文章编号：0465-7942(2026)02-0001-05

基于4G通讯的STM32处理器在线程序升级系统设计

任艺晨[1]， 刘谢文[1]， 王艳芳[2]， 岳 钊[1,3]， 张文嘉[4]
(1. 南开大学 电子信息与光学工程学院，微电子系，天津 300350;
2. 南开大学 电子信息与光学工程学院，电子信息实验教学中心，天津 300350;
3. 天津市光电传感器与传感网络技术重点实验室，天津 300350; 4. 交通运输部 天津水运工程科学研究院，天津 300456)

摘要：设计并实现了一款基于4G通讯技术对STM32F407处理器进行程序远程在线升级的系统.系统包括了上位机用户端、云服务器端、待升级设备端3个部分.上位机用户端选择待下载程序文件逐帧发送给云服务端，云服务端将数据转发给目标待升级设备端.设备端的4G模块接收到数据后通过串口发送给STM32F407处理器,处理器对数据进行逐帧校验并写入FLASH中,完成程序的更新升级.经过多次实际测试,验证了该远程在线升级系统可以可靠地对设备端进行程序在线升级的任务,为其他嵌入式处理器的在线升级应用提供了参考.

关键词：STM32处理器；4G技术；程序在线升级
中图分类号：TP368.2 **文献标识码**：A

0 引 言

随着电子技术的发展,基于单片机处理器的探测、监控、控制等电子产品已经非常广泛地应用到了工业、医疗、运输等领域.当投入使用的产品需要对程序进行升级维护时,传统的做法是派遣技术工程师到现场使用下载器对单片机代码进行重新烧录.然而在一些存在高压、高温、有毒气体等危险条件的场景下,现场操作将不再适用.同时,考虑到产品拆解的损耗以及高昂的维护成本,远程在线升级设计已经成为电子产品中必不可少的一部分[1-2].针对上述分析,本文采用了通信传输速度快、适用范围广、传输性能稳定的4G通信技术,研究实现了远程在线对STM32F407处理器进行程序升级的方法.

1 系统整体设计方案

在线升级系统的整体结构设计如图1所示,主要分为上位机用户端、云服务器端、待升级设备端3个部分.在上位机用户端设计了与用户交互的UI,用户通过文件选择按钮选择以.bin文件格式存储在计算机中的待升级程序,使用下载控制按钮控制下载的开始与退出,在消息显示框查阅下载过程中的提示信息.上位机客户端在收到用户的下载指令之后,首先进行通讯测试确保与待升级设备的通讯连接,在收到待升级设备客户端的已准备好回复信息之后开始将bin文件进行分帧操作并进行逐帧下发,同时启动错误重发和超时退出机制.

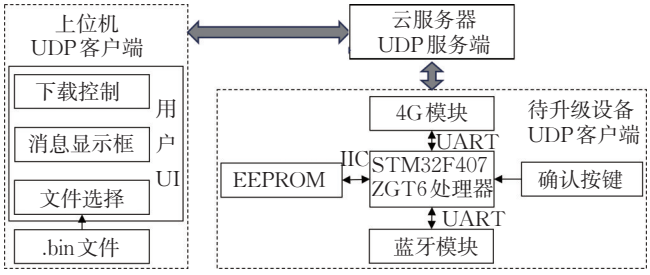


图1 基于4G通讯的STM32处理器在线程序升级系统设计框图
Fig.1 STM32 processor online program upgrade system based on 4G communication

在云服务器端,运行着一个UDP(user data-gram protocol)的服务程序负责对两个客户端进行在线管理和消息转发.当上位机的UDP客户端或者待升级设备端的UDP客户端运行后,分别与该

收稿日期：2025-09-19
基金项目：宁波市交通运输科技计划项目(202314);天津市自然科学基金(22JCQNJC00290)
作者简介：任艺晨(2001-),男,山西大同人,硕士研究生.
通讯作者：张文嘉(1987-),女,重庆人,助理研究员,研究方向:传感器与传感系统. E-mail:zhangwenjia@tiwte.ac.cn

UDP服务程序建立UDP连接.服务程序通过定时检查客户端心跳信息来管理客户端的在线状态,同时对来自客户端的消息进行转发,实现数据从客户端到客户端的传递.

在待升级设备端,STM32处理器的FLASH划分为3个区域分别存储Bootloader、用户APP代码和新代码缓存区.Bootloader可以完成新代码的接收和更新,同时依据存储在EEPROM(electrically erasable programmable read only memory)中的标志位来判断是否进行代码升级的操作,如果不升级则直接跳转到用户APP代码运行.当处理器收到开始下载指令之后,修改EEPROM中的标志位,然后进行软复位回到Bootloader,依据EEPORM存储的标志位进入新代码的更新逻辑.Bootloader逐帧接收新代码文件并进行帧长度和帧CRC(cyclic redundancy check)校验,确认无误之后,将数据暂存在新代码缓存区.全部数据接收完成,待用户按下确认按键后将新代码缓存区数据全部搬移到用户APP代码区,然后进行堆栈指针复位并跳转到用户APP代码区运行新的代码.

2 系统设计实现

2.1 系统硬件设计

待升级设备端的主控处理器型号为STM32F407ZGT6,该芯片为意法半导体STM32F4系列芯片中配置强大的一款MCU(microcontroller unit),它拥有192 kB SRAM、1 MB FLASH、6个串口以及112个通用IO口,采用Cortex M4内核,最高运行频率可以达到168 MHZ.处理器通过串口获取4G模块接收到的来自服务器的数据.4G模块选用有人物联网的WH-LTE-7S1模块,该模块搭载Cat1网络,支持网络透传,基于现有运营商4G网络,具备覆盖范围广、稳定性高等特点[3-4].4G模块接口电路原理图如图2所示.

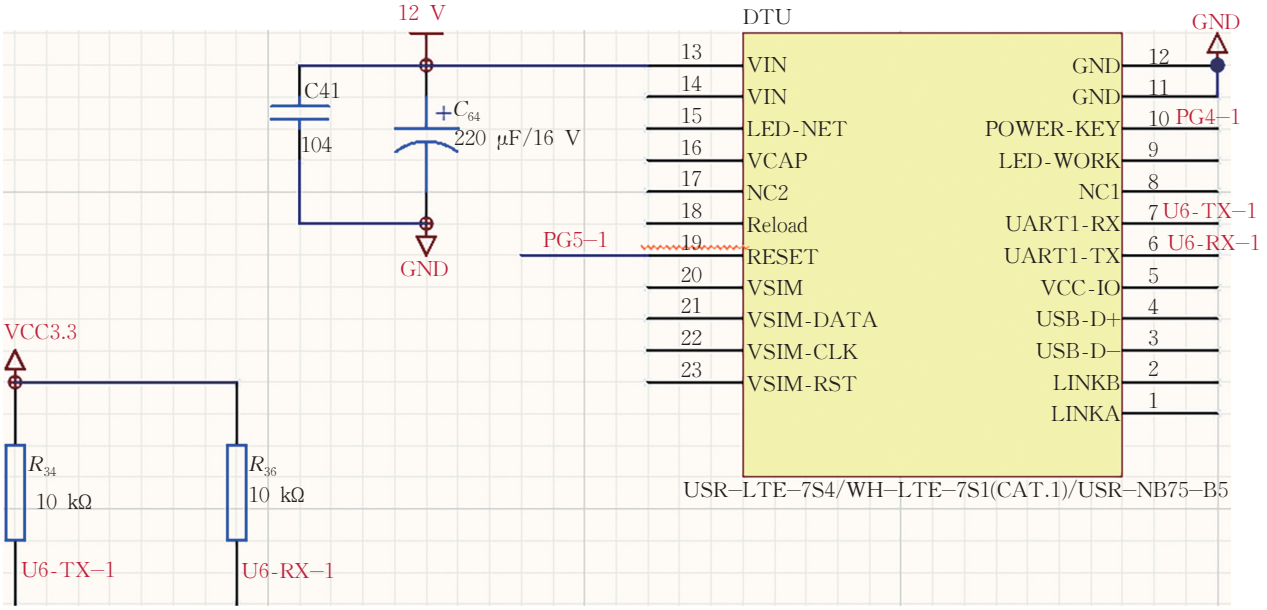


图2 4G模块接口电路原理图

Fig.2 Interface circuit diagram of 4G module

MCU运行Bootloader代码区时是否进入新程序更新流程取决于EEPROM中存储的标志位.EEPROM选用的型号是AT24C64,这是一款串行电可擦除编程只读存储器,具备掉电不易失的特性,可以存储8 192个字节数据.EEPROM的接口电路原理图如图3.

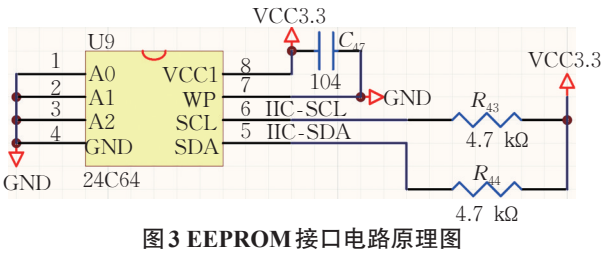


图3 EEPROM接口电路原理图

Fig.3 EEPROM interface circuit diagram

待升级设备端通过蓝牙将升级信息和运行状态发送给匹配连接的用户手机端.蓝牙模块选用HC-06模块,该模块支持UART、USB等接口,支持主从一体机制,主要用于短距离的数据无线传输领域.蓝牙模块的

接口电路原理图如图4所示.

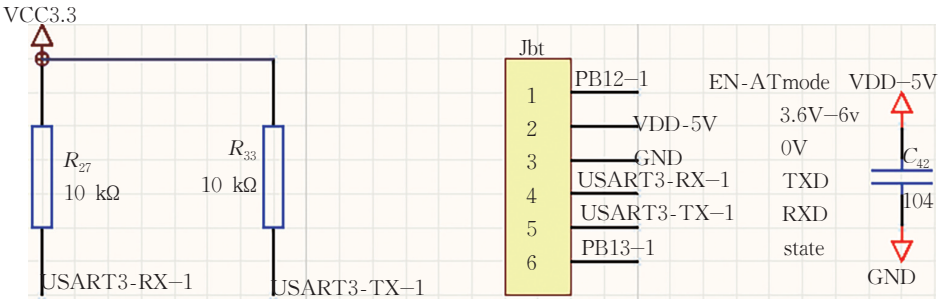


图4 蓝牙模块接口电路原理图

Fig.4 Bluetooth module interface circuit diagram

2.2 系统软件设计

系统软件设计的流程图如图5所示.上位机用户端利用MDK5软件内嵌的fromelf.exe工具可以在编译代码后生成相应的bin文件,bin文件格式的代码相对于hex文件格式的代码不需要编程器进行转化,可以直接写入FLASH.用户通过客户端UI提供的文件选择按钮触发文件加载线程,选择目标bin文件后,客户端按照预设数据格式将bin文件进行分帧打包操作.将文件总帧数、单帧数据长度、完整文件的CRC32校验码和该帧CRC32校验码整合为首帧[5].其他帧分别依次按照帧序、数据体、帧CRC32校验的顺序进行打包,数据帧准备好后存放在发送缓存区待发送[6–7].当用户点击开始下载按钮触发文件下发线程后,客户端首先下发“update”关键字进行通讯链路测试同时通知待升级设备端回到Bootloader并启动新程序接收逻辑.客户端收到设备端的确认应答“startupdate”后,开始逐帧下发缓存区的数据帧,并保证在收到来自设备端对该帧的确认应答后继续下一帧的下发,直到所有帧正确下发,在消息显示框给予用户下载成功提示.在文件下发线程启动的同时,客户端同步启动错误重发和超时退出机制.当单帧发送失败之后会连续重发尝试,超过3次退出文件下发线程,同时设置了超时机制,当时设备端超过5 s没有给出应答认为设备端掉线,退出文件下发线程.

服务端运行数据的转发线程和设备在线维护线程.设备在线维护线程通过监听设备端定时3 s上传的包含设备ip和设备编号的心跳数据,维护当前在线设备列表,当某设备超过10 s没有上传心跳包时,则认为该设备掉线.数据转发线程通过判别数据携带的发送方ip和目标设备编号,将来自客户端的数据转发给在线设备列表中对应的设备,同时将来自设备的应答消息转发给客户端.

待升级设备端的FLASH分为Bootloader、用户APP、用户APP缓存3个区域,分别占用0x08000000开始的32 kB FLASH空间、0x08008000开始的480 kB FLASH空间、0x08080000开始的512 kB FLASH空间[8–12](实际使用限制到480 kB与用户APP保持一致).上电后,MCU首先运行Flash中的BootLoader部

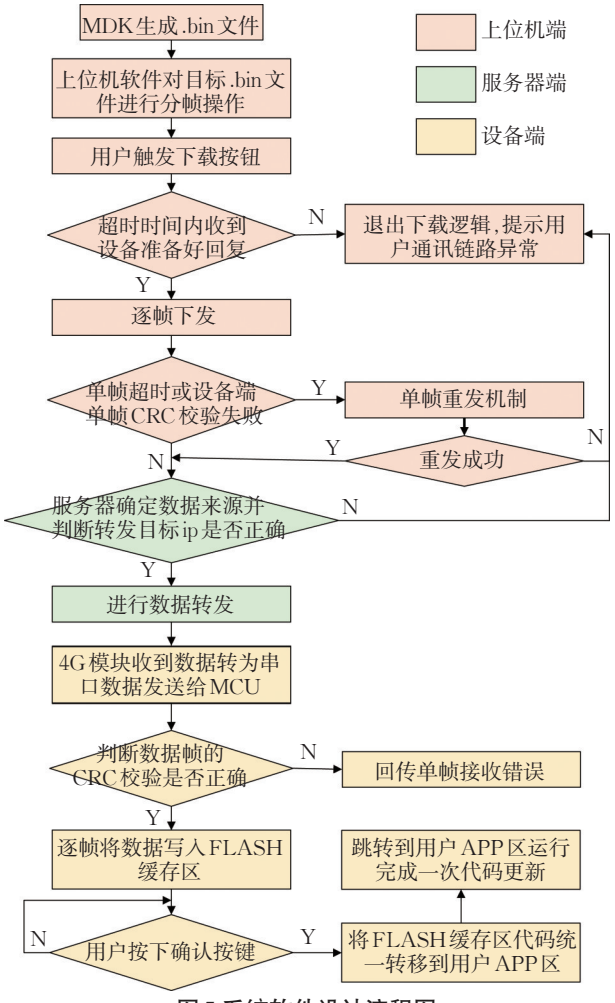


图5 系统软件设计流程图

Fig.5 System software design flow diagram

分代码,并通过判断EEPROM中存储的标志位来判断是否进入新代码的接收流程.当进入新代码接收流程后,设备端向客户端发送“startupate”指令作为对设备端“update”指令的响应消息,同时开始监听串口消息准备接收数据.通过解析首帧数据中的帧长、帧数以及各帧的CRC校验码来准确地将数据帧顺序存入用户APP缓存区.接收并缓存完成后,通过蓝牙提示用户新代码准备好,用户按下确认按键后将APP缓存区代码转移到用户APP区.然后进行APP程序代码的跳转,通过获取用户代码区的第1个字获取堆栈的栈顶指针进行堆栈指针复位,通过获取代码区第2个字获取APP程序起始地址并跳转到用户APP代码区运行新的代码,完成一次代码更新.

3 系统测试

待升级设备端使用的MCU型号为STM32F407ZGT6,FLASH存储空间为1 M,其中32 kB用于存放Bootloader程序、480 kB用于存放用户APP程序、512 kB用于缓存待更新的用户程序,所以可以支持的最大bin文件大小为480 kB.使用MDK编译并生成3个不同大小的用户APP程序.bin文件进行下载测试,同时使用不同的单帧容量测试程序更新耗时.

经过多次实验测试,在线升级系统功能稳定,预设各项功能均能实现,测试结果见表1,在线升级系统测试实物见图6.

表1 在线升级系统更新程序测试结果

Table 1 Online update system update program test results

程序功能	bin文件大小/kB	单帧容量/kB	升级耗时/s	测试结果
PWM输出实验	11.41	2	15.81	升级成功
PWM输出实验	11.41	4	6.82	升级成功
PWM输出实验	11.41	8	6.15	升级成功
照相机实验	85.8	2	52.93	升级成功
照相机实验	85.8	4	25.02	升级成功
照相机实验	85.8	8	24.38	升级成功
网络通讯实验	191	2	122.34	升级成功
网络通讯实验	191	4	63.25	升级成功
网络通讯实验	191	8	41.37	升级成功

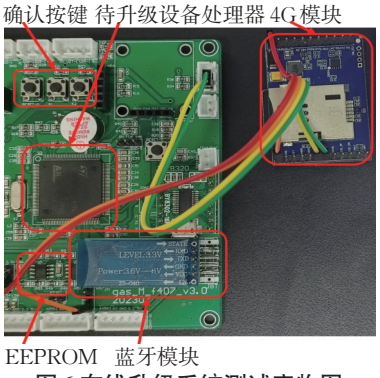


图6 在线升级系统测试实物图

Fig. 6 Actual picture of Online upgrade system tests

4 结 论

基于4G通讯方式,设计并实现了对STM32F407系列处理器的在线远程程序升级系统,支持大容量程序文件的升级,同时具有覆盖范围广、通讯连接可靠、传输速度快等优点.最后通过对不同大小的程序文件以及采用不同的传输帧容量进行分别测试,证明该方案可以有效用于嵌入式处理器的在线应用程序升级场景,为其他嵌入式处理器的远程升级方案提供有力参考.

参 考 文 献

1 罗晶晶. 基于4G网络的嵌入式设备远程升级系统设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2021.

2 吕春艳, 靳占军, 钟贻兵, 等. 4G无线通信技术的单片机远程升级研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19(11): 60–64.

3 刘奋泽. 基于ISP和NB–IoT技术的固件升级系统设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2023.

4 王浩江, 豆鑫逸, 刘圣典, 等. 基于STM32F7和Cat.1 DTU的智能快递监测箱设计[J]. 电子制作, 2023, 31(22): 26–30.

5　张正龙，张小华，李冀明，等．基于CRC32的数据校验的研究和应用[J]．科学咨询(科技·管理)，2011(2)：62—63.
6　黄有冬．基于CAN总线可在线升级的自适应限速系统的研制[D]．重庆：重庆大学，2018.
7　王丹丹．一种基于电源国产芯片的嵌入式软件在线升级方法[J]．中国科技信息，2023(16)：124—125.
8　王　飞，刘　芬．基于RS485总线的IAP升级方法[J]．自动化与仪器仪表，2023(2)：12—15.
9　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.
10　陈以安，李　鹏，车慢行．基于WiFi的STM32固件远程升级系统[J]．单片机与嵌入式系统应用，2022，22(7)：46—50.
11　刘梅华，黄增波，陈　伟．在线升级矿用传感器设计[J]．煤矿机械，2022，43(3)：1—4.
12　姜晓道，赵紫君．基于IAP的通用嵌入式系统在线升级功能设计[J]．电子制作，2022，30(6)：20—23.

Development of An Online Firmware Upgrade System for STM32 Processors Utilizing 4G Communication Technology

Ren Yichen[1], Liu Xiewen[1], Wang Yanfang[2], Yue Zhao[1,3], Zhang Wenjia[4]

(1. *Department of Microelectronics, College of Electronic Information and Optical Engineering, Nankai University, Tianjin* 300350, *China*; 2. *Electronic Information Laboratorial Teaching Center, College of Electronic Information and Optical Engineering, Nankai University, Tianjin* 300350, *China*; 3. *Tianjin Key Laboratory of Photoelectric Sensor and Sensor Network Technology, Tianjin* 300350, *China*; 4. *Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT, Tianjin* 300456, *China*)

Abstract: The design and implementation of a remote online upgrade system are presented for the STM32F407 processor, utilizing 4G communication technology. The system comprises three components: the host computer client, the cloud server, and the target device to be upgraded. The host computer client selects the program file intended for download and transmits it to the cloud server in a frame—by—frame manner. Subsequently, the cloud server forwards this data to the designated target device for upgrading. Upon receiving the data, the 4G module at the device end relays it to the STM32F407 processor via a serial port connection. The processor then verifies each data frame individually and writes it into FLASH memory to complete the program update. Extensive testing has demonstrated that this remote online upgrade system can reliably perform upgrades on devices, providing insights for other applications involving online upgrades of embedded processors.

Keywords: STM32 processor; 4G technology; program online upgrade

[责任编辑：杨赋]