

面向新能源车的 CAN 通信故障检测算法优化

章海霞

浙江万里扬股份有限公司杭州分公司 浙江杭州 310000

【摘要】在新能源车蓬勃发展的当下，CAN通信对车辆运行至关重要，但其故障频发。本文深入研究面向新能源车的CAN通信故障检测算法优化，通过剖析CAN通信原理、故障类型以及现有算法的优劣，提出改进机器学习算法、提升实时性、构建自适应调整机制等策略，经仿真和实车测试验证效果，为提升CAN通信可靠性、推动新能源车产业发展提供支撑。

【关键词】新能源车；CAN通信；故障检测算法；算法优化

Optimization of CAN communication fault detection algorithm for new energy vehicles

Zhang Haixia

Zhejiang Wanliyang Co., LTD. Hangzhou Branch, Zhejiang Hangzhou 310000

【Abstract】In the booming development of new energy vehicles, CAN communication is crucial to the operation of vehicles, but its faults occur frequently. This paper studies the new energy vehicle CAN communication fault detection algorithm optimization, by analyzing the CAN communication principle, fault type and the quality of the existing algorithm, improve machine learning algorithm, improve real-time, build adaptive adjustment mechanism strategy, the simulation and real car test validation effect, to improve CAN communication reliability, promote the development of new energy vehicle industry.

【Key words】new energy vehicles; CAN communication; fault detection algorithm; algorithm optimization

引言

随着全球环保意识的不断增强，对清洁能源的需求持续攀升，加之新能源技术日新月异，新能源车市场迎来了爆发式增长，从早期的小众产品逐渐成为汽车行业的重要支柱。在新能源车复杂的内部电子系统中，CAN通信作为连接电池管理系统、电机控制系统等众多电子控制单元的关键桥梁，承担着数据传输的重要使命，确保车辆各功能模块间协同运作。然而，新能源车的运行环境复杂多变，电磁干扰、线路老化等问题频发，导致CAN通信故障不断涌现。因此深入研究CAN通信故障检测算法优化迫在眉睫，这对于推动新能源车产业的可持续发展具有重要意义。

一、CAN通信原理及故障类型分析

（一）CAN通信基本原理

CAN即控制器局域网（ControllerAreaNetwork），是一种广泛应用于汽车电子领域的串行通信协议。其采用独特的多主竞争式总线结构，允许多个节点同时连接到总线上，并在需要时发送数据。在新能源车中，电池管理系统、电机控制系统、车身控制系统等众多电子单元通过CAN总线紧密相连，形成一个有机的整体。

在通信过程中，各节点依据预先设定的优先级发送数据

帧。优先级的设定通常基于数据的重要性和实时性要求，例如，电机的转速和扭矩数据关乎车辆的动力输出，其优先级相对较高；而一些辅助设备的状态信息，优先级则相对较低。当多个节点同时有数据需要发送时，优先级高的节点将优先获得总线使用权，确保关键数据能够及时传输。数据以差分信号的形式在总线上传输，这种传输方式利用两条信号线之间的电压差来表示数据，具有很强的抗干扰能力。例如，在电机高速运转产生强电磁干扰的环境下，差分信号能够有效抑制干扰，保证数据的准确传输^[1]。以电机控制系统为例，其将电机的转速、扭矩等关键运行参数进行打包，按照特定的数据帧格式发送到CAN总线上。电池管理系统通过CAN总线接收这些数据后，根据电机的实时运行状态，精确调整电池的输出电压和电流，确保车辆的动力系统稳定运行。

（二）常见故障类型

位错误：位错误是CAN通信中较为常见的故障类型之一。主要是由于电磁干扰、线路老化、接触不良等多种因素的影响，导致数据在传输过程中个别位发生翻转，从而使得接收端接收到的数据与发送端发送的数据不一致。例如，在车辆经过强电磁辐射区域，如高压变电站附近时，CAN总线传输的信号可能受到干扰，原本传输的“0”信号可能会误变为“1”信号。这种位错误虽然看似微小，但在一些对数据准确性要求极高的应用场景中，如自动驾驶辅助系统的传感器数据传输，可能会导致严重的后果。

帧错误：帧错误涵盖了多种不同的错误情况，其中较为常见的包括数据帧格式错误和 CRC 校验错误。当数据帧格式错误发生时，接收节点无法按照预定的格式解析数据，导致数据无法被正确理解和处理。例如，数据帧中的起始位、结束位、数据长度等关键信息出现错误，接收节点将无法准确识别数据的边界和内容。而 CRC 校验错误则是指接收端根据接收到的数据重新计算 CRC 校验码，并与发送端发送的校验码进行对比时，发现两者不一致，这表明数据在传输过程中出现了错误^[2]。CRC 校验码是一种用于检测数据传输错误的冗余码，通过对数据进行特定的算法计算得出。一旦 CRC 校验失败，说明数据在传输过程中可能受到了干扰或损坏。

二、现有 CAN 通信故障检测算法综述

（一）传统检测算法概述

CRC 校验算法：CRC (CyclicRedundancyCheck) 校验算法是一种广泛应用于数据传输领域的错误检测算法。在 CAN 通信中，发送端在数据帧的末尾添加 CRC 校验码。CRC 校验码是通过对数据帧中的数据进行特定的多项式运算得出的。接收端在接收到数据帧后，会根据相同的多项式算法重新计算 CRC 校验码，并将计算结果与接收到的 CRC 校验码进行对比。如果两者一致，则认为数据在传输过程中没有出现错误；如果不一致，则判定数据出现了故障。CRC 校验算法具有简单高效的特点，能够快速检测出大部分常见的传输错误。然而，它也存在一定的局限性，对于一些复杂的错误模式，如多个位同时发生错误且错误模式恰好满足 CRC 校验规则时，CRC 校验算法可能无法检测出错误，因此对复杂故障的检测能力有限。

奇偶校验算法：奇偶校验算法是一种更为简单的错误检测算法。它通过计算数据中“1”的个数是奇数还是偶数，然后在数据中添加一个奇偶校验位。如果采用奇校验，当数据中“1”的个数为偶数时，奇偶校验位设置为“1”；当数据中“1”的个数为奇数时，奇偶校验位设置为“0”。接收端在接收到数据后，同样计算数据中“1”的个数，并根据奇偶校验位来判断数据是否正确。如果计算结果与奇偶校验位不一致，则说明数据在传输过程中出现了错误。奇偶校验算法的检测能力相对较弱，它只能检测出数据中奇数个位发生错误的情况，对于偶数个位发生错误的情况则无法检测出来。因此，奇偶校验算法主要适用于对数据准确性要求不高的简单数据传输场景，如一些低速的状态监测数据传输。

（二）智能检测算法发展

支持向量机 (SVM) 算法：支持向量机算法是一种基于统计学习理论的分类算法。在 CAN 通信故障检测中，它通过对大量的正常通信数据和故障通信数据进行训练，构建一个分类模型。这个模型能够学习到正常数据和故障数据之间

的特征差异，从而在实际应用中，根据接收到的数据特征，准确识别出数据是否存在故障以及故障的类型。例如，通过对不同类型的位错误、帧错误和总线故障数据进行训练，SVM 算法可以建立起相应的分类模型，当接收到新的数据时，能够快速判断数据是否属于已知的故障类型^[3]。SVM 算法具有良好的泛化能力和较高的准确率，能够有效地检测出多种不同类型的故障。

神经网络算法：神经网络算法是一种模拟人类大脑神经元结构和功能的计算模型，具有强大的学习能力和复杂模式识别能力。在 CAN 通信故障检测中，神经网络可以通过对大量的历史数据进行学习，挖掘出数据中的潜在规律和特征。例如，深度神经网络可以对 CAN 通信数据进行多层次的特征提取和分析，能够更深入地理解数据之间的内在联系，从而对复杂的故障模式进行准确识别。与传统算法相比，神经网络算法能够处理更加复杂的数据和故障模式，在检测精度上有了显著的提升。

（三）现有算法局限性

传统算法的局限性：传统的 CRC 校验算法和奇偶校验算法虽然简单易用，但在检测精度方面存在明显的不足。它们只能检测出部分简单的错误类型，对于间歇性故障和复杂故障组合的检测能力较弱。例如，当 CAN 通信中出现间歇性的电磁干扰导致数据偶尔出现错误时，传统算法很难及时准确地检测到这些间歇性故障。此外，对于多种故障同时发生的复杂故障组合，传统算法往往无法准确判断故障类型和位置。

智能算法的局限性：虽然基于机器学习的智能检测算法在检测精度上有了很大的提升，但它们也存在一些问题。首先，智能算法通常需要大量的训练数据来构建准确的模型，而获取和标注这些训练数据往往需要耗费大量的时间和人力成本。其次，智能算法的计算量较大，在实际应用中，特别是在对实时性要求极高的新能源车高速运行场景下，可能无法满足快速响应的需求。例如，当车辆在高速行驶过程中突然出现 CAN 通信故障时，智能算法如果不能及时检测并做出响应，可能会导致严重的后果。此外，不同车型的 CAN 通信数据特征和故障模式存在一定的差异，现有的智能算法在不同车型和工况下的适应性不足，需要针对不同的车型进行大量的参数调整和模型优化。

三、面向新能源车的 CAN 通信故障检测算法优化策略

（一）改进的机器学习算法

优化特征提取：针对新能源车 CAN 通信数据的特点，采用先进的信号处理技术进行特征提取。小波变换是一种常用的时频分析方法，它能够对信号进行多尺度分析，将复杂的 CAN 通信信号分解为不同频率成分的子信号。通过对这

些子信号的分析,可以提取出更能反映故障特征的信息。例如,在正常通信状态下,CAN 通信信号的频率分布具有一定的规律,而当出现故障时,信号的频率成分会发生变化。通过小波变换,可以准确地捕捉到这些频率变化,从而提取出故障特征。与传统的特征提取方法相比,基于小波变换的特征提取方法能够更全面、准确地反映 CAN 通信信号的特征,提高机器学习算法的识别准确率。

融合多模型: 为了进一步提高故障检测的准确性和全面性,将多种机器学习模型进行融合。例如,将支持向量机(SVM)、神经网络等模型结合起来,采用投票机制进行决策。在实际应用中,每个模型独立对输入数据进行判断,然后根据各个模型的判断结果进行投票。如果多数模型判断数据存在故障,则判定数据为故障数据;如果多数模型判断数据正常,则判定数据为正常数据^[1]。不同的机器学习模型对不同类型的故障可能具有不同的优势,例如,SVM 在处理线性可分问题时表现出色,而神经网络在处理复杂的非线性问题时具有优势。通过融合多模型,可以充分发挥各个模型的长处,弥补单一模型的不足,提高故障检测的全面性和准确性。

(二) 实时性提升策略

硬件加速: 利用专用的硬件加速器来提高算法的计算速度。现场可编程门阵列(FPGA)是一种广泛应用于硬件加速领域的可编程逻辑器件。在 CAN 通信故障检测算法中,将算法的关键部分在 FPGA 上进行硬件实现。FPGA 具有并行处理数据的能力,能够同时处理多个数据通道,大大提高了计算速度。例如,在对 CAN 通信数据进行实时分析时,FPGA 可以快速地对数据进行特征提取和模型计算,满足故障检测对实时性的要求。与传统的软件实现方式相比,基于 FPGA 的硬件加速方案可以将计算速度提高数倍甚至数十倍,确保在车辆运行过程中能够及时检测到 CAN 通信故障。

分布式计算: 采用分布式计算架构,将故障检测任务分布到多个计算节点上。在新能源车中,各个电子控制单元都具备一定的计算能力,可以将这些电子控制单元作为分布式计算的节点。例如,将 CAN 通信数据按照一定的规则分配到不同的电子控制单元中,每个电子控制单元分别对分配到

的数据进行部分计算,然后将计算结果汇总到一个中央节点进行综合分析。通过这种方式,可以充分利用车辆内部的计算资源,减少单个节点的计算负担,加快故障检测的速度。同时,分布式计算还具有较好的扩展性和容错性,当个节点出现故障时,其他节点可以继续工作,保证故障检测任务的正常进行。

(三) 自适应调整机制

环境自适应: 在不同的环境条件下,如高温、高湿度、强电磁干扰等,CAN 通信的故障模式和概率可能会发生变化。因此,算法需要能够根据环境传感器采集到的环境信息,自动调整检测参数。例如,在高温环境下,电子设备的性能可能会下降,CAN 通信出现故障的概率会增加。此时,算法可以适当提高检测灵敏度,降低误报率,确保能够及时检测到潜在的故障。

工况自适应: 在不同的驾驶模式下,如城市道路行驶、高速公路行驶、爬坡等,车辆的 CAN 通信数据量和频率也会发生变化。算法需要根据车辆的工况信息,如车速、加速度、档位等,自动调整检测阈值。例如,在高速公路行驶时,车辆的 CAN 通信数据量较大,传输频率较高,算法可以适当调整检测阈值,以适应这种变化,确保在不同工况下都能准确地检测出 CAN 通信故障。

结语

本文深入研究了面向新能源车的 CAN 通信故障检测算法优化,全面剖析了 CAN 通信原理、故障类型及现有检测算法的优缺点,创新性地提出了一系列优化策略,并通过仿真实验和实车测试验证了优化效果。未来,应持续关注新能源车技术发展动态,紧密结合新兴技术,如人工智能、大数据、5G 等,进一步完善算法性能。同时,加强跨行业、跨领域的合作,推动算法在实际应用中的广泛推广,为新能源车产业的高质量发展注入强大动力,助力实现绿色出行和智能交通的美好愿景。

参考文献

- [1] 孟辉, 郭锐. 现代 ix35 车偶发 C-CAN 通信故障[J]. 汽车维护与修理, 2024, (16): 79-80. DOI: 10.16613/j.cnki.1006-6489.2024.16.017.
- [2] 卢德胜. 新能源汽车动力电池管理系统常见故障分析[J]. 汽车维护与修理, 2024, (02): 70-72. DOI: 10.16613/j.cnki.1006-6489.2024.02.023.
- [3] 杨永锴, 张敏龙, 许春雨, 等. 液压支架电液控制系统总线通信故障检测与诊断方法[J]. 工矿自动化, 2023, 49(12): 70-76. DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2023040086.
- [4] 王巍, 吴凯悦, 吴法海. 汽车 ABSECU 烧录测试一体机设计与应用[J]. 自动化仪表, 2022, 43(04): 101-105+110. DOI: 10.16086/j.cnki.issn1000-0380.2021070004.