一种基于 DoIP 协议的多线程 ECU 刷写方法

许雨舟　金希栓　陈新毅　汪洋　何龙胜

奇瑞汽车股份有限公司捷途品牌事业部

摘要：随着智能网联技术的迭代，车载 ECU 亟需突破传统单线式刷写性能边界。针对传统 CAN/CANFD 单线程刷写面临的时效瓶颈，构建一种新刷写架构：首先传输层协议采用 DoIP 替代 CAN/CANFD 总线；其次使用多线程调度器，实现 ECU 并行刷写；最后引入定时复位策略，保障刷写流程鲁棒性。刷写周期压缩至 48.8%，提高故障自愈率，为多 ECU 刷写提供有效方案。

关键词：DoIP 协议；多线程；并行刷写；线程池

1　研究背景

1.1　CAN/CANFD 协议

CAN 协议，全称为“控制器局域网络（Controller Area Network）”，是目前各大主机厂广泛应用的一种通信协议，多应用于整车 ECU 数量偏少的车型上。该协议基于多主节点广播通信机制，CAN 总线将汽车内部各电控单元之间连接成一个局域网络，实现了信息的共享，形成完整的车载网络通信体系。

伴随着车辆 ECU 数量的增加，自动驾驶领域逐渐开始兴起，汽车电子对总线宽度和数据传输速率的要求也越来也高。CANFD 协议作为 CAN 协议的升级版本，于 2012 年发布。CANFD 维持了大多数 CAN 的特征，最大的改变为提升了传输的数据量。相对于 CAN 而言，CANFD 将传输速率提升 8 倍。在一些特定情况下仅使用传统 CAN 的 ECU 上，逐步引入 CANFD 节点，为各大主机厂上节约了升级成本。

1.2　研究现状

UDS 诊断，别称“统一诊断服务”，通过其定义的一整套诊断命令便可实现与车辆 ECU 之间的通信。这一套在传统 OSI 七层模型中位于最后一层应用层，而 CAN 与 CANFD 协议位于网络传输层，在 UDS 诊断中，主机厂常用的命令通常涵盖：数据传输、输入输出控制、例程服务、上传下载控制及安全访问。

目前，汽车电子架构的革新、市场消费需求的激增刺激了驱动刷写升级的亟待需求，主要体现在 ECU 数量激增和国内新能源汽车形势利好两个方面。

（1）ECU 数量激增：2000 年前，燃油车 ECU 数量不足 10 个；2000 ～ 2015 期间，ECU 增至 20 个左右；2015 至今，辅助驾驶、智能座舱等需求推动 ECU 数量突破 30 ～ 50 个，代码量陡增。

（2）国内新能源汽车形势利好：目前市场新能源车辆销量攀升，国内传统主机厂比亚迪、奇瑞汽车、吉利汽车，新势力“蔚小理”以及互联网企业参与的品牌小米、“四界”均有开拓产线生产高端新能源车辆需求。

因此需要一种快速、可靠且能兼容 ISO-14229 标准的协议，所以以太网也逐步应用在汽车的刷写领域中。

2　相关理论

2.1　DoIP 简介

DoIP（Diagnostic over Internet Protocol）作为车载以太网 ISO 13400-2 的核心诊断协议，凭借高带宽、灵活路由与多会话支持特性，成为下一代车载刷写技术的理想载体。

DoIP 通过 IP 分片机制传输超长数据包，相对于 CANFD，速度提升 20 倍。同时，DoIP 仍然遵循传统的 TCP/IP 模式，这意味着它仍然支持原生 IPv6 协议栈，鉴于 IPv6 已是一个泛化使用且稳定性极强的协议栈，这对未来 DoIP 的大面积推广使用奠基了可靠的基础。主机厂仍可使用 OBD 接口，不需要额外采购设备，即可在原有的产线上完成刷写节拍的提升。

2.2 多线程介绍

多线程是实现并行计算范式的核心方法之一。以典型文件传输场景为例进行类比诠释：单个下载任务实例可映射为独立线程实体，多任务实例的协同运作即构成多线程架构。当系统支持多个下载任务在时间或空间维度上同步执行时，此类任务的同步执行即为并发操作的具体表现形式。

当并发的线程数量增多时，每个线程仅执行了短暂的任务即被中止销毁，如此频繁的创建线程—执行任务—销毁线程的流程会显著降低系统运行的效率，因此多线程中应运而生了线程池这一概念，避免了线程频繁创建与销毁。

结合更快的传输协议 DoIP 与并行策略可大幅度缩短多 ECU 刷写时间，可应对市场激增的高端新能源汽车需求。

3 DoIP 多线程刷写方法

此刷写方法基于 DoIP 协议构建分层式架构，整体流程采用“总—分—总”的模式进行刷写，与传统以 ECU 数量简单确定分支数量不同，此方法首先采用总刷左域网关的模式，其次将剩余模块分为 8 个线程，进行 8 分支并行刷写。最终对电池管理模块进行单路刷写，对所有模块进行特殊复位处理。

3.1 多线程调度

传统单线程刷写模式因串行执行效率低下与资源利用率不足，难以满足多 ECU 并发升级需求。首先，多线程可将多个 ECU 的刷写任务分解为独立子任务，通过线程池动态调度，实现物理层带宽资源的全利用率，通过任务划分、优先级排序及动态资源调度，确保多 ECU 刷写的实时性、可靠性与效率。

首先选择以单线程的模型刷写左域控网关，皆因其作为网络中枢，需优先更新以确保后续通信稳定性，同时避免了左右域网关并行刷写引发的崩溃，以时间换取后续刷写的稳定性。其次八分支并行刷写，将 ONEBOX 分别置于两条不同分支，最大化节省时间。最后将电池管理置于八分支之后，确保 BMS 可读取车速信号，既符合安全法规，又保证刷写的成功率。整体刷写流程如图 1 所示。

3.2 复位策略设计

为保证每个分支刷写能够顺利进行，减少故障发生率，针对性地设计了一套复位策略。整体复位流程如图 2 所示。

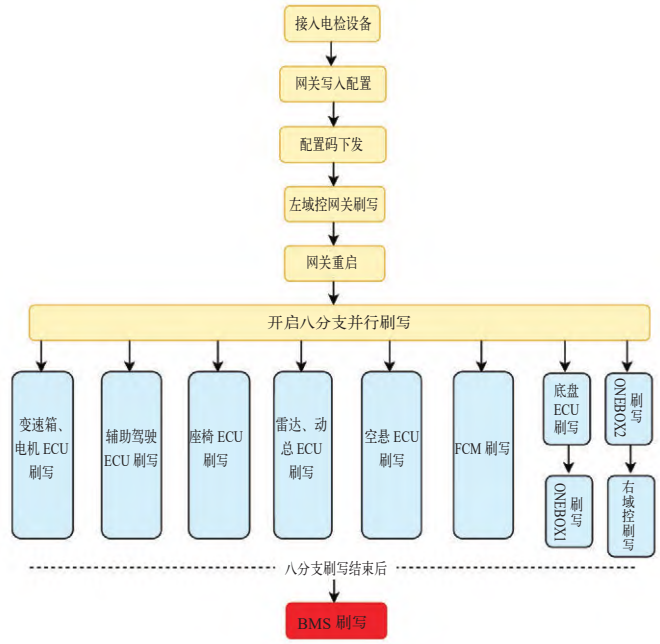

图 1 ECU 刷写流程

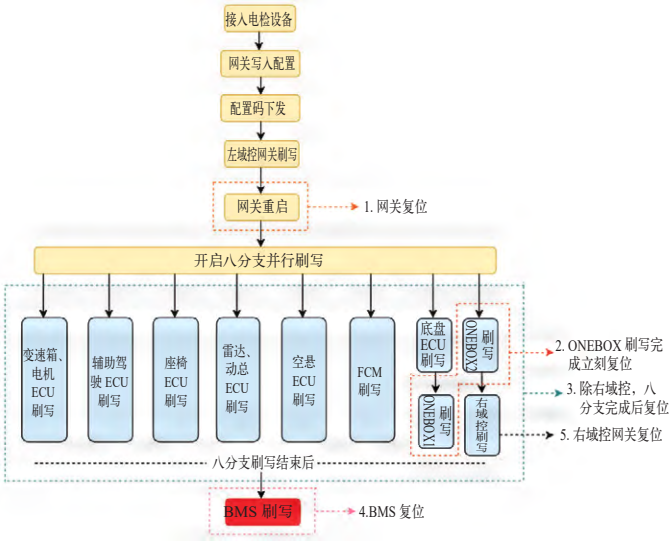

图 2 复位流程

不同于传统的即刷即复，首先于单线程刷写网关结束时，对左网关进行统一复位，确保左网关已激活最新配置，保证后续刷写通信成功。其次为了响应安全法规需要，特定 ECU 需读取车速信号的需求，ONEBOX 于刷写完后即刻复位，确保特定 ECU 可读取车速信号。而后八分支刷写 ECU 除右域网关外，于并行流程结束后统一复位，确保不会因右域网关造成其它 ECU 的复位失败。最终于并行流程结束后依次对 BMS、右域网关进行复位。

本套复位流程既非即刷即复，也非并行结束后的统一复位，而是设计了特定的复位时序，既满足了安全法规的需要，也保证了整体刷写过程的成功率。

4 试验

试验采用的硬件设备为 MFT 手持电检仪（支持 DoIP 协议），产线设备实况如图 3 所示。

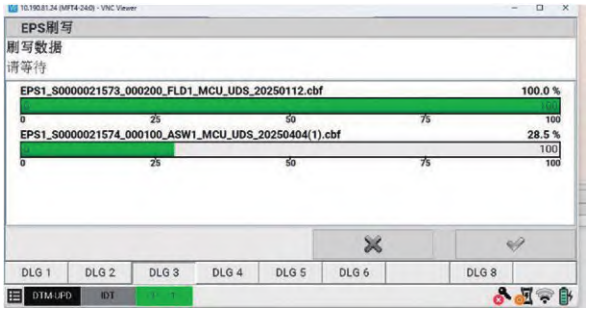

图 3 MFT 实况

试验车辆使用 DoIP 架构的高端纵横系列车辆，产线刷写 16 个关键 ECU 模块，涵盖动力总成、驾驶辅助、车身控制和底盘控制等功能域。首先使用串行架构刷写整车的 16 个 ECU，再使用并行架构方法刷写。比较刷写时间，证明了采用并行架构的优势，试验结果见表 1。

表 1 刷写速率对比

刷写模式	刷写时间
串行模式	14 min 15 s
并行模式	6 min 57 s

当采用并行刷写架构时，时间效率得到了显著的提升，时间压缩为原有的 48.8%。为了保证刷写的稳定性，提出特定时序复位策略，同时也将调试车辆使用的即刷即复，对并行后复位策略进行了统计，试验结果均为产线试制车调试，见表 2。

表 2 复位成功率

复位策略	复位成功 ECU 数量	成功率
即刷即复	6	37.5%
并行后复位	10	62.5%
特定复位	16	100%

试验结果表明，使用特定的复位策略可使 ECU 全部复位，证明特定复位策略的有效性。

5 结语

针对传统刷写使用 CAN/CANFD 的性能瓶颈，本方法结合了 DoIP 与多线程，使用了基于 DoIP 协议的并行刷写方法，同时结合定时复位的策略，提升了多 ECU 的刷写时间，可将刷写时间压缩至串行模式的 48.8%。尽管本方法在并行刷写效率与稳定性上取得显著进展，但随着 L4+ 级自动驾驶的快速发展，车载 ECU 数量可能突破 200 个，需适配分布式集群架构并引入边缘计算节点实现跨域协同，以支撑下一代车载技术演进。

参考文献

[1] 翟庆，李阳春 . 汽车 CAN 总线信号的发送方式及控制策略设计 [J]. 汽车制造业，2020(9): 22-24.

[2] 潘文卿，刘兴义，王飞飞，等 . CANFD 协议在程序刷写中的研究与应用 [J]. 汽车电器，2021(12): 36-38, 41.

[3] 庄丽兴 . UDS 诊断实用技术详解 [C]// 海南省机械工程学会 . 2024 年海南机械科技学术论坛论文集 . 海南海马汽车有限公司 ;2024:88-92. DOI:10.26914

[4] 南夕 . OTA 技术正在引领和改变汽车行业 [J]. 产品可靠性报告，2022(1): 74-80.

[5] 李志涛，耿伟峰 . 车载以太网 DoIP 协议测试的研究与分析 [J]. 汽车电器，2022(9): 21-24.

[6] XU N, LUO F. Automotive DoIP Cybersecurity analysis[J]. Advances in Engineering Innovation, 2025,16(2): 37-43.

[7] 巴怡然 . 基于 DoIP 协议的诊断刷新系统研究 [J]. 时代汽车，2024(14): 7-9.

[8] 张春黎 . 计算机 Java 多线程下载技术分析 [J]. 电脑知识与技术，2018, 14(36): 16-17, 29.

[9] 吴子煌 . 多线程技术在计算机测控系统中的运用 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2016, (17): 69-70.