

DOI: 10.19466/j.cnki.1674-1986.2021.07.004

基于 Ethernet 的车载 ECU 诊断刷新研究

黄志坚, 姜立标

(华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东广州 510641)

摘要: 针对汽车电子控制单元 (Electronic Control Unit, ECU) 软件升级时间性能低的问题, 研究了基于车载以太网和 DoIP 的诊断刷新软件。基于 TCP/IP 相关通信机制、ISO 14229 诊断协议和 ISO 13400 DoIP 协议, 开发了 Bootloader 刷新软件, 实现了基于 Ethernet 的 ECU 在线软件升级, 极大提高了 ECU 刷新的时间性能和效率。

关键词: Ethernet; ISO 14229; DoIP; ECU 刷新; 诊断协议

中图分类号: TP311

Research on Diagnosis and Refreshing of Vehicle ECU Based on Ethernet

HUANG Zhijian, JIANG Libiao

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology,
Guangdong Guangzhou 510641, China)

Abstract: Aiming at the problem of low performance of automobile electronic control unit (ECU) software upgrade time, the diagnostic refresh software was studied based on vehicle Ethernet and DoIP. Based on the TCP/IP related communication mechanism, ISO 14229 diagnostic protocol, and ISO 13400 DoIP protocol, the Bootloader refresh software was developed, and the online software upgrade of ECU based on Ethernet was realized, which greatly improved the time performance and efficiency of ECU refresh.

Keywords: Ethernet; ISO 14229; DoIP; ECU reprogramming; Diagnostic protocol

0 引言

随着汽车领域的迅猛发展, 汽车越来越智能化, 相应的汽车电子控制单元 ECU 数量也越来越多, ECU 功能越来越复杂。同时随着自动驾驶技术的发展, 汽车需要配备更多的摄像头、雷达等传感器, 这些传感器感知系统会采集到大量的数据, 要将这些数据快速完整地传输到计算机处理单元, 并及时地做出响应, 也对总线的数据传输能力和可靠性提出了非常高的要求^[1]。

当前基于 CAN 总线的车载网络已经难以满足需要传输大量数据的需求, 车载以太网的诞生可以适应传输大量数据的需求, 在车载网络通信, 传输数据和一次性传输数据大小等各个方面都高于 CAN 总线的性能。本文作

者基于 DoIP 协议实现了车载 ECU 在线软件升级, 极大提升了当前车载 ECU 刷新的速率, 同时也验证了车载以太网应用于车载 ECU 刷新的可行性。

1 以太网介绍

自 20 世纪 70 年代以太网问世以来, 以太网已经发展成为世界上最受欢迎的局域网 LAN 技术, 基于 Broadcom 的 Broad-Reach 技术 (百兆以太网技术) 的车载以太网也得到广泛应用。传统的车载网络一次只能允许网络中的一台设备进行通信, 但是 Broad-Reach 支持全双工通信, 使得一条链路上的两台设备能够同时发送和接收数据。如图 1 所示。

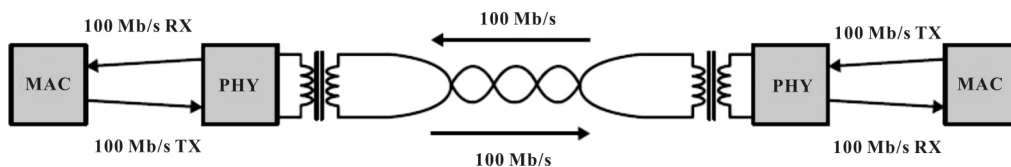


图 1 以太网全双工通信

收稿日期: 2021-02-03

作者简介: 黄志坚 (1996—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为汽车电子与智能网联技术。E-mail: 1103061966@qq.com。

通信作者: 姜立标 (1965—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为汽车电子、智能网联和自动驾驶技术。E-mail: jlb620620@163.com。

这表明车载以太网支持额定速率为 100 Mb/s 的全双工通信, 同时意味着两节点间的理论总数据速率能够达到 200 Mb/s, 而 CAN、LIN、MOST 以及 FlexRay 规定的总带宽只是为它们的额定速率, 这个带宽由所有设备共享。

以太网由点到点线路构成, 即每根 UTP 电缆只连接两个节点, 一端一个。各个节点是通过交换机连接的, 形成的网络拓扑结构有星型、树型以及菊花链型拓扑结构。同时以太网基于 IEEE802.3 的接口标准的数据链路层可以利用 TCP/IP 的高层网络通信协议进行网络通信, 并不会与传统以太网通信技术相排斥。

车载以太网不仅可以提供高速的带宽, 而且具备支持未来更高性能的潜力。相比于当前应用广泛的 CAN 总线技术, 车载以太网有如下优势:

(1) 车载以太网带宽高并且是独享带宽, 效率更高, 而且车载以太网还支持音视频数据, 可以更好地运用在汽车信息娱乐系统。

(2) 车载以太网可以采用面向服务的体系架构, 作为中央以太网骨干交换机, 与汽车各 ECU 通信。

(3) 车载以太网可以通过 TCP/IP 与车辆外部网络进行通信, 比如借助计算机通过车载以太网进行 ECU 软件刷写, 提高了效率, 节约了成本。

IEEE802.3 标准规定的以太网帧格式包含若干个帧

报头字段、传输数据 (数据场长度范围为 46~1 500 字节) 和一个单字段报尾 (CRC 校验帧尾), 如图 2 所示。

6字节	6字节	2字节	46~1 500字节	4字节
目的地址	源地址	类型	数据	FCS
帧报头字段			传输数据	CRC

图2 以太网帧格式

2 DoIP 协议介绍

DoIP (Diagnostic communication over Internet Protocol) 是一种基于互联网协议的诊断。基于该诊断协议, 主机厂和售后工程可以对车辆进行诊断、刷新等操作^[2]。DoIP 协议形成了 ISO 13400 标准《道路车辆——基于互联网协议的诊断通信 (DoIP)》。该标准分成 3 个部分:

(1) 通用信息和用例定义;

(2) 传输协议和网络层服务;

(3) 基于 IEEE802.3 的车用有线接口。

即 ISO 13400 标准介绍了其物理层、数据链路层、传输层、网络层等内容。依据 OSI 七层模型, DoIP 与基于 CAN 总线的诊断 (DoCAN) 的协议栈对比如图 3 所示。

OSI	Standard	OSI	Standard
Application (Layer 7)	ISO 14229-1/5	Application (Layer 7)	ISO 14229-1/5
Presentation (Layer 6)	OEM specific (J1939, etc.)	Presentation (Layer 6)	OEM specific (J1939, etc.)
Session (Layer 5)	ISO 14229-2	Session (Layer 5)	ISO 14229-2
Transport (Layer 4)	ISO 15765-2	Transport (Layer 4)	ISO 13400-2 (TCP)
Network (Layer 3)	ISO 15765-2	Network (Layer 3)	ISO 13400-2 (IP)
Data Link (Layer 2)	ISO 11898 (CAN)	Data Link (Layer 2)	ISO 13400-3 (Ethernet)
Physical (Layer 1)	ISO 11898 (CAN)	Physical (Layer 1)	ISO 13400-3 (100BASE-TX)

(a) DoCAN

(b) DoIP

图3 DoIP 与 DoCAN 协议栈对比

DoIP 报文的结构是由 DoIP 报头和 DoIP 净荷构成, DoIP 报头包含了协议版本、初始协议版本、净荷类型、净荷长度等信息; DoIP 净荷数据长度范围为 0~4 294 967 295 字节, 相当于 4 GB 大小的数据。DoIP 净

荷中包含源地址、目的地址和用户数据, 其中源地址相当于该 DoIP 报文的发起者; 目的地址则为接收该 DoIP 报文的接收者; 用户数据如 UDS 相关请求。DoIP 协议的结构如图 4 所示。

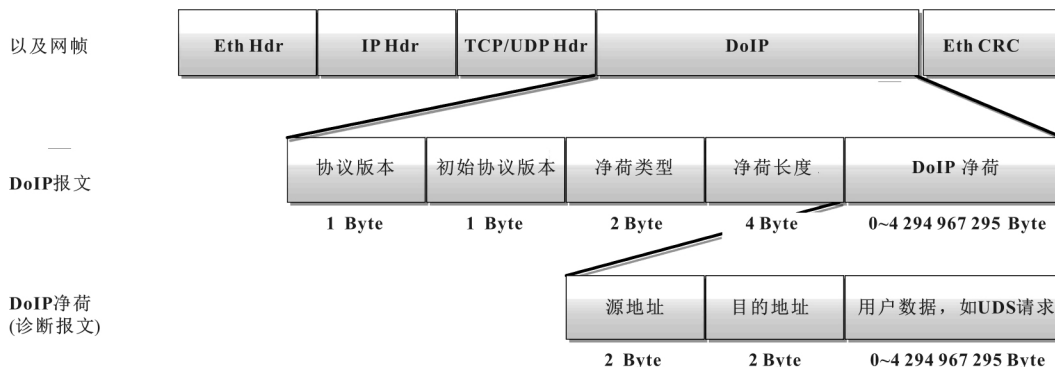


图4 DoIP 协议的结构

3 Bootloader 开发与实现

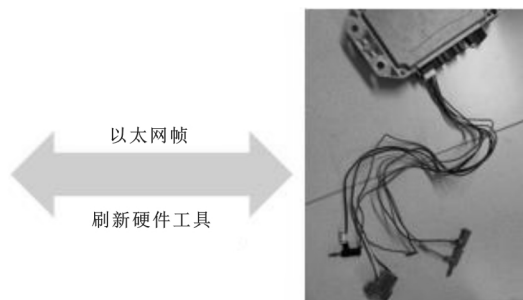
3.1 系统简介

如图5所示,整个车载ECU刷写系统主要有 Bootloader 上位机,刷新硬件工具及其带有 Bootloader 的下位机开发板。工程师或者测试人员通过 PC 端上位机的以

以太网刷写界面进行 ECU 的 IP 地址,上位机的 IP 地址, P2 服务参数等配置,并在文件加载框中加载所需要的更新的 APP 文件。下位机接收到上位机传输的数据后将其写入 ECU 开发板的 Flash 存储器之中,实现了基于 Ethernet 的 ECU 在线软件刷写。



Bootloader上位机



某ECU开发板

图5 刷写系统连接结构

3.2 软件实现

3.2.1 下位机软件

如图6所示为 Bootloader 的软件架构图。该软件是基于 HIS 接口协议而开发的。Bootloader 软件架构中各个模块是分开的,这样设计能减小各个模块之间的相互影响,从而提高开发的质量和效率。

Bootloader 软件主要包括以下部分。Boot Management 启动管理模块负责软件和 Application 的启动顺序。Bootloader 应用程序模块负责实现软件功能,如时钟配置、时间片中断重映射。Bootloader 运行环境模块负责诊断协议的函数回调和控制系统运行。Memory Management 内存管理模块负责数据管理和逻辑块配置。Ethernet 驱动模块负责以太网收发器和控制器与传输层交互。TCP/IP 协议栈模块负责网络层和传输层的实现。DoIP 模块负责封装诊断报文。

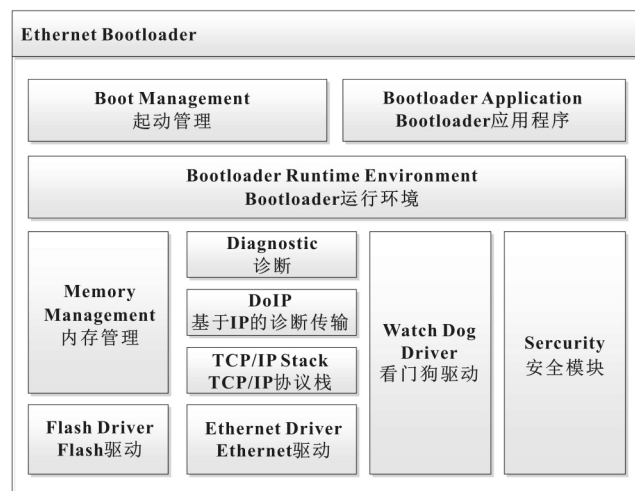


图6 Bootloader 的软件架构

3.2.2 上位机软件

如图7所示为上位机软件界面。上位机软件功能主要分为系统参数配置和软件刷写两大块。系统参数配置中可以对ECU的IP地址,上位机的IP地址,P2服务参数,当前节点ECU等配置,目的是确保上位机和车辆ECU之间能够正常通信。软件刷写主要是加载安全密钥文件,刷写驱动文件和刷写需要的APP数据文件。

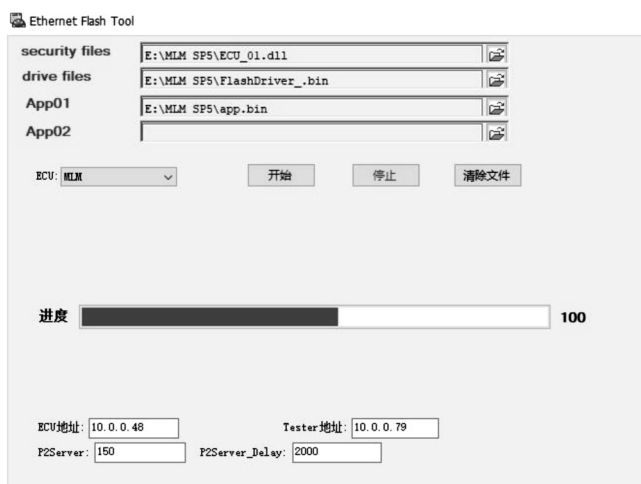


图7 上位机软件配置及运行界面

4 ECU刷新仿真实验

为了验证车载以太网应用于车载ECU刷新的可行性及其刷新速率,文中搭建台架,分别对基于车载Ethernet,基于CAN总线的刷新软件进行了八组对比刷新仿真实验,如图8所示。



图8 基于车载以太网ECU刷新仿真实验

刷新仿真实验中,以太网设置为100 Mb/s的速率,CAN总线的比特率设置为500 kb/s。如表1所示,以太网刷新数据大小范围为1 000~8 560 kB,刷新时间从18~198 s。CAN总线刷新数据大小范围为880~3 832 kB,刷新时间从249~1 283 s。对比两者刷新实验数据,很显然基于以太网的诊断刷新时间性能远高于基于CAN总线的诊断刷新时间性能。

表1 基于车载以太网和基于CAN总线的刷新性能对比

刷新数据大小/kB	以太网刷新时间/s	刷新数据大小/kB	CAN总线刷新时间/s
1 000	18	880	249
2 080	42	1 410	395
3 160	66	1 760	505
4 240	88	2 160	655
5 320	112	2 784	881
6 400	134	3 184	1 048
7 480	166	3 508	1 173
8 560	198	3 832	1 283

如图9所示为基于以太网和基于CAN总线的刷新时间对比图。

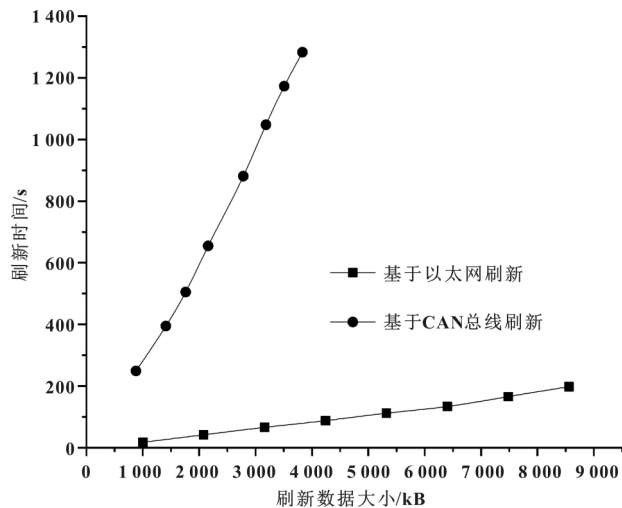


图9 基于以太网和基于CAN总线的刷新时间对比图

从图中可以清晰看出两者刷新之间的时间差别,在刷新数据大小为1 000 kB以内时,基于CAN总线的刷新时间高于200 s,而在刷新数据大小为8 560 kB时,基于

以太网的刷新时间仍小于 200 s, 为 198 s。可以说, 基于以太网刷新的时间性能是远大于基于 CAN 总线的刷新时间性能的。而且, 随着刷新文件越来越大, 基于 CAN 总线的诊断刷新效率越来越低, 而基于以太网刷新的时间性能优势却越来越显著。

5 结论

车载 Ethernet 是解决当前智能汽车所需网络通信带宽的一种相当有效的技术, 也是汽车网络未来发展的必然趋势。文中通过介绍基于车载以太网的 Bootloader 软件的开发与实现, 并通过刷新仿真实验验证了基于 Ethernet 的诊断刷新时间性能远高于基于 CAN 总线的诊断刷新时间性能。当前车辆各个 ECU 之间是通过中央网关进行互连, 在未来车载 ECU 诊断刷新可以充分借助以太网的高带宽, 来实现通过中央网关同时对车辆多个 ECU 进行以太网刷新, 能大大提高刷新的效率, 降低相应的成本。

参考文献:

[1] 孟祥坤, 张起朋, 张宏伟. 车载以太网技术发展与测试方法研究

[J]. 汽车电器, 2019(5): 40-44.

MENG X K, ZHANG Q P, ZHANG H W. Research on development and test methods of in-vehicle ethernet technology [J]. Auto Electric, 2019(5): 40-44.

[2] 周洋, 姚西峰, 王天军, 等. 基于 DoIP 的终检线模拟测试系统 [J]. 汽车实用技术, 2020(3): 130-133.

ZHOU Y, YAO X F, WANG T J, et al. End of line simulated test system based on DoIP [J]. Automobile Applied Technology, 2020(3): 130-133.

[3] Road vehicles-Diagnostic communication over Internet Protocol(DoIP) - Part 1: General information and use case definition: ISO 13400-1: 2012[S]. 2012.

[4] Road vehicles-Diagnostic communication over Internet Protocol(DoIP) - Part 2: Transport protocol and network layer services: ISO 13400-2: 2012[S]. 2012.

[5] Road vehicles-Diagnostic communication over Internet Protocol(DoIP) - Part 3: Wired vehicle interface based on IEEE802.3: ISO 13400-3: 2011[S]. 2011.

[6] Road vehicles-Unified diagnostic services (UDS) -Part 1: Specification and requirements: ISO 14229-1: 2013[S]. 2013.

[7] HIS. Flashloader specification [S]. V1.1. 2006.

《汽车零部件》征稿启事

《汽车零部件》(Automobile Parts)是由国家科技部主管, 中国科学技术信息研究所、中国汽车零部件工业公司主办的以汽车零部件技术发展内容为内容的技术性科技期刊, 是中国汽车工程学会电器技术分会的会刊。《汽车零部件》为月刊, 每月 28 号出版, 国际标准连续出版物号为 ISSN 1674-1986, 国内统一连续出版物号为 CN11-5661/TH, 面向全国公开发行。《汽车零部件》内容上着重技术介绍, 涉及理论研究、产品设计制造工艺技术、设备使用维修和技术改造方面的最新科研成果和国内外最新发展动向。刊物的主要栏目: 聚焦决策者、研究与开发、检测与维修、动态与综述、技术新视野、市场与信息。

来稿要求:

(1) 来稿内容应突出市场信息分析的准确性和来源的可靠性, 技术内容的先进性、新颖性、实用性。稿件的格式顺序: 题目, 作者姓名, 工作单位, 摘要及关键词, 正文部分(一般包括引言、主体部分、结束语, 应写出目的、方法、结果、结论, 应分节), 参考文献, 作者简介(包括姓名, 出生年, 性别, 学位, 职称, 研究方向, E-mail); 科技性论文还应加英文篇名、英文的作者单位、英文摘要及英文关键词。文中使用的物理量、单位、符号必须符合中华人民共和国国家标准。

(2) 文章行文表达要正确、通顺, 引用数据和资料应可靠准确。

(3) 文末请附上作者的通信地址、邮编和联系电话。

(4) 插图应为计算机制图, 做到布局合理、图形清晰、比例适中。

(5) 参考文献在文中的标注要按照国家标准进行, 著录项目要齐全(可参考 GB/T 7714-2015《信息与文献 参考文献著录规则》), 要同时提供参考文献对应的英文译文, 需要注意的是: 只需给出期刊类文献的英文译文; 文献标题不能自己翻译, 查找原文给出; 若原文无英文, 不必给出。

(6) 若来稿为国家自然科学基金等国家或部委的重点基金资助, 或曾获得国家或部委的奖励, 请在文章第一页的左下角注明。

(7) 一稿不得多投, 一切侵权事宜由作者负责。文责由作者自负, 在尊重作者文意的基础上, 编辑部有权对稿件进行删改。

在《汽车零部件》杂志上发表的文章, 被中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据数字化期刊群、中文科技期刊数据库、中国学术期刊网络出版总库、CNKI 系列数据库及超星期刊域出版平台全文收录。作品一经采用, 即视为同意将其网络传播权及电子发行的权利授予本刊。如作者不同意文章编入上述数据库, 请在来稿时声明, 本刊将做适当处理。

投稿网址: www.qclbjzz.com

《汽车零部件》编辑部