

基于多模态数据融合的燃料电池汽车智能故障诊断方法研究

王 敏 王士英

海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘要: 针对燃料电池汽车复杂系统故障诊断难题, 该研究提出一种基于多模态数据融合的智能诊断方法。系统构建了包含数据采集、加密传输、云端处理及智能诊断单元的分层架构, 设计了支持定时与触发双模式的数据上行策略及基于UDS协议的下行诊断指令交互机制。采用机器学习算法建立故障预测模型, 结合历史数据与实时参数分析实现故障精准定位。实验结果表明, 该系统在模拟与实车测试中均表现出较高的诊断准确率与响应速度, 较传统方法缩短故障排查时间, 有效提升了维修决策效率。研究成果为燃料电池汽车智能化故障诊断提供了可行方案, 对推动新能源汽车技术发展具有重要参考价值。

关键词: 燃料电池汽车; 故障诊断; 智能系统; 多模态数据融合; 机器学习算法; 数据上行策略; UDS协议; 故障定位

1 引言

1.1 研究背景

燃料电池汽车, 作为新能源汽车领域的璀璨新星, 正引领着汽车产业的未来发展趋势。然而, 随着其技术复杂度的不断提升, 故障排查工作也面临着前所未有的挑战。传统的依赖人工经验的排查方法, 已难以适应现代燃料电池汽车高度集成、智能化的故障诊断需求。因此, 探索一种高效、准确的故障诊断方法显得尤为重要。

1.2 研究意义

智能诊断技术的出现, 为燃料电池汽车故障排查提供了新的思路。它通过高度集成的辩证与数理逻辑、符号与数值处理, 以及推理与算法的统一, 为故障诊断提供了科学、严谨且高效的解决方案。本研究旨在深入探讨一种创新的燃料电池汽车故障智能诊断排查系统及方法, 旨在提高故障诊断的准确性和效率, 为燃料电池汽车的广泛应用提供有力保障。

1.3 国内外研究现状简析

在汽车故障诊断技术领域, 国内外学者已进行了大量研究。传统诊断技术主要依赖人工经验, 简单仪器诊断技术则通过仪器对汽车进行初步检测。然而, 这些技术难以满足现代汽车, 尤其是燃料电池汽车的故障诊断需求。近年来, 随着大数据、人工智能等技术的快速发展, 智能诊断技术逐渐崭露头角。它通过分析汽车运行数据, 运用专业算法进行故障诊断与预测, 显著提高了诊断的准确性和效率^[1]。本研究将在借鉴国内外相关研究成果的基础上, 结合燃料电池汽车的特点, 提出一种更

具针对性的智能诊断排查系统及方法。

1.4 研究目的

本研究旨在构建一种集数据上行与下行功能于一体的燃料电池汽车故障智能诊断排查系统, 实现燃料电池汽车故障的快速、准确定位与排查。通过本研究, 我们期望能够为燃料电池汽车的故障诊断提供一种新的、更为高效的解决方案, 推动燃料电池汽车技术的进一步发展与应用。

2 智能诊断系统概述

2.1 汽车故障诊断技术研究现状

汽车故障诊断技术作为汽车维修领域的重要分支, 旨在通过科学的方法和技术手段, 对汽车运行过程中出现的故障进行准确、快速的识别和定位。传统诊断技术主要依赖维修人员的经验和简单仪器, 如诊断仪、万用表等, 对汽车进行初步检测。然而, 这些方法在面对复杂故障时, 往往难以准确判断故障原因, 且诊断效率较低。

随着科技的进步, 现代诊断技术逐渐崭露头角。这类技术主要基于大数据、人工智能等先进技术, 通过分析汽车运行数据, 运用专业算法进行故障诊断与预测。相较于传统诊断技术, 现代诊断技术具有更高的准确性和效率, 能够显著缩短故障诊断时间, 降低维修成本。

2.2 智能诊断技术在汽车维修中的应用

智能诊断技术作为现代汽车维修领域的重要发展方向, 其优势日益凸显。首先, 智能诊断技术能够显著提高故障诊断的准确性和效率。通过实时采集和分析汽车运行数据, 智能诊断系统能够迅速识别出潜在故障, 并

提供准确的故障诊断结果。其次,智能诊断技术还能够降低维修成本。通过远程监控和诊断,维修人员可以及时了解车辆状况,避免不必要的维修操作,从而节省维修费用。

在国内外汽车维修实践中,智能诊断技术已得到广泛应用。例如,在某些高端汽车品牌中,智能诊断系统已成为标准配置,为车主提供实时的车辆状态监测和故障诊断服务。此外,随着新能源汽车的普及,智能诊断技术在燃料电池汽车故障诊断领域也展现出巨大潜力。

2.3 燃料电池汽车故障诊断技术

燃料电池汽车作为新能源汽车的重要类型,其故障诊断技术具有特殊性。燃料电池汽车的主要组成部分包括燃料电池堆、电机、控制器等,其工作原理涉及电化学、热力学等多个学科领域。因此,燃料电池汽车的故障诊断需要综合考虑多种因素,如电池性能、电机状态、控制器参数等。

目前,燃料电池汽车故障诊断技术主要包括基于模型的故障诊断方法、基于数据驱动的故障诊断方法等。基于模型的故障诊断方法通过建立燃料电池汽车的数学模型,对车辆运行状态进行实时监测和异常检测。当车辆运行状态与模型预测结果不一致时,即可判断为出现故障。基于数据驱动的故障诊断方法则通过分析大量实车运行数据,运用机器学习等算法进行故障诊断与预测。

3 系统与方案设计

3.1 系统架构设计

本研究提出的燃料电池汽车故障智能诊断排查系统,其整体架构精心设计,涵盖了数据采集单元、高效传输单元、云端服务器以及核心的智能诊断单元。数据采集单元负责实时捕捉车辆各系统的运行数据,确保数据的全面性和准确性;传输单元则通过先进的通信技术,将这些数据安全、快速地传送至云端服务器;云端服务器作为数据处理与分析的中心,不仅存储了大量历史数据,还配备了强大的计算能力,以支持复杂的智能诊断算法运行;智能诊断单元则是系统的“大脑”,它基于云端服务器提供的数据和算法,对车辆状态进行实时监测,及时发现并准确定位故障^[2]。

各组成部分之间功能明确,相互协作,共同构成了一个高效、准确的故障诊断系统。数据采集单元与传输单元的紧密配合,确保了数据的实时性和可靠性;云端服务器的高效处理能力和智能诊断单元的精准算法,则为故障诊断提供了有力的技术支持。

3.2 数据上行功能设计

在数据上行方面,系统实现了整车各个控制器主动

实时上传数据至平台的功能。这些数据包括但不限于车辆运行状态、故障码、异常参数等关键信息^[3]。为了确保数据的安全性和隐私性,系统采用了先进的数据加密与透传技术,确保数据在传输过程中不被窃取或篡改(参见图1)。

此外,系统还提出了灵活的数据上行策略,包括定时上传和触发上传两种模式。定时上传模式确保了数据的连续性和完整性,而触发上传模式则能够在车辆出现异常或故障时,立即上传相关数据,为快速定位问题提供有力支持。

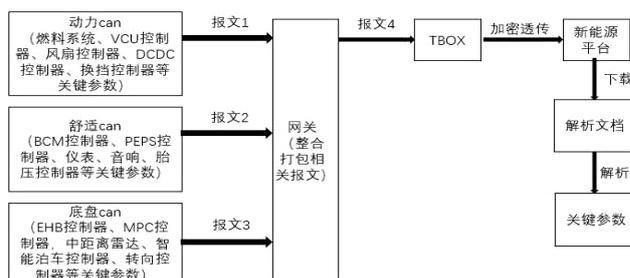


图1 故障排查机制上行模式原理图

(TBOX接收报文,采集参数加密上传,故障时下载解析)

3.3 数据下行功能设计

数据下行方面,远程服务器通过新能源平台实时获取车辆数据,并运用专业算法对这些数据进行深入分析。当发现故障码或异常参数时,系统能够迅速下发诊断指令至车载TBOX,触发预设的诊断流程。这一流程包括了ECU软/硬件复位服务、清除故障码服务、读故障码服务以及动作测试服务等多项内容,为维修人员提供了全面的诊断支持。

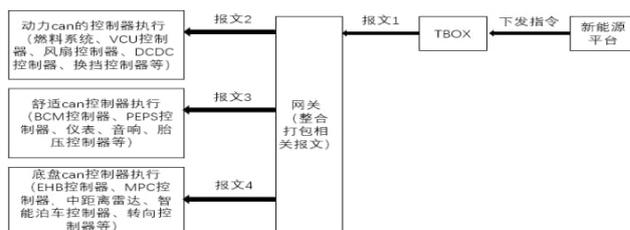


图2 故障排查机制下行模式原理图

(平台发指令,TBOX依UDS协议转发诊断)

3.4 智能诊断算法设计

智能诊断算法是系统的核心部分,它基于大数据分析和学习算法,实现了故障诊断与预测的智能化^[4]。系统通过建立故障模型,对车辆运行状态进行实时监测和异常检测。当车辆运行状态与模型预测结果不一致时,系统即可判断为出现故障,并准确定位故障点。

此外,系统还提出了维修决策支持方案。这一方案结合了车辆的历史数据、维修记录以及当前故障情况,

为维修人员提供了最优的维修方案推荐。这不仅提高了维修效率，还降低了维修成本，为燃料电池汽车的广泛应用提供了有力保障。

4 实验验证与结果分析

4.1 数据收集与预处理

实验数据主要通过车载TBOX实时采集，并上传至新能源平台（参见图3）。采集的数据包括但不限于车辆运行状态、故障码、异常参数等关键信息。为了确保数据的准确性和可用性，我们对原始数据进行了清洗和标准化处理。

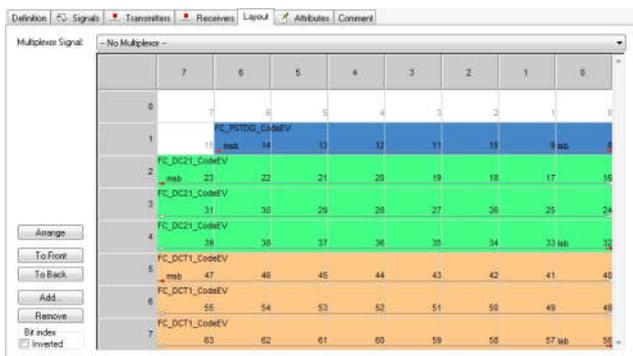


图3 网关报文信息

数据清洗过程包括去除重复数据、纠正错误数据以及填补缺失数据等步骤。数据标准化则是将数据转换为统一的格式和范围，以便于后续的分析 and 处理^[5]。经过预处理后的数据，更加准确、可靠，为实验结果的准确性提供了有力保障。

4.2 实验结果分析

通过对实验数据的深入分析，我们验证了所提出系统的准确性和效率。在模拟故障测试中，智能诊断系统能够迅速准确地识别出故障类型，并定位故障点。与传统诊断方法相比，智能诊断系统在故障诊断时间和准确性方面均表现出显著优势。

在实际道路测试中，我们选取了多条具有代表性的行驶路线，对车辆进行了长时间的连续监测。结果表明，智能诊断系统能够在车辆行驶过程中实时准确地诊断出故障，为维修人员提供了及时的故障排查依据。

此外，我们还对实验过程中遇到的问题进行了深入探讨，并提出了相应的解决方案。例如，针对数据传输过程中的延迟问题，我们优化了通信协议，提高了数据传输的实时性；针对智能诊断算法的准确性问题，我们对算法进行了进一步的优化和调整，提高了故障诊断的准确率。

5 讨论、结论与展望

5.1 系统优势、局限性及研究总结

本研究构建的燃料电池汽车故障智能诊断排查系统，在提高故障诊断准确性、效率及降低维修成本等方面展现出显著优势。系统通过实时采集和分析车辆运行数据，运用专业算法进行故障诊断与预测，有效缩短了故障诊断时间，提高了维修效率。同时，系统实现的远程监控和诊断功能，为维修人员提供了便捷的故障诊断服务，降低了维修成本。

然而，本系统也存在一定的局限性。例如，系统对数据的依赖性较高，数据的质量和准确性直接影响诊断结果的准确性。此外，系统的智能诊断算法仍需不断优化和完善，以提高故障诊断的准确性和实时性。

5.2 未来发展趋势与研究展望

随着新能源汽车的普及和技术的不断发展，智能诊断技术在燃料电池汽车故障诊断领域的应用前景将更加广阔。未来，智能诊断技术将继续向更高精度、更高效的方向发展^[6]。具体而言，以下几个方面将成为未来的研究重点：

- ◎优化智能诊断算法：通过引入更先进的机器学习和深度学习算法，提高故障诊断的准确性和实时性。

- ◎提高系统实时性：通过优化数据传输和处理流程，缩短故障诊断时间，提高系统的实时性。

- ◎拓展系统功能：结合新能源汽车领域的最新发展动态，不断拓展智能诊断系统的应用范围和功能，如加入预测性维护、故障预警等功能。

- ◎加强数据安全性与隐私保护：随着数据量的不断增加，数据安全和隐私保护将成为未来研究的重要方向。

智能诊断技术在燃料电池汽车故障诊断领域具有广阔的应用前景和重要的研究价值。未来，我们将继续深入研究智能诊断技术，不断优化和完善系统功能，为燃料电池汽车的广泛应用提供更有力的保障。

参考文献

[1]潘汉平.基于深度学习的新能源汽车电机故障诊断技术模型构建研究[J].汽车测试报告,2023,(18):50-52.
 [2]钱磊.智能汽车故障诊断系统设计与实现探讨[J].汽车测试报告,2024,(08):23-25.
 [3]潘文卿,李圣展,王梦,等.CANFD协议在故障诊断中的研究与应用[J].汽车电器,2022,(07):46-48.
 [4]李永基.汽车电路故障预测模型构建研究[J].汽车测试报告,2024,(14):104-106.
 [5]董杰,李杨,李研强,等.基于历史故障库的汽车电子系统故障诊断方法[J].山东科学,2013,26(04):91-95.
 [6]公茂金.基于人工智能的汽车故障诊断与预测[J].汽车维修技师,2024,(08):23-25.