

Development and Application Research of Automotive Fault Diagnosis System Based on Artificial Intelligence

Zhen Wei

Weijie Automotive Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

This article focuses on the research of an artificial intelligence based automotive fault diagnosis system, and develops an efficient and accurate system to address the limitations of traditional fault diagnosis methods. The system adopts a layered architecture, including data layer, algorithm layer, and application layer, with functions such as fault diagnosis, prediction, and data analysis. Collect data through multiple sensors, preprocess it, use machine learning and deep learning algorithms to construct models, and train and optimize them. The application case analysis verified the effectiveness of the system, with a diagnostic accuracy of 93%, an average diagnostic time of 3 minutes, and a user satisfaction rate of 85%. At the same time, the challenges faced by the system, such as data quality, algorithm limitations, network security, and interpretability, were analyzed, and corresponding countermeasures were proposed. Finally, summarize the research results, point out the shortcomings, and look forward to future development directions, including expanding data collection, improving model universality, and combining new technologies.

Keywords

artificial intelligence; Automotive fault diagnosis; System development; Algorithm optimization; Application Cases

基于人工智能的汽车故障诊断系统开发与应用研究

魏震

蔚捷汽车科技有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

本文围绕基于人工智能的汽车故障诊断系统展开研究, 针对传统故障诊断方法的局限性, 开发了一套高效准确的系统。该系统采用分层架构, 包含数据层、算法层和应用层, 具备故障诊断、预测及数据分析等功能。通过多种传感器采集数据, 经预处理后, 利用机器学习和深度学习算法构建模型, 并进行训练优化。应用案例分析验证了系统的有效性, 其诊断准确率达93%, 平均诊断时间3分钟, 用户满意度85%。同时, 分析了系统面临的数据质量、算法局限、网络安全和可解释性等挑战, 并提出了相应对策。最后总结研究成果, 指出不足并展望未来发展方向, 包括扩大数据收集、提升模型通用性及结合新技术等^[1]。

关键词

人工智能; 汽车故障诊断; 系统开发; 算法优化; 应用案例

1 引言

汽车行业快速发展, 电动化、智能化趋势显著, 2023年全球汽车销量8918万台, 新能源汽车销量1405万辆, 但传统故障诊断依赖经验, 存在效率低、准确性差等问题。

基于人工智能的诊断系统意义重大, 可提升效率、准确性, 降低成本, 保障安全。研究目标是开发高效准确的系统, 构建智能模型, 实现相关功能并验证性能。

研究内容包括关键技术、架构设计、功能实现、案例分析及问题探讨。方法采用文献研究、案例分析和实验研究, 技术路线为需求分析、数据处理、模型训练、系统实现、测

试优化及应用评估。

2 基于人工智能的汽车故障诊断系统开发

2.1 系统需求分析

为明确基于人工智能的汽车故障诊断系统需求, 研发团队通过问卷调查、访谈等方式开展调研, 面向车主、维修技师及汽车生产企业人员发放500份有效问卷, 并对20位资深维修技师深度访谈, 还与车企技术及质控人员交流。结果显示, 80%以上车主希望系统实时监测发动机、变速器等关键部件状态, 故障时能向手机推送警报; 维修技师期待系统提供含故障类型、原因及维修建议的详细报告, 并适配不同品牌车型电子控制系统; 车企则关注系统在生产线的應用, 以快速全面检测下线车辆, 排查线路连接错误、传感器安装不当等问题, 提升生产效率与产品质量。基于调研, 系

【作者简介】魏震(1976-), 男, 中国浙江杭州人, 工程师, 从事新能源汽车维修服务、汽车检测与维修研究。

统需具备三大核心功能：故障诊断功能，实时采集发动机转速、油温等传感器数据，经人工智能算法分析，准确判断故障有无、类型及位置，如发动机转速异常时，能区分是内部零部件、燃油供应系统还是点火系统问题；故障预测功能，通过深度学习分析车辆历史与实时数据，预测潜在故障，提前预警，比如依据发动机关键零部件磨损趋势及运行数据，预测未来故障概率并提醒保养维修；数据分析功能，对大量运行数据统计分析，挖掘潜在信息与规律，为故障诊断预测、车企改进设计工艺、车主获取个性化驾驶维护建议提供支持，例如分析不同驾驶习惯下的能耗数据给出节能建议，分析不同路况气候下的故障概率为车企改进车辆适应性提供参考^[2]。同时，系统需满足相应性能需求：准确性上，诊断准确率达95%以上，误诊率和漏诊率控制在5%以内，确保算法能精准学习识别故障模式，如准确区分发动机的火花塞、喷油嘴、气门等不同故障；实时性方面，从数据采集到输出诊断结果的延迟控制在1秒以内，以便及时响应故障，为驾驶员应急处理争取时间；稳定性上，能在车辆长时间行驶、温湿度大幅变化、强电磁干扰等复杂环境下持续可靠运行，保障高温、强电磁干扰等场景下的诊断准确性与数据处理稳定性。

2.2 系统架构设计

系统采用数据层、算法层、应用层的分层架构。数据层收集存储传感器数据、维修记录等，通过分布式文件系统与关系型数据库结合保障高效存取；算法层集成机器学习和深度学习算法，构建并优化故障诊断模型；应用层提供车载和移动端交互界面，实现状态查看、警报接收等功能，并对接其他系统实现数据共享。数据采集与预处理模块通过各类传感器经车载网络采集数据，经清洗去除异常值、填充缺失值，转换为统一格式并提取有效特征。故障诊断算法模块核心是机器学习与深度学习算法，如SVM分类故障、决策树分支判断，CNN处理振动信号，RNN及变体分析时序数据预测故障。人机交互模块设车载和移动端界面，车载界面展示关键信息，移动端支持远程监控，还优化用户体验，提供图形化展示和语音交互功能。

2.3 关键技术实现

数据采集技术上，系统用多种传感器和先进方法获取高质量数据。传感器类型丰富，温度传感器监测发动机等部件温度，压力传感器测油压等，转速传感器检测发动机和车轮转速；采集方法结合实时与批量，实时通过车载网络获取数据，批量定期收集历史数据。数据预处理技术可提升数据质量，数据清洗用阈值和滤波算法去噪声，缺失值依情况用均值填充或线性插值处理，数据归一化采用最小-最大和Z-score法，消除量纲影响。故障诊断模型训练与优化是关键，先收集多样故障样本数据，划分成训练、验证和测试集，训练中调整模型参数，用SGD及其变体等优化算法更新参数，还采用交叉验证技术，提高模型可靠性和泛化能力，保障诊

断性能。

3 汽车故障诊断系统的应用案例分析

3.1 案例选择与介绍

本研究选取轿车和SUV两种常见车型及发动机、电气系统两类故障作为案例。某品牌紧凑型轿车作为轿车案例，保有量大且故障具代表性，发动机易因火花塞积碳出现怠速抖动等问题，电气系统则常见电池老化导致启动困难；某款中型SUV作为SUV案例，因使用场景不同，底盘悬挂系统易因复杂路况出现减震器漏油等问题，传动系统的四驱系统也可能发生故障影响通过性。发动机故障案例中，一辆5年车龄轿车因喷油嘴堵塞，出现抖动、加速困难，还增加油耗与污染；电气系统故障案例里，一辆3年车龄SUV因发电机故障致电池亏电，造成大灯熄灭、故障灯亮起，影响行驶安全与驾驶员判断。

3.2 系统应用过程与结果

在上述发动机故障的轿车案例中，车辆通过发动机转速传感器、节气门位置传感器、氧传感器等采集实时运行数据，经CAN总线传输至ECU，ECU初步处理后由4G或5G模块加密上传至云端故障诊断系统；系统接收数据后，利用深度学习算法将当前数据与正常模型对比，发现发动机转速异常波动、节气门开度与转速关联异常及空燃比异常，结合学习到的故障模式，确定为喷油嘴堵塞导致故障；随后系统建议清洗喷油嘴，维修人员按建议操作后，经系统检测，车辆发动机抖动减轻、加速性能提升，转速稳定、空燃比恢复正常，验证了系统的有效性，提升了维修效率与质量，减少了维修时间和成本^[3]。

应用效果评估：为评估系统，选取100个涵盖多系统的故障案例，系统诊断准确率达93%，发动机、电气系统、传动系统故障诊断准确率分别为95%、90%、92%，仅罕见复杂故障准确率待提升；系统平均诊断时间3分钟，远低于传统方法的30分钟，能提高维修效率等；对180位用户的调查显示，整体满意度85%，多数用户认可其功能、准确性等，也收到了改进建议，为系统优化提供方向。

4 基于人工智能的汽车故障诊断系统的挑战与对策

4.1 面临的挑战

系统面临多方面挑战，数据质量问题尤为突出。传感器受电磁干扰、机械振动等影响会产生噪声数据，如发动机振动传感器受干扰后数据异常波动可能导致误判；数据缺失因传感器或通信故障等出现，影响模型完整性，像关键温度数据缺失会干扰发动机过热故障判断；数据不一致源于子系统间时间不同步等，如ECU和TCU车速测量差异给诊断带来困扰。算法存在局限性，机器学习和深度学习对复杂罕见故障诊断能力不足，因这类故障历史数据少，模型难学够特征，且存在过拟合或欠拟合问题，如决策树过深过浅都有弊

端；深度学习需大量数据，训练耗时，且可解释性差，影响用户信任。网络安全风险严峻，数据泄露会侵犯隐私、威胁安全，如黑客获取传感器数据可分析行驶习惯；恶意攻击能篡改数据、破坏系统，像入侵电子控制系统误导诊断；系统漏洞也易被利用，老旧车型漏洞更成攻击目标。系统可解释性是难题，人工智能诊断结果难解释，深度学习模型决策过程难懂，用户不知诊断依据，维修技师因无法理解依据可能不信任结果而用传统方法，且在法规要求下，可解释性不足可能影响系统推广应用。

4.2 应对策略

4.2.1 数据处理与质量提升

数据处理与质量提升可从三方面着手。数据清洗上，通过设定合理阈值、规则及 3σ 准则筛选过滤数据，剔除噪声和异常值，比如去除明显超范围且持续时间短的发动机转速噪声数据，提升数据准确性与可靠性。数据缺失处理时，采用均值填充法，计算特征平均值填充缺失数据；对时间序列数据用线性插值法，如依据前后时刻车速推算缺失车速。为提高数据一致性，需建立统一标准规范，明确传感器数据定义等；确保不同子系统数据采集时间同步，如借助时钟同步技术让发动机和变速器控制单元采集时间一致；同时对数据交叉验证和校准。

4.2.2 算法改进与优化

算法改进可从三方面进行。构建混合算法模型，结合多种算法优势，如将深度学习与机器学习结合，利用深度学习强大的特征提取能力，从汽车运行数据中提取复杂特征后，再用机器学习算法分类诊断，例如用卷积神经网络提取发动机振动信号特征，输入支持向量机进行故障分类，以提高诊断准确性和效率。改进现有算法结构也很重要，以深度学习模型为例，可优化神经网络层数和神经元数量，经实验分析确定最优结构；在循环神经网络中引入注意力机制，计算不同时间步数据权重，让模型聚焦关键信息，提升对时间序列数据的处理能力。参数调整是关键环节，采用 Adagrad、Adam 等自适应学习率策略，依数据特点和训练过程自动调整学习率；通过交叉验证调优决策树最大深度等其他参数，找到最优组合，提升算法性能。

4.2.3 网络安全防护措施

为保障系统数据安全，需采用多重防护措施。数据加密方面，传输时使用 SSL/TLS 等加密协议，存储则采用

AES 等算法加密本地或云端数据，比如汽车传感器数据传输前加密，仅授权方凭密钥解密，保障数据安全。访问控制是重要手段，建立严格身份认证机制，采用密码、指纹等多因素认证，确保仅授权用户访问。按角色分配权限，如维修技师仅限处理维修相关数据，管理人员可查看整体运行数据，防止非法操作。定期用专业工具扫描系统软硬件漏洞，发现后及时更新软件、安装补丁修复。同时建立安全事件应急响应机制，发生安全事件时迅速隔离系统、恢复数据等，降低损失，如定期扫描诊断系统漏洞并及时修复，保障系统安全。

4.2.4 可解释性增强方法

增强人工智能诊断结果的可解释性可通过三种方法。可视化技术能将结果直观呈现，通过绘制折线图展示发动机转速、油温等参数变化，标注故障诊断结果，使用户直观看到故障时的数据异常，加深理解。规则提取是有效方式，从训练好的模型中提取规则，如决策树模型可转化为“如果……那么……”的形式，例如“若发动机转速低于阈值且油温高于阈值，可能存在过热故障”，让用户清晰了解决策依据，提升信任度。结合领域知识解释也很重要，邀请汽车专家依据汽车结构等，对诊断结果分析解释，将专家经验融入系统。如诊断出制动系统故障时，解释可能是制动片磨损等原因，帮助用户理解故障缘由和处理方法。

5 总结

本研究成功开发基于人工智能的汽车故障诊断系统，采用分层架构，优化算法模型，诊断准确率达 93%，平均诊断时间 3 分钟，用户满意度 85%，验证了系统有效性。但存在不足，罕见故障数据少致诊断能力有限，模型通用性待提升。未来将扩大数据收集，探索通用算法框架，结合迁移学习提高泛化能力，还将利用车联网实现远程诊断，探索生成对抗网络等新技术应用，推动诊断技术创新发展。

参考文献

- [1] 丁强. 新能源汽车动力系统故障诊断技术研究与应用[J]. 汽车维修技师, 2025, (08): 19-20.
- [2] 朱如平. 新能源汽车电池故障诊断与维修系统优化研究[J]. 汽车测试报告, 2025, (06): 46-48.
- [3] 张雅晴. 智能化诊断系统在汽车维修中的应用与效能评估[J]. 汽车维修技师, 2025, (04): 70-71.