

基于实时操作系统和可变速率控制器局域网的车载统一诊断服务设计方案

曹清源, 苏晓波, 侯伟盟

(中国电子科技集团公司第五十八研究所, 江苏 无锡 214035)

摘要: 基于嵌入式实时操作系统 FreeRTOS 和可变速率控制器局域网 (Controller Area Network with Flexible Data Rate, CAN FD), 设计并实现了基于统一诊断服务 (Unified Diagnostic Services, UDS) 协议的车辆诊断系统, 包括微控制器程序、上位机测试程序和连接二者的支持 CAN FD 功能的 USB/CAN 转换器。微控制器程序设计使用嵌入式操作系统 FreeRTOS 建立软件框架, 开发了传输层任务、应用层任务和 CAN 中断服务程序。上位机测试程序针对数据读写和在线编程功能进行重点测试。结果表明, 该文使用的设计方案能满足 ISO 14229-1-2020 规范中要求的响应时间要求, 同时具有可靠、易于维护等优势。

关键词: 可变速率控制器局域网; 统一诊断服务; 嵌入式操作系统; 传输层; 在线编程

中图分类号: TN915.04+34

文章编号: 1000-0682(2024)06-0104-05

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.06.020

Design scheme of on-board unified diagnostic service based on real-time operating system and controller area network with flexible data rate

CAO Qingyuan, SU Xiaobo, HOU Weimeng

(No. 58 Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Jiangsu Wuxi 214035, China)

Abstract: Based on the embedded real-time operating system FreeRTOS and controller area network with flexible data rate (CAN FD), a vehicle diagnostic system based on the unified diagnostic services (UDS) protocol was designed and implemented, including a micro-controller program, an upper computer testing program, and a USB/CAN converter that supports CAN FD functionality connecting the two. The micro-controller program design uses the embedded operating system FreeRTOS to establish a software framework, and develops transport layer tasks, application layer tasks, and CAN interrupt service programs. The upper computer testing program focuses on testing the data read and write and online programming functions. The results indicate that the design scheme used in this article can meet the response time requirements in the ISO 14229-1-2020 specification, while also having advantages such as reliability and ease of maintenance.

Keywords: controller area network with flexible data rate; unified diagnostic services; embedded real time kernel; transport protocol; online programming

0 引言

可变速率控制器局域网 (Controller Area Network with Flexible Data Rate, CAN FD) 由 BOSCH 公

司在 CAN 总线基础上提出, 它保留了 CAN 通信的各种优点, 同时弥补了 CAN 通信存在的不足。与传统 CAN 总线相比, CAN FD 具有更长的数据场、更高的数据传输速率和改善的校验方式等优势, 此外 CAN FD 也能够兼容传统 CAN, 实现 CAN FD 报文和传统 CAN 报文在同一网络的兼容 CAN FD 的巨大应用前景, 使得 CAN FD 有望成为车载网络领域下一代的主流总线^[1]。

收稿日期: 2024-06-07

第一作者: 曹清源 (1992—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为车载网络技术及应用。

E-mail: qingyuancao@chd.edu.cn

该文使用嵌入式操作系统 FreeRTOS^[2-3] 作为软件框架,实现了通用统一诊断服务(Unified Diagnostic Services, UDS)功能。开发部分 UDS 服务相关测试功能。同时,设计了上位机测试系统,对部分 UDS 服务特别是在线编程功能进行测试。

1 统一诊断服务程序设计

1.1 统一诊断服务总体设计

ISO 14229-1-2020 中定义了统一诊断服务需要遵从的共同要求^[4-7]。根据 OSI 七层参考模型,诊断仪和车载电子控制单元之间使用的服务可以划分为 7 个层面。其中,除表示层外,每个层面定义了相应的参考规范,表示层由汽车制造商自行定义,如表 1 所示。

为了方便程序设计,使得 UDS 功能方便部署在微控制器上。根据表 1 中的参考规范,文中将 OSI 七层参考模型部署为三层程序结构。物理层和数据链路层由 MIMX8ML8DVNLZAB 微控制器中的 flex-can 模块实现,部署 CAN FD 驱动程序。网络层和传输层由传输层任务实现。会话层、表示层和应用层由应用层任务实现。后文将具体阐述每个程序层的

实施方案。

表 1 适用于 OSI 参考模型的诊断明细示例表

OSI 七层	参考规范	程序定义分层
应用层	ISO 14229-1	
表示层	制造商自定义	应用层任务
会话层	ISO 14229-2	
传输层		
网络层	ISO 15765-2	传输层任务
数据链路层	ISO 11898-1	CAN FD
物理层	ISO 11898-2	驱动程序

1.2 应用层任务设计

UDS 服务使用客户端-服务器(client-server)模式实现诊断服务过程。外接测试设备作为客户端向作为服务器端的电子控制单元(Electronic Control unit, ECU)提出服务请求,UDS 服务程序根据服务请求情况给出服务响应,表 2 列出了所使用的 11 种 UDS 服务。该文设计了 UDS 任务查找并执行相应的 UDS 服务。应用层任务负责接收并解析处理来自传输层的数据包,根据执行情况将响应数据发送至传输层。

表 2 UDS 服务列表

服务标识符(十六进制)	诊断服务名称	寻址方式		负响应代码(十六进制)
		物理寻址	功能寻址	
10	诊断模式控制	是	是	12,13,22
11	电控单元复位	是	是	12,13,22
22	读取数据(通过标识)	是	是	13,22,31
27	安全访问	是	否	12,13,22,24,35,36,37,7F
28	通信控制	是	是	12,13,22,31,7F
2E	写入数据(通过标识)	是	否	13,22,31,33,72,7F
31	例程控制	是	否	12,13,22,31,33,70,72,7F
34	请求下载	是	否	13,22,31,33,70
36	发送数据	是	否	13,24,31,71,72,73/92,93
37	请求退出发送	是	否	13,24
85	故障码控制设置	是	是	12,13,22,31,7F

UDS 任务通过 FreeRTOS 操作系统中的队列(Queue)功能接收来自传输层任务的数据包信息。当 UDS 任务没有收到任何数据包时,UDS 任务处于“挂起”状态,以此节省 CPU 开销。当 UDS 任务收到数据包后,首先判断请求的服务是否支持,若服务不支持,则直接向传输层任务发送负响应代码;若服务支持,则执行该服务,并将响应报文发送至传输层任务。如果该服务中定义有后续步骤,则等待传输

层发出的发送成功通知,并执行服务后续步骤。UDS 任务流程如图 1 所示。

1.3 传输层任务设计

ISO 15765-2 标注中定义了传输层可以通过 CAN 或 CAN FD 总线发送 4 种数据帧:单帧、首帧、连续帧和流控帧。对于数据字节数量满足单帧字节容量的数据直接使用单帧发送;对于数据字节数量大于单帧字节容量的数据,按照 ISO 15765-2 定义

的多帧数据传输方式分割传输。对于来自外部 CAN FD 总线的数据帧,传输层任务将所有数据组成一个完整数据包后通过队列发送给 UDS 任务。对于来自 UDS 任务的响应数据,传输层同样将其直接传输或分割传输至 CAN FD 总线中。当来自 UDS 任务的数据包传输完成后,传输层任务通过任务通知向 UDS 任务发送传输完成确认。传输层任务流程图如图 2 所示。

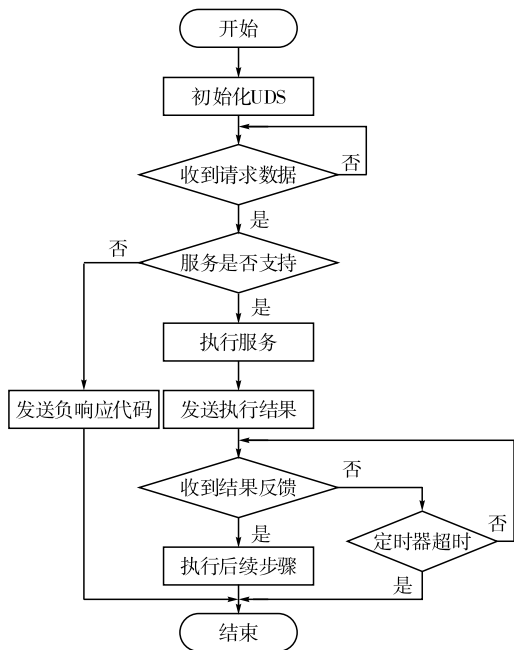


图 1 UDS 任务流程图

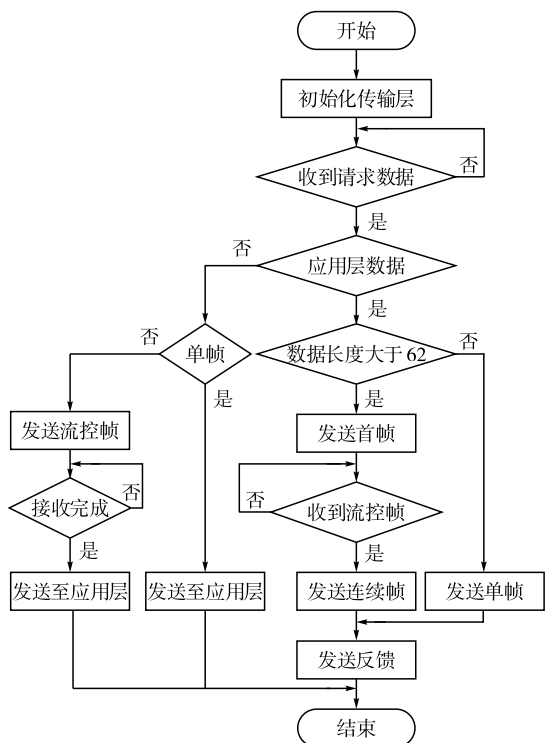


图 2 传输层任务流程图

1.4 CAN FD 驱动程序设计

MIMX8ML8DVNLZAB 微控制器中内置的 FlexCAN 模块具备收发 CAN FD 报文的能力,且同时支持标准帧及扩展帧^[8]。FlexCAN 模块通过消息缓冲区(Message Buffer, MB)实现数据收发功能。每个 MB 可独立配置为发送或接收功能。当 MB 配置为接收功能时,每个 MB 能分别配置接收 ID 和掩码,实现 ID 过滤功能。该文使用的 CAN FD 报文物理寻址 ID 为 0x7E0,功能寻址 ID 为 0x7DF,应答 ID 为 0x7E8。

每个 MB 均具备产生中断请求的能力。当 MB 完成 1 次成功的数据传输后,将产生中断请求。此外, FlexCAN 模块还能够根据总线关闭(Bus Off)、无响应位(No Ack)等异常状态产生错误中断请求。根据 UDS 服务功能需求,对发送完成中断、接收完成中断和错误中断请求进行处理。当错误中断出现时, CAN 中断服务程序通过 FreeRTOS 的任务通知功能向错误计数任务发送通知信息;当发送完成中断出现时, CAN 中断服务程序通过任务通知向传输层任务发送通知信息;而当接收完成中断出现时, CAN 中断服务程序读取 MB 中的报文信息,并将报文打包发送至传输层队列中,供传输层任务读取。CAN 中断程序流程如图 3 所示。

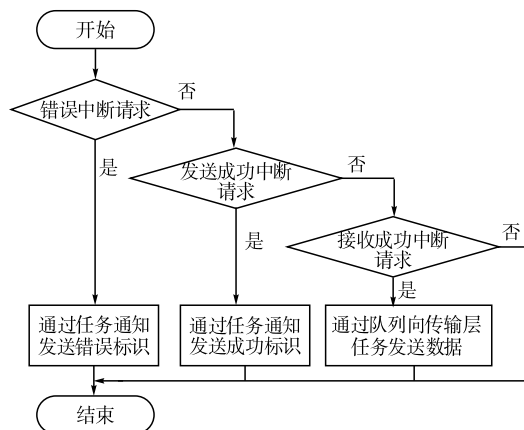


图 3 CAN FD 中断程序流程图

2 统一诊断服务功能测试

2.1 通用 UDS 功能测试

使用 ZCANPRO 软件和 USBCANFD-100U-mini 设备,测试 UDS 服务功能。重点测试写入数据服务(0x2E)和读出数据服务(0x22)功能。根据 ISO14229-2020 规范要求,写入数据服务应在扩展会话中进行,并且写入数据服务应通过安全访问服务(0x28)后方可进行。测试步骤流程如图 4 所示。

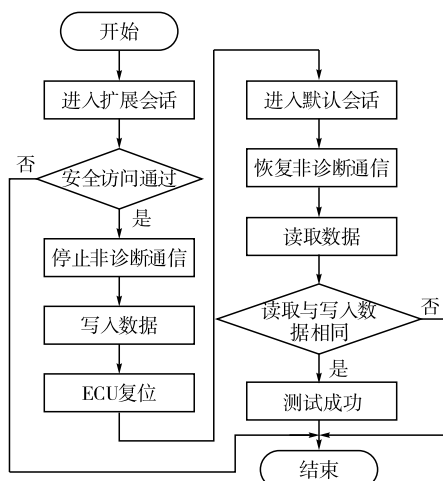


图4 UDS 数据读写功能测试流程图

使用循环发送功能,对图中的流程进行 1000 次循环测试。测试结果均为通过。由此可知该文设计的 UDS 服务软件正确执行了诊断会话控制、写入数据、读出数据、通信控制和 ECU 复位功能。测试数据如图 5 所示。

0	0.000000	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	02 10 03 FF FF FF FF FF
1	0.006700	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	06 50 03 00 10 03 E8 55
2	0.060100	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	02 27 01 FF FF FF FF FF
3	0.066700	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	06 67 01 91 54 83 68 55
4	0.068500	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	06 27 02 C4 07 76 50 FF
5	0.080700	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	02 67 02 55 55 55 55 55
6	0.135600	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	12	00 08 2E F1 8B 12 34 56 78 AB FF FF
7	0.142400	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	03 6E F1 8B 55 55 55 55
8	0.229700	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	03 28 03 03 FF FF FF FF
9	0.236000	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	02 68 03 55 55 55 55 55
10	0.289900	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	02 11 01 FF FF FF FF FF
11	0.296000	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	02 51 01 55 55 55 55 55
12	2.298900	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	02 10 01 FF FF FF FF FF
13	2.306000	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	06 50 01 00 10 03 E8 55
14	2.359100	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	03 28 00 03 FF FF FF FF
15	2.365800	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	8	02 68 00 55 55 55 55 55
16	2.419300	0	0x7E0	CANFD加速	Tx	8	03 22 F1 8B FF FF FF FF
17	2.425700	0	0x7E8	CANFD加速	Rx	12	00 08 62 F1 8B 12 34 56 78 AB 55 55

图5 UDS 数据读写功能测试结果图

2.2 在线升级功能测试

在线编程流程可划分为 3 个阶段:预编程阶段、执行编程阶段和后编程阶段^[9-10]。其中,预编程阶段负责完成在线编程之前 CAN 网络准备工作;执行编程阶段负责完成应用软件和应用程序数据的传输下载工作;后编程阶段负责完成编程后的重启和 CAN 网络同步工作。

2.2.1 预编程阶段

预编程阶段用来为要下载的 ECU 做重编程前的 CAN 网络准备。进入该阶段时,外部诊断设备应检查 ECU 当前工作状态是否符合预编程条件,同时关闭故障码记录以及诊断服务无关的 CAN 通信功能。预编程阶段流程如图 6 所示。

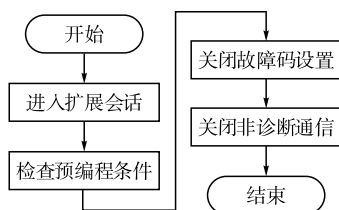


图6 预编程阶段流程图

2.2.2 执行编程阶段

执行编程阶段用于更新 ECU 应用程序。为保证 ECU 功能安全,FLASH 驱动程序不能存放在 ECU 的非易失性存储器中。当需要更新应用程序时,上位机首先向 ECU 下载 FLASH 驱动程序,通过程序完整性校验后,使用来自上位机的 FLASH 驱动程序完成存储应用程序的非易失性存储器的初始化、去初始化、擦除和编程动作^[11-13]。执行编程阶段步骤如图 7 所示。

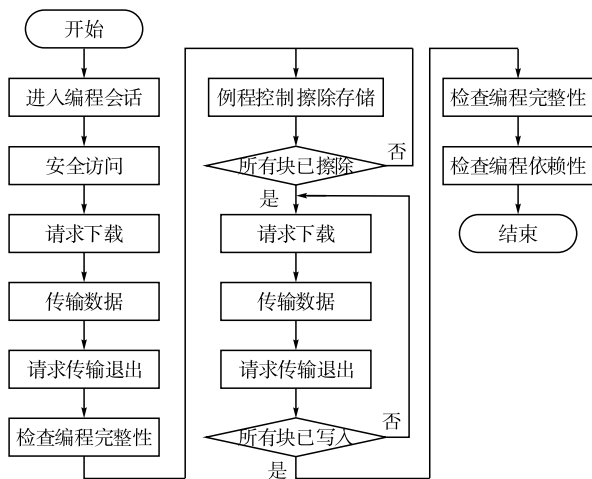


图7 执行编程阶段流程图

2.2.3 后编程阶段

后编程阶段用于在 ECU 完成在线编程后,重启 ECU,运行更新后的应用程序。当更新后的应用程序启动后,应使能 ECU 正常功能,并清除 ECU 中记录的诊断故障信息。后编程阶段流程如图 8 所示。

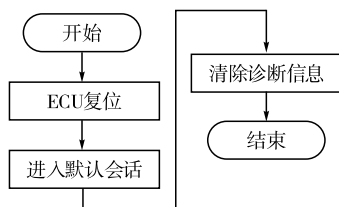


图8 后编程阶段流程图

2.2.4 在线编程功能测试结果

使用 ZCANPRO 软件中的“ECU 刷新”功能,根据在线编程流程设定好流程后,对在线编程功能进行连续 500 次耐久测试。测试结果全部正常。测试

结果如图9所示。

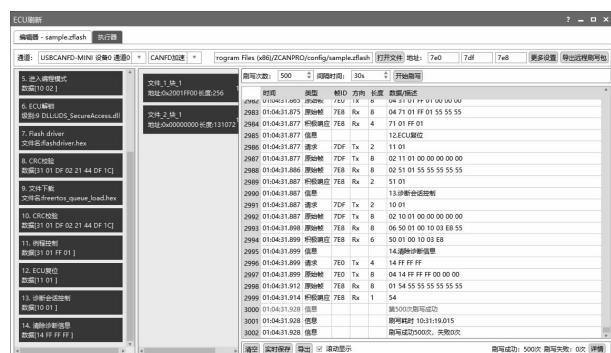


图9 在线编程功能测试结果图

3 结语

该文介绍了一种基于嵌入式操作系统和可变速率控制器局域网的车载统一诊断服务实现方案。使用嵌入式实时操作系统 FreeRTOS,在恩智浦公司的 MIMX8ML8DVNLZAB 微控制器上设计并实现了统一诊断服务应用程序。使用 ZCANPRO 软件对统一诊断服务中的数据读写功能和在线编程功能进行测试,测试结果表明,该文设计的统一诊断服务能够满足车载电子控制单元的使用要求。当然该文也存在亟待改进之处,如基于车载以太网的统一诊断服务设计等,也将作为今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 郑志超,南金瑞,南江峰. 车载网络 CAN FD 总线的应用前景和技术研究[J]. 现代电子技术,2021,44(01): 5-9.
- [2] 武奇生,刘维宇. 基于 ARM 的单片机应用及实践

[M]. 北京:机械工业出版社,2024.

- [3] 田野. STM32F407 和 FreeRTOS 的嵌入式测试系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2023,23(11): 54-58.
- [4] 全国汽车标准化几首委员会. 道路车辆统一的诊断服务:GB/T 40822—2021[S]. 2022.
- [5] 陈睿智. 基于 UDS 协议的汽车电控单元故障诊断服务设计与实现[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2021.
- [6] 施春华. 基于 CAN FD 网络的 UDS 诊断开发测试[J]. 汽车电器,2022(04):35-39+42.
- [7] 熊刚,王文明,谢勇波,等. 基于统一诊断服务协议电动汽车集成控制器检测平台设计[J]. 控制与信息技术,2021(02):23-29.
- [8] 龙雅文,谢亮,金湘亮. CAN FD 控制器中可变速率的实现[J]. 中国集成电路,2021,30(Z1):37-41.
- [9] 杨朝阳,阮海庭,罗永革,等. 基于 CAN FD 的在线编程系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2019,19(05):21-24+28.
- [10] 张震,尤伟强,肖利华,等. 基于 CANFD 的智能汽车域控制器软件升级系统设计[J]. 中北大学学报(自然科学版),2022,43(04):321-326+334.
- [11] 陈祖锐,廖振伟,谷城,等. 基于 UDSonCAN 的 Boot-loader 设计[J]. 汽车零部件,2022(09):36-39.
- [12] 宋昊江,王思山,周海鹰,等. 基于 UDS 的 ECU 在线升级系统设计[J]. 湖北汽车工业学院学报,2023,37(04):12-16.
- [13] 李楚琳,仝秀峰,黄凯旋,等. 面向 OTA 需求的 UDS on CAN FD BootLoader 的设计与实现[J]. 软件,2023,44(08):23-29.

(上接第 87 页)

- [6] 沈跃杰,行鸿彦,王水璋. 基于粒子群优化的串级模糊 PID 无人机飞行控制系统[J]. 电子测量技术,2022,45(1):96-103.
- [7] 李鑫,郑铖,杨星,等. 卡尔曼滤波与 PID 的两轮自平衡小车设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2023,23(01):84-87.
- [8] 詹汉彬,王憬,樊浩然,等. 基于电磁感应的自主循迹智能车设计[J]. 自动化与仪表,2023,38(10):16-19+23.
- [9] 李磊,肖世德,李兴坤,等. 多传感器融合的智能车定

位导航系统设计[J]. 工程设计学报,2019,26(2): 182-189.

- [10] 余佳桐,孙雨婷,朱翊铭,等. 基于激光雷达和视觉融合的室内导航方法设计[J]. 传感器与微系统,2023,42(8):69-72.
- [11] 王文胜,李世蛟. 基于单目视觉传感器障碍物躲避的智能车设计[J]. 传感器与微系统,2023,42(4): 119-122.
- [12] 路亚宁,陆翔,方凤才. 基于机器视觉的智能车设计与实验研究[J]. 现代电子技术,2022,45(2):177-182.