

基于 CAN 通信的电动汽车驱动电机控制器 主芯片固件升级系统设计

刘宝岩¹, 李军伟^{1*}, 许金鹏¹, 汪志莹¹, 李连强²

1. 山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255049;

2. 一汽解放青岛汽车有限公司, 山东 青岛 266217

摘要:为解决电动汽车驱动电机控制器主控芯片 TMS320F28377S 应用程序升级维护操作困难的问题,设计开发一种基于控制器局域网(controller area network, CAN)通信技术的固件升级系统。通过配置 CAN 模块及 Flash 模块,解析 HEX 文件,结合汉明码校验算法,实现对引导程序及应用程序的设计;选用 PyQt 应用架构设计上位机操作界面,制定通信协议,实现对上位机软件的设计;在新能源汽车电机测试台架上,将开发的固件升级系统应用到电机控制器,进行电机电流加载闭环控制试验验证。试验结果表明:基于 CAN 通信的 TMS320F28377S 芯片固件升级系统能完成上位机和电机控制器的数据传输,系统快捷方便、稳定性高,可广泛应用于电机控制器应用程序的升级。

关键词:电机控制器;TMS320F28377S 芯片;固件升级;CAN 通信

中图分类号:U463.67

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2023)04-0101-06

引用格式:刘宝岩,李军伟,许金鹏,等.基于 CAN 通信的电动汽车驱动电机控制器主芯片固件升级系统设计[J].内燃机与动力装置,2023,40(4):101-106.

LIU Baoyan, LI Junwei, XU Jinpeng, et al. Design of the firmware upgrade system for the main chip of the electric vehicle motor controller based on CAN communication [J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2023, 40(4): 101-106.

0 引言

电机控制器是电动汽车电控系统的重要组成部分^[1-2],电机控制器通过控制器局域网(controller area network, CAN)技术实现与整车之间的通信^[3]。CAN 通信具有可靠性高、实时性和灵活性强等优点^[4]。主控芯片为 TMS320F28377S 的电机控制器传统的程序更新方式是利用联合测试工作组(joint test action group, JTAG)调试接口,连接仿真器进行程序下载更新^[5]。但是电机控制器外部 JTAG 调试接口较少,应用程序维护更新时,需拆开电机控制器外壳才能进行,费时费力,且影响控制器防尘防水效果,增加使用风险^[6]。

本文中设计开发了一套基于电动汽车驱动电机控制器 TMS320F28377S 主芯片(以下简称“主芯片”)的固件升级系统,通过 CAN 通信将应用程序的 HEX 文件烧写到主芯片,结合汉明码的校验和纠错功能实现上位机与电机控制器的数据传输,实现电机控制器程序更新。相比传统更新方式,该固件升级系统可简化上位机开发过程,降低上位机语言开发难度,方便迅速,提高升级效率,可广泛应用于电机控

收稿日期:2023-03-05

基金项目:青岛市关键技术攻关及产业化示范类项目(22-3-2-qjrh-7-gx)

第一作者简介:刘宝岩(1995—),男,山东滕州人,硕士研究生,主要研究方向为电动汽车控制技术,E-mail: 792225723@qq.com。

通信作者简介:李军伟(1964—),男,河南平顶山人,工学博士,教授,主要研究方向为电动汽车关键控制技术,E-mail: ljwhitt@163.com。

制器程序更新^[7-9]。

1 总体方案

基于 CAN 通信的固件升级系统以上位机软件为人机接口, CAN 卡为通信媒介, 通过引导程序实现应用程序更新。固件升级系统总体方案如图 1 所示, 分为软硬件调试阶段及升级应用程序阶段。在软硬件调试阶段, 通过 JTAG 仿真器, 利用代码调试器 (code composer studio, CCS) 向控制器主芯片存放引导程序的 Flash 扇区烧写引导程序; 在升级应用程序阶段, 由于主芯片的编译环境支持 HEX 文件生成, 基于 CAN 通信, 使用上位机软件将待烧写应用程序的 HEX 文件发送给主芯片的引导程序, 引导程序接收解析 HEX 文件, 并将解析后的数据写入存放应用程序的 Flash 扇区后, 主芯片运行新的应用程序, 实现控制器程序升级。

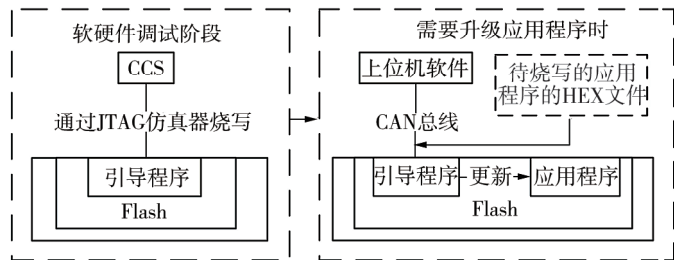


图1 基于CAN通信的固件升级系统总体方案

2 系统设计

基于 CAN 通信的固件升级系统设计包括 3 个部分: 引导程序、应用程序和上位机。

2.1 引导程序

2.1.1 划分 Flash 存储空间

主芯片的 Flash 存储空间为 512 Kibyte, 划分为 FlashA ~ FlashAB 共 28 个扇区, 存储地址为 0x080000 ~ 0x0FFFFFF。

为了实现固件升级, 将 TMS32F28377S 芯片的 Flash 空间分成 2 部分: 一部分地址为 0x080000 ~ 0x083FFF, 占用 FlashA 和 FlashB 2 个扇区, 用于存放引导程序; 另一部分地址为 0x084000 ~ 0x0FFFFFF, 占用扇区 FlashC ~ FlashAB, 用于存放应用程序。存放不同类型的程序时, 需将芯片定义好的段 (如存放所有可执行代码和常数的段 .text、存放初始化的全局变量和静态变量的段 .cinit、存放全局构造器列表的段 .pinit 等) 映射到对应扇区, 以便程序调用。

2.1.2 配置 CAN 模块

主芯片有 2 路 CAN 通信 (CAN A、CAN B), 每路 CAN 通信有 32 个邮箱, 通过配置 CAN A 模块实现控制器与上位机的通信。CAN A 模块的波特率为 250 Kibit/s, 传输数据的帧格式为标准帧, 定义 1、2、3 号邮箱标识符 (identification, ID) 分别为 0x123、0x124、0x125, 使 1 号邮箱向上位机发送 ID 为 0x123 的报文, 2 号邮箱接收上位机下发 ID 为 0x124 的报文, 3 号邮箱接收上位机下发 ID 为 0x125 的报文, 此时 CAN 通信中断, 处理接收到的报文。

为确保 CAN 通信传输 HEX 文件的准确性, 选用汉明码进行数据校验与单比特数据纠错, 汉明码能准确校验传输数据, 并可纠正单比特错误数据。

上位机每发送 1 行 HEX 文件前生成 1 次汉明码, 假设上位机 (发送节点) 原始数据为 m 位的二进制码序列, 需添加 k 位校验位, 由 $2^k \geq m + k + 1$ 计算得出 k 后, 将原始数据分成 k 组, 每组数据按配偶原则做异或运算得出一个校验位 (共 k 个校验位), 将校验位依次附在原始数据后面, 即 $m+k$ 位数据从左到右依次编号为 1, 2, 3, ..., $m+k$, 并进行传输; 控制器 (接收节点) 以行为单位接收解析文件, 并按同样的方法分组、计算校验, 判断解码结果, 如果发现某几个校验位不对, 则根据分组的特性找出对应数据组, 确定错误数据的地址后, 取反纠正相应的错误^[10]。

2.1.3 配置 Flash 模块

主芯片 Flash 驱动包括擦除和写入 Flash 程序,先擦除 Flash 对应扇区后,再执行写入 Flash 程序命令,擦除或写入 Flash 时需将相关程序复制到随机存取寄存器(random access memory, RAM)中,并分别调用 Flash API 函数库的擦除函数 Fapi_issue Async Comm and With Address、写入函数 Fapi_issue Programming Comm and Flash 以及部分校验函数完成相应操作^[11-12]。

擦除命令、写入命令执行流程如图 2 所示。由图 2a)可知:根据擦除程序的类型(引导程序或应用程序)擦除相应扇区,设置 PUMPREQUEST 寄存器,完成 Flash 控制权分配;调用 Flash API 初始化函数,以芯片频率完成 Flash API 中的操作;初始化后,调用 Flash 库激活函数,调用 Flash 擦除函数擦除相关扇区;待 Flash 空闲时,检验扇区是否被擦除;检验通过则退出擦除命令执行流程,检验不通过则报错退出。由图 2b)可知:擦除命令执行流程与写入命令执行流程大致相同,但写入命令调用 Flash 写入函数应将数据写入相应的地址,且等待 Flash 空闲时检验写入的数据是否正确,其余流程与擦除命令执行流程相同。

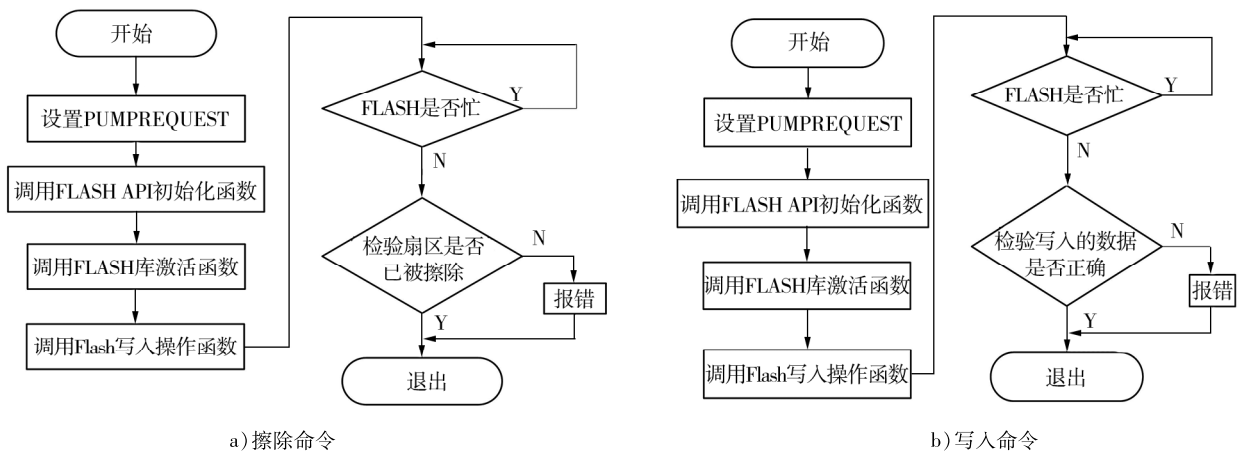


图 2 擦除命令、写入命令执行流程图

2.1.4 解析 HEX 文件

HEX 文件以十六进制表示 ASCII 信息,以行为单位,每行以“:”开头,可以直接烧录到主芯片中。HEX 文件每行包含 5 个域:数据长度域、数据地址域、数据记录类型域、数据域及校验和域^[13-14]。数据长度域占用 1 个字节,表示该行包含数据的字节数;数据地址域占用 2 个字节,表示该行首个数据的偏移地址;数据记录类型域占用 1 个字节,有 00、01、02、03、04、05 等 6 种记录类型,其中 00 为记录数据,01 为文件结束,02 为记录扩展段地址,03 为记录开始段地址,04 为记录扩展段线性地址,05 为记录开始线性地址^[15-16]。由于 05 类型不用于嵌入式程序,本系统无需解析 05 类型;数据域占用 n 个字节($1 \leq n \leq 32$),表示具体数据;校验和域占用 1 个字节,用于校验数据。

HEX 文件解析与校验流程如图 3 所示。如图 3 可知:解析 HEX 文件时先判断数据的

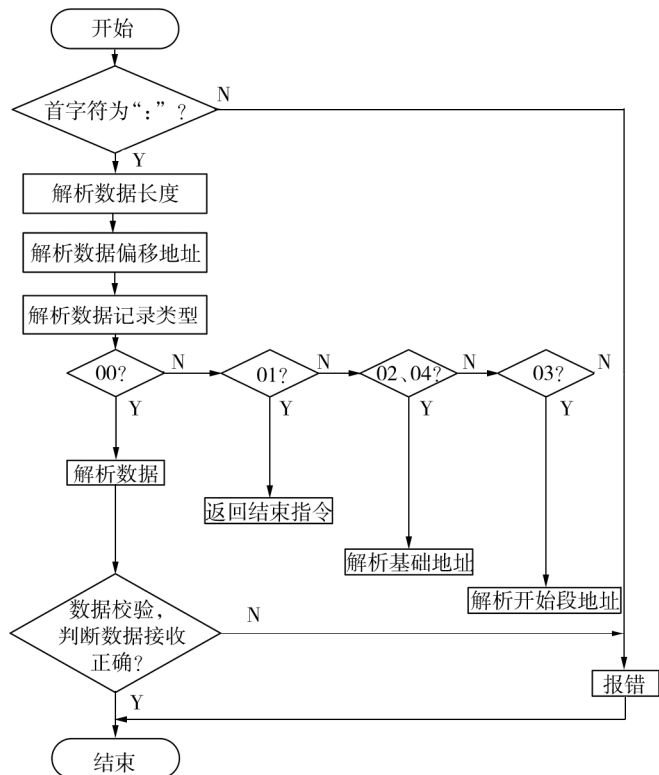


图 3 解析与校验 HEX 文件流程

首字符是否为“:”,若是,则继续解析后面的数据;若不是,则报错;依次解析数据长度、数据偏移地址、数据记录类型,判断数据记录类型,若为00,则继续解析数据;若为01,则结束指令;若为02或04,则解析 HEX 文件基础地址;若为03,则解析开始段地址。00 解析数据完成后进行数据校验,若数据校验通过,则写入主芯片相应的 Flash 地址中;校验不通过,则报错,并结束流程。

2.1.5 运行流程

1) 主芯片上电后,执行 RESET 指令,该指令对应的 Flash 地址是 0x3FFFC0,执行启动系统程序,完成底层寄存器及堆栈等的环境配置。

2) 执行引导加载程序的 main 函数,对必要模块(如时钟模块、CAN 模块、Flash 模块等)初始化,在主循环里设置等待时间为 5 s,如果 5 s 内收到来自上位机的升级指令,则进入用户升级程序;如果未收到来自上位机的升级指令,则跳出升级程序,执行原应用程序。

3) 控制器收到来自上位机的升级指令执行用户升级程序后,擦除旧的应用程序,等待上位机发送新应用程序的 HEX 文件。

4) 上位机以行为单位发送 HEX 文件数据,控制器接收数据并保存到自定义的数组中,同时向上位机应答。

5) 控制器接收完 1 行数据后,对自定义数组中整行的数据,按照 HEX 的格式,解析出该行的数据长度、数据地址、数据内容及校验码,并写入到对应的 Flash 地址。

6) 重复上一步,直至整个 HEX 文件数据写入对应的 Flash 地址中。

7) 跳转至新用户程序的开始地址执行程序。

2.2 应用程序存储

由于 FlashA 和 FlashB 已划分给引导程序,应用程序只能占用扇区 FlashC~FlashAB,文中应用程序主要占用扇区 FlashC~FlashJ。

2.3 上位机软件

通过调用 CAN 卡,上位机实现与控制器之间的信息交互,结合汉明码校验和纠错功能实现上位机与电机控制器的数据传输。上位机主要包括操作界面设计、通信协议制定。

2.3.1 操作界面设计

PyQt 是 Python 和 Qt 的结合,能够高效地编写各类图形用户界面应用程序^[17],利用 PyQt 的设计工具 Qt Designer 搭建图形化操作界面,操作界面主要包含 CAN 卡配置操作、升级过程操作和窗口显示。CAN 卡配置操作可实现波特率的选择功能,CAN 卡打开、关闭及复位功能;升级过程操作包括准备升级操作、加载文件操作和开始升级操作;窗口显示分为 2 部分,一个用于显示运行状态,另一个用于显示 HEX 文件传输数据流。

2.3.2 通信协议制定

为了实现上位机与控制器之间的 CAN 通信,通过不同 ID 和不同报文数据交互不同的程序指令实现自定义通信协议,直到 HEX 文件传输结束。HEX 数据帧与命令帧的数据长度不同,命令帧数据长度固定为 1,具体通信协议如表 1 所示。

表 1 通信协议

报文 ID	报文数据	传输方向	功能描述
0x124	0xFA	上位机→控制器	控制板升级应用程序指令
0x123	0x1A	控制器→上位机	控制板准备升级
0x124	0xFB	上位机→控制器	Flash 擦除命令
0x123	0x1B	控制器→上位机	Flash 擦除完成
0x125	HEX 文件	上位机→控制器	发送 HEX 数据
0x124	0xFC	上位机→控制器	发送完 1 行 HEX 数据
0x123	0x1C	控制器→上位机	1 行有效的 HEX 数据写入了指定地址
0x124	0xFD	上位机→控制器	整个 HEX 文件传送结束

3 试验验证

在新能源汽车电机测试台架上,基于 CAN 通信的固件升级系统,进行电机电

流加载闭环控制试验,试验流程示意如图4所示。试验过程如下。

1) 基于 CCS 集成开发环境,配置生成电机电流闭环控制的 HEX 文件,作为升级文件。

2) 将引导程序烧写到控制器主板后,打开上位机,使用 CAN 卡连接控制器主板和上位机。

3) 配置上位机 CAN 卡波特率为 250 Kbit/s,打开 CAN 卡进行通信;点击“准备升级”按钮,上位机与控制器主板实现通信握手。

4) 上位机操作界面显示“请加载程序”后,点击“加载文件”按钮,选择要升级的 HEX 文件,点击“开始更新”按钮,程序开始更新;HEX

文件以行为单位传输,每传输完一行数据,运行状态显示框显示“写入一行 Flash”,数据流显示框显示实时传输数据。

5) 当整个 HEX 文件顺利传送完成后,上位机操作界面显示“更新完成”,应用程序升级完成。

6) 将升级后的电机控制器安装到新能源汽车电机测试台架上,检查直流侧高压线、三相高压线、旋变信号线、散热水路等是否正确连接,进行电机电流闭环控制试验,验证电机控制器的工作状态。

通过台架配套测试软件中的电流闭环控制指令,验证电机正常工作,升级程序各项功能正常。

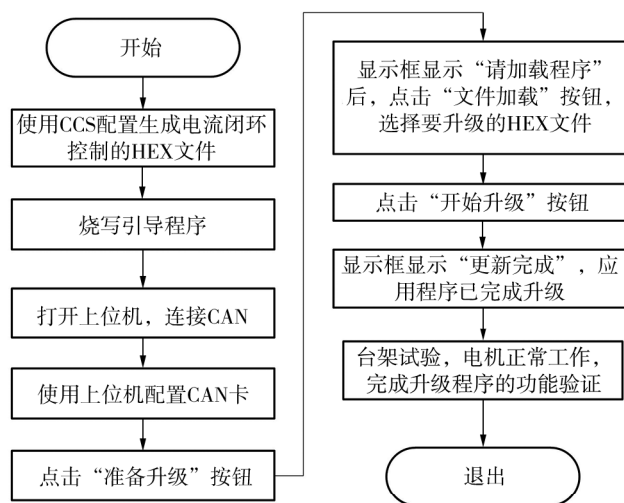


图4 试验流程示意图

4 结论

1) 基于 CAN 通信的 TMS320F28377S 固件升级系统,可实现电机控制器应用程序升级,提高了后期软件维护工作的便利性。

2) 固件升级系统完成对引导程序、应用程序及上位机软件的设计,其中,引导程序设计包括 CAN 模块、Flash 模块的配置及 HEX 文件解析,并采用汉明码进行数据校验与单比特数据纠错,确保 CAN 通信传输 HEX 文件的准确性。

3) 自定义通信协议通过不同 ID 和不同报文数据实现上位机与控制器之间的 CAN 通信,电机电流加载闭环控制试验可实现对固件升级系统的有效验证。

参考文献:

- [1] 张栋,范涛,温旭辉,等. 电动汽车用高功率密度碳化硅电机控制器研究[J]. 中国电机工程学报,2019,39(19): 5624-5634.
- [2] 梁文远,易晨. FPGA 在电动汽车电机控制器中的应用[J]. 机电工程技术,2020,49(11):231-232.
- [3] 李亚运,孙耀杰. 基于 ISO15765 的电动汽车诊断系统设计[J]. 计算机测量与控制,2017,25(1):24-26.
- [4] 赵大伟. 电机控制器与上位机通信协议转换工具设计[D]. 长春:吉林大学,2018.
- [5] 刘浩,李荣冰,刘建业,等. 基于串口通信的 DSP 在线烧写技术研究[J]. 电子测量技术,2017,40(7):184-187.
- [6] 文丰,温倩,武慧军. 基于 IAP 的嵌入式系统在线编程设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2022,22(12):37-41.
- [7] 倪庆生,倪云龙,潘晓阳,等. 基于 CAN 总线的 TMS320F28335 远程在线升级方法设计[J]. 电子与封装,2021,21(11):34-38.
- [8] 杨斌,吕伟,马慧斌,等. 基于 RS485 的多 DSP 系统在线升级程序方法研究[J]. 电子设计工程,2019,27(13): 118-123.
- [9] 陈彤,黄立梅. 一种用于汽车电控单元 CAN Bootloader 的设计与实现[J]. 汽车实用技术,2016(9):156-160.

- [10] 王全福. 汉明码校验位取值的教学分析[J]. 现代计算机, 2020(13):77-78.
- [11] 么居标, 宋建桐, 吕江毅, 等. 基于 CAN 总线的电机控制器 Bootloader 开发[J]. 测控技术, 2018, 37(10):124-126.
- [12] 许金鹏, 李军伟, 李连强, 等. 基于 S32K144 的电控制动系统固件升级系统开发[J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(6):55-59.
- [13] 刘浩, 李荣冰, 刘建业, 等. 基于串口通信的 DSP 在线烧写技术研究[J]. 电子测量技术, 2017, 40(7):184-187.
- [14] 汪志莹, 李军伟, 李兴坤, 等. 基于 UDP 的混动商用车巡航控制器 OTA 系统开发[J]. 内燃机与动力装置, 2023, 40(2):42-49.
- [15] 张海涛. CAN 总线在新能源汽车电机控制器程序升级中的应用[J]. 上海汽车, 2014(6):38-42.
- [16] 高世皓. 利用 HEX 文件实现 TMS320F28335 的程序升级方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2017, 17(7):13-18.
- [17] 陶文玲, 侯冬青. PyQt5 与 Qt 设计师在 GUI 开发中的应用[J]. 湖南邮电职业技术学院学报, 2020, 19(1):19-21.

Design of the firmware upgrade system for the main chip of the electric vehicle motor controller based on CAN communication

LIU Baoyan¹, LI Junwei^{1*}, XU Jinpeng¹, WANG Zhiying¹, LI Lianqiang²

1. School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;

2. FAW Jiefang Qingdao Automobile Co., Ltd., Qingdao 266217, China

Abstract: In order to solve the problem of the application program upgrade and maintenance of the main motor controller chip TMS320F28377S of the electric vehicle driver, a firmware upgrade system based on controller area network CAN communication technology is developed. Through configuring CAN module and Flash module, parsing HEX file and combining Hamming code checking algorithm, the design of boot program and application program is realized, the firmware upgrade system is applied to the new energy vehicle motor test bench, and the motor controller current loading closed-loop control experiment is carried out. The test results show that the TMS320F28377S firmware upgrade system based on CAN communication can complete the data transmission between PC and motor controller, and the system is fast, convenient and stable, widely used for motor controller application upgrades.

Keywords: motor controller; TMS320F28377S chip; firmware upgrade; CAN communication

(责任编辑:臧发业)