

文章编号: 2095-2163(2022)07-0210-06

中图分类号: TP273

文献标志码: A

基于嵌入式 Linux 的整车控制器硬件在环远程测试系统的设计

邹庆勇, 龚元明

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 作为电动汽车的控制中心, 整车控制器(VCU)的结构和功能复杂, 开发过程中涉及大量的软件测试, 且开发难度高, 开发周期长。因此, 本文提出了一种基于嵌入式 Linux 的整车控制器远程测试系统。通过该系统, 测试人员可以远程对整车控制器的状态参数获取功能进行测试。本文详细描述了现场测试终端和云端服务器的软件设计; 采用 TCP socket 技术实现了现场测试终端与云端服务器之间的通信, 通过 CAN 总线实现现场测试终端与硬件在环仿真系统的数据交互; 最后, 通过具体的试验对该远程测试系统的功能进行验证。试验结果表明, 该系统可以实现对整车控制器的车辆状态获取功能进行远程测试, 且系统运行可靠, 实时性好, 有助于提高整车控制器的开发效率。

关键词: 远程测试; 嵌入式 Linux; CAN 总线; TCP socket

The design of the vehicle controller hardware in-the-loop remote test system based on embedded Linux

ZOU Qingyong, GONG Yuanming

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] As the control center of the electric vehicle, the structure and function of the vehicle controller are complex. A large number of software tests are involved in the development process, and its development is difficult, which leads to the long development cycle. In this paper, a remote testing system of vehicle controller based on embedded Linux is presented. Through this system, testers can remotely test the acquisition function of the state parameters of the vehicle controller. The article introduces the hardware design and remote client design of the embedded Linux test terminal, and describes the software design of the field test terminal and cloud server in detail. The communication between the field test terminal and the cloud server is realized by using TCP socket technology. The data interaction between the field test terminal and the hardware in-the-loop simulation system is realized by using the CAN bus. Finally, the function of the remote test system is verified through specific tests. The test results show that the system can realize the remote test of the acquisition function of the vehicle state of the vehicle controller, and the system operates reliably and has good real-time performance, which is helpful to improve the development efficiency of the vehicle controller.

[Key words] remote test; embedded Linux; CAN bus; TCP socket

0 引言

环境污染、能源短缺问题越来越严重, 电动汽车由于在节能、环保方面的突出优势越来越得到人们的青睐, 传统车企和新兴车企都开始将电动汽车作为未来发展的方向。然而, 作为电动汽车控制中心的整车控制器功能复杂、安全性要求严格, 在软件开发生的过程中涉及大量的测试工作, 因此开发周期较长、成本高。为了提高汽车控制器的开发效率, 目前, 比较常用的方式是采用硬件在环, 通过硬件在环仿真测试平台对控制器不断测试优化, 但仅仅依赖传统的硬件在环仿真测试平台, 测试用例的创建和测试数据的分析等测试工作往往只能由现场测试人员完成, 难以实现更多的人员快速参与到汽车控制器的开发工作中。如果采取远程测试的方案, 则会

更大发挥整车控制器硬件在环测试的优越性, 提高整车控制器的开发效率。因此, 本文提出了一种基于嵌入式 Linux 的整车控制器硬件在环远程自动测试系统, 主要包括远程诊断测试中心和现场测试终端, 现场测试终端设备通过 OBD 接口与硬件在环仿真平台相连。通过该系统, 远程测试人员可以远程创建诊断测试用例、开展测试。

1 整车控制器硬件在环远程测试系统概述

该远程测试系统由远程客户端、云端服务器和现场测试终端构成。远程客户端通过与测试人员的交互实现所需测试内容、CAN 通讯配置信息的输入以及测试结果的显示。云端服务器程序分为网站后端程序和与现场测试终端通信的 TCP 服务器程序, 网站后端程序用于存储测试人员的测试命令和测试

内容, TCP 服务器程序用于及时监测诊断测试指令, 做出响应、接收现场测试终端的测试结果并存储于数据库中。现场测试终端用于接收测试内容, 根据 UDS 协议和 CAN 通讯配置参数构建诊断测试 CAN

报文, 通过与硬件在环仿真平台进行数据的交互从而实现整车控制器的诊断测试。

硬件在环远程测试系统的整体结构如图 1 所示。

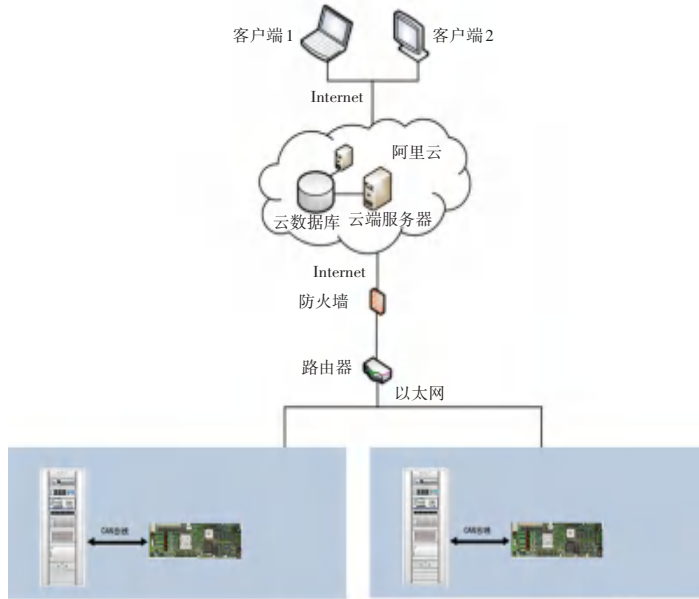


图 1 硬件在环远程测试系统整体结构图

Fig. 1 The overall structure of the hardware in-the-loop remote test system

硬件在环仿真系统选用 dSPACE 平台, 德国 dSPACE 公司研发的 dSPACE 实时仿真系统准确稳定、操作简便、功能强大。该整车控制器硬件在环仿真测试系统的主要功能是通过仿真模型等模拟整车控制器的运行环境, 接收控制器的输出信号, 为控制器提供所需的输入信号^[1]。硬件在环仿真平台有 OBD 接口, 现场测试终端可以通过 CAN 转 OBD 接入整车控制器硬件在环仿真平台, 实现与仿真平台的数据交互。

的诊断测试, 通过 CAN 总线接入到仿真平台中整车控制系统中, 通过 CANID 选择整车控制器进行测试。由于现场测试终端需要和云端 TCP 服务器程序通讯, 而且需要较快的通信速度, 所以现场测试终端选用以太网模块。现场测试终端需要提供图形交互界面, 便于用户操作, 实现与云端服务器的连接、测试状态及测试结果, 故需要触摸显示屏。

另外, 由于该远程测试系统要求具有较高测试精度, 现场测试终端需要具备较强的处理能力以便与控制器快速通信、数据的解析处理及上传测试结果。为了支持复杂的应用程序, 现场测试终端选用嵌入式 Linux 操作系统, 其硬件平台的结构设计如图 2 所示。

2 现场测试终端设计

为了实现对硬件在环仿真平台中的整车控制器

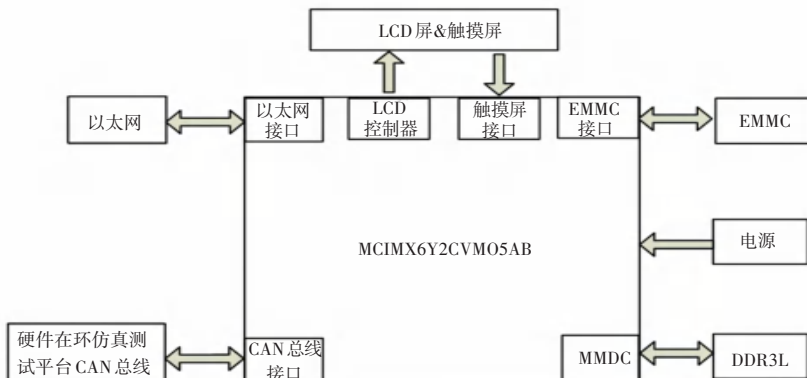


图 2 现场测试终端硬件平台的结构设计

Fig. 2 The structure design of field test terminal hardware platform

2.1 现场测试终端硬件选型

2.1.1 嵌入式微处理器的选择

基于 Cortex-A7 内核的 MCIMX6Y2CVM05AB 处理器是恩智浦公司推出的一款高性能的工业级处理器,该处理器的主频高达 800 MHz,带有 2 个 FlexCAN、1 个 RGB_LCD 控制器、两个 10/100 M 以太网 MAC 控制器等,还提供多种内存接口,包括 DDR3、NAND flash、EMMC 接口等。本文通过 MMDC 接口和 EMMC 接口扩展了 512 MB 的 DDR3 内存和 8 G 的存储 Flash。

2.1.2 存储器的选择

(1)非易失存储器。为了使搭建的硬件平台具有更好的性能,需要为处理器搭配一个存储芯片,以便于存储数据和操作系统,常见的非易失性存储芯片有 NAND Flash、NOR Flash 和 EMMC 等。其中,NOR Flash 写入和擦除速度较低,NAND Flash 写入和擦除速度较快,但是其对处理器的要求较高,数据传输时常常需要主机具备相应的控制器。为了充分发挥 NAND Flash 的优点,同时又不对处理器提出特殊要求,本文选用将 NAND FLASH 和控制芯片封装在一块的 EMMC 作为非易失存储器。EMMC 内部分为 3 部分,分别为 Flash Memory、Flash Controller 和 Host Interface^[2]。

(2)内存芯片。MCIMX6Y2CVM05AB 处理器自带的 RAM 比较小,只有 128 KB 的 OCRM,故需要外接一个 RAM 芯片。MCIMX6Y2CVM05AB 处理器自带 MMDC 接口,可以方便地实现外接 DDR3L 或 DDR3 存储芯片,综合考虑存储芯片的性能和使用电压,选择 DDR3L 存储芯片作为外接的 RAM 芯片。

2.1.3 以太网模块

MCIMX6Y2CVM05AB 处理器内部集成了两个 MAC 控制器,系统选择使用第二个 MAC,支持 10/100 Mbit/S 的动态配置,可以实现 3 层网络加速,支持加速的网络协议包含 TCP 和 IP 等;实现数据的收发需要外加一个 PHY 芯片,PHY 芯片选择 LAN8720A,该芯片一端和 MAC 控制器相连,另一端通过变压器和 RJ45 相连。MAC 控制器和 PHY 芯片的数据传输分为 MII 接口和 RMII 接口^[3]。由于 MII 接口所需信号线较多,比 RMII 接口多出 9 根信号线,本系统选择了 RMII 接口。另外,MAC 控制器还需要对 PHY 芯片进行配置和寄存器读取,实现这部分功能的通信接口是 MDIO 接口。

芯片上 MAC 和 LAN8720A 的连接框图如图 3 所示。

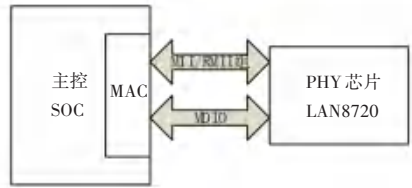


图 3 MAC 和 LAN8720 的连接框图

Fig. 3 Connection block diagram of MAC and lan8720

2.1.4 LCD 显示器

MCIMX6Y2CVM05AB 处理器自带有一个显示屏接口 eLCDIF,该接口支持 RGB 接口的 LCD 显示屏。另外,该处理器自带的显示屏接口支持 RGBLCD 的 DE 模式和 VSYNC 模式,可以实现数据的高速传输。

RGBLCD 由 RGB 三原色像素构成,不同比重的 RGB 组合成不同的颜色,当全亮时为白色,全暗时为黑色^[4]。LCD 显示器显示信息丰富、功耗低,选用星翼电子推出的 4.3 寸电容触摸显示屏,分辨率为 800×480,并行 24 位 RGB 接口,工作芯片为 GT9147。

2.1.5 CAN 通信模块

CAN 全称 Controller Area Network,广泛应用于汽车电子、工业自动化等方面。CAN 作为一种串行通信方式,数据的传输稳定可靠、传输速率快、传输距离远。CAN 通信最高速度达到 1 Mbps,最远传输 10 KM^[5]。实现 CAN 通信需要 CAN 控制器和 CAN 收发器共同完成。MCIMX6Y2CVM05AB 处理器内部已经包含了 CAN 控制器 FlexCAN,只需外加一个 CAN 收发器即可。本系统中,CAN 收发器选用的是耐用、稳定性好并且传输速率快的 TLE6250GV33 型号芯片。

2.2 现场测试终端软件设计

现场测试终端和云端服务器程序进行数据的收发采用的是 TCP Socket 通讯。Socket 是一种客户端和服务程序间进行通信的机制,为 TCP/IP 通信协议提供了独立的网络编程接口,应用程序通过调用这些网络编程接口实现计算机之间的数据传输。

现场测试终端软件设计主要的功能模块有:

(1)测试内容的接收和存储模块;

(2)现场测试终端对硬件在环仿真测试平台中的整车控制器进行诊断测试和结果上传模块。

现场测试终端软件流程图如图 4 所示。

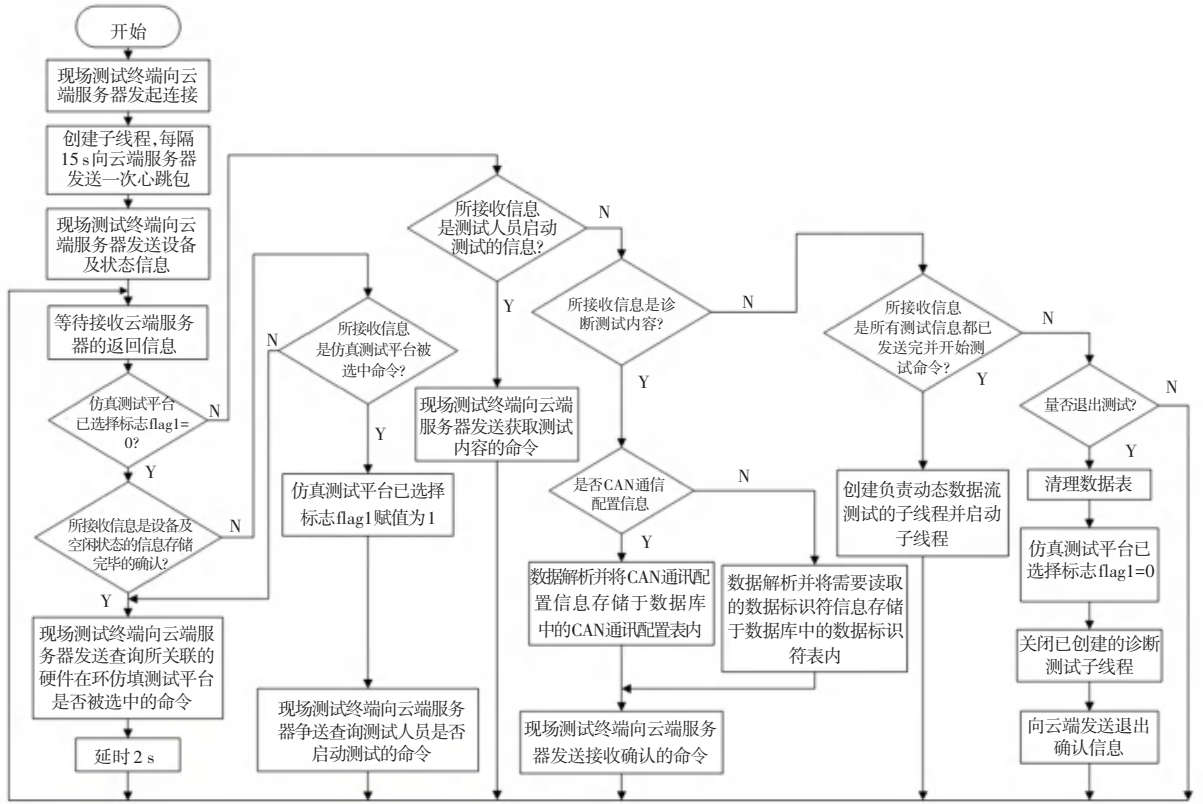


图 4 现场测试终端软件流程图

Fig. 4 Flow chart of software for field test terminal

2.2.1 存储模块设计

Sqlite 数据库体积小、性能稳定且使用简单, 是非常适合嵌入式设备的轻量数据库。Sqlite 程序与测试终端应用程序共用一个进程空间, 使用方便简单^[6]。另外, 现场测试终端的应用程序使用 QT 编写, QT 是一种跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序开发框架, 具有丰富的模块, 其中 QT SQL 模块可以方便地实现对 Sqlite 数据库的各种操作。在 QT 内借助 QSql 模块所包含的各种类来实现对 Sqlite 数据库的各种操作。因此, 现场测试终端选择 Sqlite 作为存储测试数据的数据库。

2.2.1.1 CAN 通讯配置参数表

ECU 动态数据流获取功能测试模块使用的 CAN 通讯配置参数表的字段主要有帧类型、数据标识符个数和状态参数上传周期 period 等, 见表 1。

表 1 CAN 通讯配置参数表

Tab. 1 CAN communication configuration parameter table

字段名称	数据类型	字段约束	字段描述
Configure_Id	INTEGER	主键、非空	序号
CANID	CHAR(4)	非空	报文标识符
DID_num	CHAR(1)	非空	数据标识符个数
period	INTEGER	非空	状态参数上传周期

2.2.1.2 DID 数据表

DID 数据表主要存储获取的状态参数对应的数据标识符, 见表 2。

表 2 DID 数据表

Tab. 2 DID data sheet

字段名称	数据类型	字段约束	字段描述
DID_Id	INTEGER	主键、非空	序号
test_num	CHAR(1)	非空	测试序号
DID1	CHAR(2)	非空	数据标识符 1
DID2	CHAR(2)	非空	数据标识符 2
DID3	CHAR(2)	非空	数据标识符 3
DID4	CHAR(2)	非空	数据标识符 4

2.2.2 现场测试终端诊断测试模块设计

现场测试终端接收全部测试内容后, 会向云端 TCP 服务端程序发送存储完毕信号, 云端服务器接收到该信号, 将向测试终端发送“所有测试信息都已发送并开启测试”命令, 此时, 诊断测试过程开始。

诊断测试模块由子线程执行相应诊断测试函数实现, 满足远程测试人员随时执行停止测试和重新测试等的要求, 使得系统更加灵活。

当用户退出测试以后, 软件会清理测试过程中创建的数据表、初始化仿真测试平台, 关闭负责诊断测试的子线程, 最后向云端发送退出完成回复。

整车控制器通过不断获取汽车的状态信息,可以更好的实现对汽车的控制,还可以将一部分状态数据提供给驾驶员,比如:转速,车速等使其对汽车的运行状态有更清晰的了解。因此,整车控制器能够及时准确地获取汽车的状态参数,通过车辆状态参数获取功能测试即可判断VCU是否可以实现这一重要功能。在对VCU状态参数的获取功能进行测试时,主要使用的数据传输服务为ReadDataByIdentifier(0x22)。

3 云端 TCP 服务器软件设计

云端 TCP 服务器软件用于为现场测试终端提供完整的诊断测试服务,包括测试内容的发送以及

测试结果的接收等。

测试内容发送及测试结果接收模块程序流程图如图5所示。TCP服务器程序接收到现场测试终端查询是否已启动测试的命令之后,通过创建子线程定时从相关数据表中查询用户的测试启动命令,一旦检测到启动信号,立即向TCP客户端发送“测试人员已启动测试”信号,发送成功之后,线程结束。在线程检测启动信号的过程中,由于TCP服务端仍然可以正常接收TCP客户端信息,如心跳包,所以TCP客户端和服务端可以始终保持正常连接状态。

“测试人员已启动测试”信号发送成功后,TCP服务端将接收到获取测试内容的命令,这时,需要创建子线程,用于发送测试内容等。

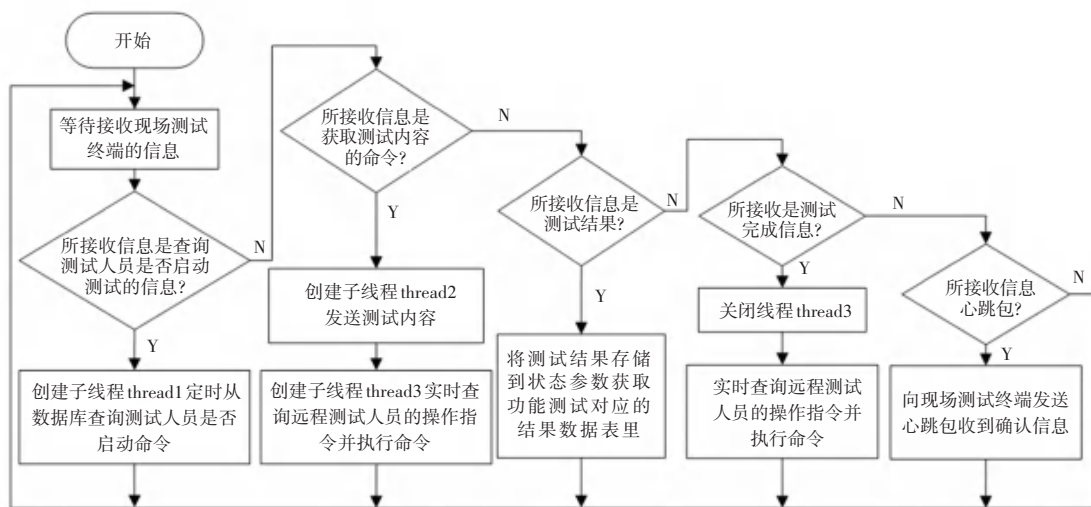


图5 测试内容发送和测试结果接收程序流程图

Fig. 5 Flow chart of the procedure for sending test content and receiving test results

4 远程客户端设计

远程客户端和后端服务器程序采用B/S架构。网站的开发使用Django。Django使用的是MTV架构,即Model、Template和View。其中Model负责网站的数据存储,通过Modle可以轻松实现网站和数据库的数据交互;Template下存放html文件,即前端网页的内容,其和负责网页显示样式的css文件以及负责网页逻辑功能的js文件共同构成一个完整的前端网页;View负责对数据的逻辑处理,负责实现前端网页的跳转和用户命令的接收、处理以及结果的反馈。

车辆状态参数获取功能测试界面用于创建所要获取的车辆状态参数,以及实时显示车辆的各种状

态。用户创建好CAN通讯配置信息以及需要读取的车辆状态参数后,系统将各状态参数对应的数据标识符以及读取车辆状态的命令等信息发送至云端数据库中,由TCP服务器程序监测并转发至现场测试终端。

5 系统功能测试与验证

为了检测状态参数获取功能测试模块的实际效果,可以通过硬件在环仿真测试平台模拟驾驶员的操作,改变车辆的状态参数,然后在远程测试界面创建将要获取的车辆状态参数,通过该远程测试系统读取模拟的车辆状态信息,对比模拟的车辆状态和远程测试界面实际获取的车辆状态,从而判断状态参数获取功能测试模块是否满足要求。