊断系统在性能层面也需满足严格的标准, 确保在航空领域的应用中保持高效与可靠。诊断的准确性是衡量系统效能的核心指标, 系统应达到高度的精准确度, 在复杂的飞行数据中准确捕捉故障信号, 避免发生误报现象, 保障飞行任务的连续性与安全性。系统响应速度也十分重要, 直接关系到故障处理的时效性。在高速飞行的环境中, 任何延迟都可能带来不可预测的风险。因此, 智能飞控故障诊断系统需具备即时响应的能力, 能在检测到异常的第一时间提供诊断结果, 为后续处理争取时间^[2]。此外, 系统也要保证稳定性。飞行环境复杂多变, 从高空低温到强气流干扰都对系统的稳定性提出了严峻考验。系统必须在极端条件下保持正常运作, 不受外界干扰, 持续提供准确的故障诊断服务, 以应对各种突发状况, 避免飞行安全受到影响。

3.3 用户界面需求

智能飞控故障诊断系统在用户界面设计上应当着重考虑用户体验与信息直观呈现。友好的界面设计是以用户为中心, 布局清晰, 色彩搭配和谐, 图标与按钮设计直观易懂, 用户在初次接触时就能快速熟悉上手, 减少操作难度, 提升工作效率, 在紧急情况下也能帮用户快速做出反应。界面还要提供丰富的故障诊断信息, 将故障类型、发生位置、可能原因及历史记录等诊断结果详尽展现, 为维修决策提供依据。用户可据此全面了解飞行控制系统的状态, 从而做出更加精准的维护计划。此外, 要利用可视化展示提升用户体验。系统可采用图表、动画或 3D 模型等形式直观呈现故障信息与系统状态, 使复杂的诊断数据变得易于理解。直观的展示方式能提升信息的可读性, 增强用户对系统状态的感知, 有助于及时发现潜在问题并采取预防措施。

4 智能飞控故障诊断系统的设计

4.1 系统架构设计

在系统总体架构与模块划分方面, 要构建一个高效、稳定的诊断系统。系统总体架构采用分层设计, 包含数据采集与处理层、故障诊断层与决策支持层。设置数据采集与处理模块, 负责从飞行控制系统中实时捕获各类传感器数据, 经过去噪、归一化等预处理提高后续分析的准确性。采用先进的信号处理技术, 提升数据的实时性与可靠性。故障诊断模块是系统的核心部分, 利用支持向量机、神经网络等, 机器学习算法对处理后的数据深度分析, 识别潜在故障。模块

设计注重算法的鲁棒性与泛化能力, 在复杂飞行环境下依然能准确诊断出故障类型与位置^[3]。决策支持模块基于故障诊断结果提供维修建议与应急处理方案, 采用智能推理技术, 结合历史故障案例与专家知识库生成维护计划。系统各模块间由高效的数据传输协议与接口通信, 达到信息的实时共享与处理。

4.2 关键算法技术

在智能飞控故障诊断系统的设计中, 要合理选择与优化关键算法技术。例如, 对机器学习算法的选择要考虑飞控故障数据的复杂性与多样性, 采用随机森林算法, 具有出色的分类性能与鲁棒性, 在处理高维数据与非线性关系时表现优异。算法集成多个决策树, 降低过拟合风险。采用基于统计与信号处理的方法实现特征提取与选择, 预处理原始传感器数据, 提取幅值、频率、相位等关键特征, 反映飞行控制系统的运行状态。利用特征选择算法筛选出对故障诊断最具贡献的特征子集, 提升算法效率。在故障诊断中运用分类与回归算法, 利用支持向量机分类, 在高维空间中寻找最优超平面, 准确划分故障类型, 再结合回归算法对故障程度量化评估。引入深度学习技术, 采用卷积神经网络与循环神经网络等深度学习模型对时间序列数据建模, 捕捉故障发展的动态特征。

4.3 系统实现技术

在系统实现技术中, 技术选型与设计策略非常重要。选用 Python 作为主要开发语言, 其强大的数据处理与机器学习库为算法实现提供了便利。结合 PyQt 或 Tkinter 等 GUI 框架构建用户友好的交互界面, 选用集成开发环境开发工具, 提升开发效率与代码管理质量。系统采用关系型数据库 MySQL 存储飞行控制数据、故障诊断记录及系统日志等信息, 数据库设计注重数据的一致性与完整性, 通过主键、外键等约束保证数据的关联性。数据存储采用分区表与索引技术, 优化查询性能, 满足数据高效访问需求。系统安全性与可靠性设计实施多层次的安全防护策略, 采用 SSL/TLS 协议加密网络通信, 防止数据被窃取或篡改。系统内部利用权限控制机制限制不同用户对数据的访问权限, 保护数据的机密性。采用冗余设计与故障转移机制提升系统的容错能力与可用性, 保障系统的稳定运行。

5 智能飞控故障诊断系统的实现

5.1 系统开发测试

在智能飞控故障诊断系统的实现阶段要注重系统开发测试, 遵循严格流程进行需求分析, 明确故障诊断的精准度、实时性及用户交互要求。随后设计系统

架构,划分功能模块,包括数据采集、算法处理、结果展示等,选用合适的软硬件资源。开发人员依据设计文档,采用敏捷开发模式快速迭代,同时注重代码质量与可读性。集成阶段各模块按序组装,保证接口兼容与数据流通。系统测试环节采用单元测试与集成测试相结合的方法,单元测试针对单个模块,验证功能实现与边界条件处理。集成测试关注模块间协作,模拟实际运行环境检查系统整体表现。利用自动化测试工具生成测试结果分析报告,对比预期与实际输出,识别并修复缺陷^[4]。依据测试反馈对算法复杂度、内存占用、网络延迟等关键指标进行优化,采用性能分析工具定位瓶颈并针对性改进。

5.2 系统实际应用

将智能飞控故障诊断系统在某型飞行器上展开实际应用,评估其高效与精准的特性。实际部署时将系统与飞行器的传感器网络深度集成,实时捕获包括振动、温度、压力等在内的多维度运行数据,经过预处理去除噪声并标准化。系统内置机器学习算法学习历史故障案例,构建故障特征库。当新数据流入,算法自动匹配特征,快速识别潜在故障。系统成功预警了多起潜在故障,如发动机异常振动、控制系统信号不稳定等,有效避免了飞行事故的发生。对比故障发生前后的系统日志与数据记录,证实了系统预警的准确性。此外,系统提供了详细的故障分析报告,包括故障类型、可能原因及建议的维修措施等。智能飞控故障诊断系统的应用显著提升了飞行器的运行安全性与可靠性,减少了非计划停机时间,提前预警与精准定位故障降低了维修成本与时间。

6 智能飞控故障诊断系统的优化

6.1 系统评估

在智能飞控故障诊断系统的评估过程中,制定评估标准及评估指标,侧重于诊断的准确率、实时性、系统稳定性、用户友好度四大维度。诊断准确率衡量系统识别故障精准度,要求系统能准确区分正常状态与故障类型。实时性关注系统从数据接收到故障诊断结果输出的时间间隔,要求快速响应。系统稳定性强调在各种运行环境下,均能保持稳定运行,无崩溃或异常现象。用户友好度涵盖界面设计、操作便捷性及报告可读性。采用模拟测试与实际运行相结合的评估方法,构建多种故障场景,验证系统在不同条件下的诊断能力。收集飞行器运行数据,分析系统在实际应用中的表现。评估流程包括数据准备、测试执行、结

果记录与分析。评估结果显示系统在诊断准确率与实时性方面表现优异,但在极端条件下系统稳定性略有波动,用户友好度也有提升空间。

6.2 系统优化

智能飞控故障诊断系统的优化基于评估结果,针对评估中发现的系统稳定性与用户友好度问题,采用随机森林算法的综合优化方案。对决策树节点分裂算法进行优化,采用基尼指数最小与信息增益率最大线性组合的方法,提升单棵决策树的分类性能^[5]。同时对决策树集成实行优化,排除性能不佳的决策树,降低决策树间的相关性,提升整体分类精度与系统稳定性。引入更先进的机器学习技术,如深度学习模型,增强系统对复杂故障模式的识别能力。开发更加智能化的数据预处理模块,自动清洗标注数据,提高数据质量与处理效率。未来智能飞控故障诊断系统将朝着更高层次的智能化、网络化和数据驱动的方向发展。利用大数据平台整合全球飞行器运行数据,构建更全面的故障知识库,实现故障的智能预警与精准定位,为飞行安全提供更加坚实的技术保障。

7 结束语

智能飞控故障诊断系统的研究与实现,对于整个航空领域安全水平的提升都有着重要的影响。在系统设计中,利用高效稳定的系统架构和集成先进的机器学习算法与数据处理技术,使系统具备实时监测、精准定位、原因分析等故障识别处理功能,提高飞行控制系统的安全性与可靠性。该系统在实际应用中可提前预警并处理很多潜在故障,降低维修成本和时间。未来通过不断的优化改进,系统功能也将更为完善。

参考文献:

- [1] 吕永玺,冯晨曦,屈晓波,等.一种无人机飞行控制系统故障诊断方法[J].实验技术与管理,2021,38(05):70-74.
- [2] 马立群,孙晓哲,杨士斌,等.民用飞机飞控系统传感器故障诊断研究综述[J].电光与控制,2022,29(01):56-60.
- [3] 崔展博,景博,焦晓璇,等.MBSE技术在飞控系统PHIM中的应用研究[J].国外电子测量技术,2022,41(03):69-78.
- [4] 乐淑玲,李蒙江,曹帅,杨俊.某型直升机飞行控制系统比普配平故障诊断[J].中国战略新兴产业,2021,29(18):81-83.
- [5] 安雪,李少波,张仪宗,等.无人机飞控系统故障诊断技术研究综述[J].计算机工程与应用,2023,59(24):1-15.