

基于串口通信的 DSP 在线烧写技术研究*

刘浩 李荣冰 刘建业 周彬

(南京航空航天大学导航研究中心 南京 210016)

摘要: 为了解决 DSP 嵌入式系统某些特殊应用场合升级不方便、维护困难的问题,提出了一种基于串口通信向片内 Flash 在线烧写程序的方法。描述了该在线烧写方法的基本思想和实现步骤,并结合工程实际需要,优化了接收升级指令的时机,并在片内 Flash 设置应用程序备份区,进一步提高了烧写的可靠性和安全性,增强了系统的容错性和自愈恢复能力。实验结果表明,该方法有效可行,方便可靠,相比于传统基于 JTAG 烧写,可摆脱仿真器进行程序升级,提高了嵌入式系统的可维护性。

关键词: 在线升级; TMS320F28335; 串口通信; Flash

中图分类号: TP311.52; TN919.71 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4099

Research on on-line programming techniques for DSP based on serial communication

Liu Hao Li Rongbing Liu Jianye Zhou Bin

(Navigation Research Center, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to solve the problems of upgrading inconvenience in some DSP embedded systems, this paper proposes a method of on-chip Flash programming based on serial communication. This paper describes the basic idea and implementation steps of the online programming methods. Considering the needs of practical projects, it optimizes the timing of receiving upgrade instructions and allocates application backup area in the on-chip Flash. With these steps, the reliability and security of the system are improved. Besides, the system's fault tolerance and self-healing ability are enhanced. Experiment results show that the method is effective, simple and reliable. Compared with traditional programming method based on JTAG, it can be operated off the simulator, which improves the maintainability of the embedded system.

Keywords: upgrading online; TMS320F28335; serial communication; Flash

1 引言

对于已投入使用的 DSP 嵌入式系统,当用户代码需要根据实际情况更改或进一步完善升级时,通常是实地取下设备,露出 JTAG 端口后,通过德州仪器公司(TI)的 CCS 烧写插件对 DSP 片内 Flash 进行编程。该方法在程序的开发阶段或调试阶段使用较为方便简单,但在某些特殊场合,DSP 设备作为集成系统子模块,被部署到偏远地区或人员较难达到的区域,直接取下设备、连接仿真器存在较大困难,会给程序升级工作带来极大的麻烦。因此实现通过互联网、遥感卫星等远程通信方式,且无需人员到达现场就可实现设备升级变得越来越重要^[1-3]。本文以 TI 公司的 TMS320F28335(F28335)为例,介绍了一种仅需一根串口

电缆,而无需外部仿真器配合的在线更新应用程序的方法^[4-5]。

F28335 是 TI 公司推出的一款数字信号处理器,其运算速度高达 150 MHz,片上不仅集成了 34 K×16 bit 的 SRAM,还包含 256 K×16 bit 的 Flash 存储器,并拥有多种丰富的外设,具有强大的控制和信号处理能力,可广泛应用于电力电子、工业控制、智能仪表等领域^[6-7]。

2 基于 JTAG 的烧写技术

2.1 CCS 插件烧写技术

CCS(code composer studio)片上 Flash 编程器是 CCS 提供的一个插件,此编程器可以通过 CCS 集成开发环境,并配合仿真器实现 Flash 烧写^[8]。开发人员可以直接从

CCS 直接调用该编程器,方便快捷,因此这种烧写方式是产品在固件调试和原型样机阶段使用最多的方式。

2.2 SD Flash 烧写

SD Flash 是 Spectrum Digital 公司推出的一款免费、独立的 Flash 编程接口。该烧写方法首先配置 DSP 为 SCI-A 启动,通过 SD Flash 软件将用户代码固化到 Flash 后,再将 DSP 设置为 Flash 启动。该方式无需 CCS,且无需仿真器,在产品开发任意阶段均可使用。

3 串口烧写 Flash 技术

基于 JTAG 的两种烧写方式,在原型样机调试阶段较为方便,但当产品交付使用后,由于这两种方式或需要仿真器配合,或改变 F28335 的启动模式,均不适合在线升级的需求。而通过串口在线烧写技术则不存在此问题,其基本思路是采用“程序”烧写“程序”。第 1 个“程序”指固化在 Flash 中的底层程序,其主要用于判断在线烧写的时机、接收并烧写应用程序文件等;第 2 个“程序”指用户的应用程序,其用来实现嵌入式设备的特定应用功能,需要在线升级的也都是指这部分应用程序。

3.1 API 库函数介绍

应用程序接口文件(application program interface, API)是实现 DSP 的应用编程(IAP)功能的专门定制方案,其包含用于对 Flash 及一次性编程单元(OTP)进行擦除、编程和检验等操作的各种函数^[9-11],这些函数接口定义良好、可很方便地进行调用,各函数功能如下。

1) 擦除函数 Erase()

该函数用于擦除指定的 Flash 扇区(F28335 有 A~H 共 8 个扇区)。擦除函数是将指定的 Flash 中内容每位都置为 1,每次最小擦除一个扇区,其他没有指定的扇区内容不做改变。

2) 编程函数 Program()

该函数用于将应用指令和数据烧写至指定的 Flash 扇区,编程时将位由 1 变为 0,无法将 0 变为 1。因此在烧写程序前,必须调用擦除函数将指定 Flash 扇区全部变为 1。

3) 校验函数 Verify()

该函数将接收缓冲区的数据和写入 Flash 中的数据进行比较,如果相同,就表明已将 RAM 接收的数据全部正确地写入了 Flash 中。由于编程函数在烧写完成后包含操作状态的校验返回,因此校验函数是在编程完成后的二次校验。

3.2 底层程序功能

底层程序主要负责将接收到的应用程序目标代码烧写至 Flash 指定区域,是实现在线升级的基础,也是重点和难点。底层程序主要实现以下功能:

1) 在线升级时机的判断功能。DSP 上电复位后等待固定时间,查询上位机是否发出升级指令。若收到升级指令,则开始执行升级应用程序;否则,执行 Flash 中原有的应用程序。

2) 升级程序搬移功能。由于 F28335 不支持在 Flash 一个扇区擦除或烧写其他扇区,故底层程序中调用擦除、烧写、检验函数的升级程序需搬移至 RAM 上运行。

3) 接收应用程序代码缓存至 RAM 区。DSP 通过串口接收应用程序代码,且需确认用于缓存程序的 RAM 区未被占用。这可通过在底层程序中存储器定位语句指明缓存空间,用于专门接收应用程序。

4) 接收完成后将 RAM 中的代码烧写至指定 Flash 存储应用程序扇区。

3.3 底层程序和应用程序的定位

在嵌入式系统出厂前,底层程序大多通过 JTAG 的烧写方式固化在 Flash 中。通常软件更新升级,只是对应用程序进行升级完善,而底层程序无需改动。因此底层程序和应用程序是在 Flash 不同扇区分别存储。

系统复位后,DSP 检测相应 GPIO 引脚的电平状态,判断 DSP 为 Flash 启动模式。PC 指针跳转到 Flash 的 0x3FFF6 处,该地址为 Flash 固定的程序入口地址,其首先完成 C 环境和全局变量的初始化,之后便跳转到程序的 main 函数^[12-13]。因此,底层程序需以 0x3FFF6 为入口地址。当无需升级时,底层程序需跳转到应用程序。与底层程序的入口地址类似,应用程序入口地址也应为 Flash 其他扇区的一个固定地址。DSP 在程序开发时通过 CMD(链接命令)文件指示存储空间以及分配段到存储空间,因此,底层程序的 CMD 配置与应用程序的 CMD 配置要相互分配好,以免产生地址冲突。

3.4 代码格式转换

CCS 对用户程序进行编译、链接后生成通用目标格式(COFF)的文件。这种格式的目标文件有严格规范的组织形式,除了程序代码,其还包含头文件、符号表及段地址等其他信息,与 Flash 实际的存储内容不匹配,无法直接写入 Flash,因此需要将其转换成 Flash 能识别的数据格式——二进制文件(.bin)^[14-15],再通过串口进行程序烧写。一般操作步骤是通过 CCS 将应用程序编译连接生成 .out 文件,然后通过批处理文件选择存储应用程序的 Flash 块地址,并配合 TI 公司提供的 hex2000.exe 软件及 FileIOshell.exe 软件,可将 .out 文件转换成 .bin 文件。至此,.bin 文件中只包含应用程序的相关代码,且可以直接写到 Flash 中。

4 升级机制完善

通过上述步骤,已可实现在线升级基本功能,但在工程实际应用中,考虑到操作便利性以及可靠性,可以在以下几点再加以完善。

4.1 升级时机优化

在线升级通常是 DSP 上电复位后,等待固定时间查询升级指令,若错过这段时间接收到升级指令,由于 PC 程序指针已指向应用程序,此时已无法再进行升级操作。该方式对上位机发出升级指令时间的要求较高,在某些应用场

合下,可能无法满足该要求。因此本文提出了一种改进的接收升级指令方式,在应用程序中,接收到升级指令后,DSP 复位,重新执行底层程序,并直接跳转至底层程序升级部分。大部分 DSP 应用程序都设有看门狗功能,以防止程序跑飞等异常情况,此时程序还需针对收到升级指令的复位和程序跑飞的复位加以区别。程序跑飞的复位,应该由底层程序立即跳转到应用程序,以满足应用程序的实时性要求。图 1 所示为底层程序跳转流程关系。

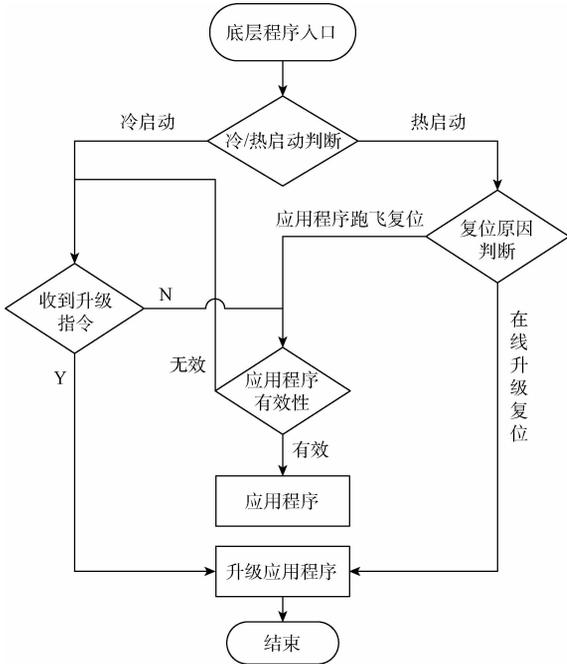


图 1 底层程序跳转流程

同时,再由底层程序跳转到应用程序前,应对欲跳转的应用程序是否有效做判别,每次升级成功后,可在 Flash 其他扇区写入状态字节,通过查询状态字节判断当前扇区的应用程序是否有效。以防止底层程序跳转到无效的应用程序中,失去对 DSP 的控制。

4.2 烧写防出错设计

由于 FLASH_API 函数库中提供的 Erase 函数擦除时,是将 Flash 按扇区擦除。一般做法都是收到升级指令后,即将 Flash 中存放应用程序的扇区擦除。如果擦除完成后,接收程序文件出错,则此次升级失败。虽然可以通过多次上电,重复进行升级操作,但如果一直无法成功,则此系统则缺失应用程序功能。在线升级大多是针对应用程序的略微改进,而功能缺失则属于致命的功能故障。因此,本文提出了一种改进的升级方式。

如图 2 所示,当收到升级指令时,首先接收应用程序文件,烧写至 Flash 其他扇区作为备份,待确认该区文件接收完整且正确后,再将存放应用程序的扇区擦除,并将在备份区缓存的程序拷贝到该区中。升级完成后,向上位机返回升级完成指令。至此,在线升级全部完成。

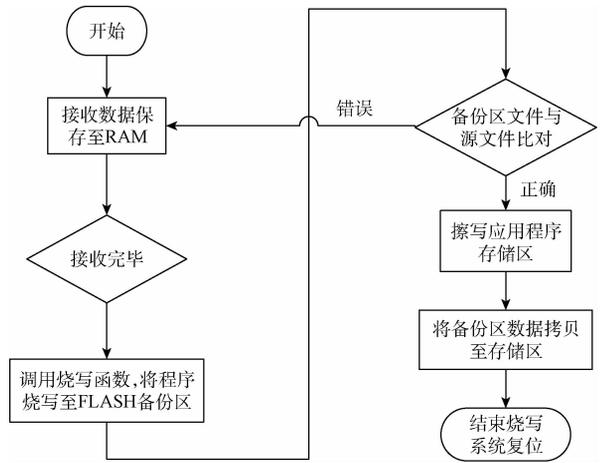


图 2 软件烧写防出错功能

5 实验验证

以嵌入式 DSP28335 最小系统为测试平台,F28335 与 PC 端通过 RS422 总线通信。利用自编的上位机在线升级软件,如图 3 所示,设置好串口后,加载已转换为 bin 文件格式的应用程序代码。DSP 上电后,点击升级,系统即进入升级模式,上位机软件实时显示当前升级步骤及状态。



图 3 在线升级上位机软件

本实验中,待烧写的应用程序为控制 GPIO 口输出 PWM 脉冲波形,其占空比为 0.5。当应用程序在线烧写结束后,重新上电,通过示波器观察 GPIO 口输出波形,如图 4 与预期一致。

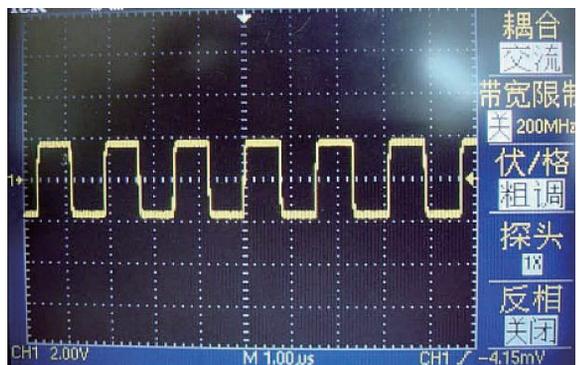


图 4 升级后 GPIO 口引脚输出波形

6 结 论

本文系统地介绍了通过串口实现 F28335 在线升级的步骤和方法,并从工程的实际需要出发,着重考虑了在实际应用中接收升级指令,以及烧写出错等异常情况处理,增强了在线升级的可靠性和稳定性。在 F28335 的最小系统进行了测试验证,结果表明该方案正确可行、便于操作,对其他嵌入式系统在线升级也具有很好的借鉴意义。本文提及的 3 种 Flash 烧写技术各有优缺点,在工程上均有实际运用。基于 JTAG 的两种烧写方式,适用于开发调试阶段;而串口烧写 Flash 技术可以在不打开机箱的条件下实现软件的更新升级,特别适合于封闭和复杂环境下进行程序加载,具有较好的实用价值。

参考文献

- [1] 黄绳雄,张荣芬. 嵌入式设备远程在线升级技术的研究[J]. 电子设计工程,2012,20(9): 172-174,177.
- [2] 王聪. 基于 F281xDSP 的嵌入式系统远程升级技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2009.
- [3] 赵炯,贾培源,李中山,等. 嵌入式设备远程在线升级技术[J]. 计算机工程,2010,36(12): 262-264.
- [4] 陶维青,任谦. 通过串口通讯实现 TMS320F2812 的软件更新[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2008,31(4): 569-572.
- [5] 孙轶,许少尉. TMS320F2812 芯片的 FLASH 烧写技术[J]. 航空计算技术,2006,36(5):46-49.
- [6] 罗秋风,叶慧,李勇,等. DSP28335 嵌入式系统的 SCI 在线编程方法实现[J]. 河北科技大学学报,2013,34(4):318-324.

- [7] 邓舜耕,李宏民,杨宣兵,等. 基于 DSP 的高速感应无线位置检测系统[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(6):880-886.
- [8] 伦涛,庞丽娟,袁野. 一种 TMS320F2812 片内 FLASH 串行加载方法[J]. 国外电子测量技术,2014,33(6):57-60.
- [9] 刘陵顺,高艳丽,张树团,等. TMS320F28335 DSP 原理及开发编程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- [10] 杨志兴. 基于 ARM 与 WinCE 的微波变频器嵌入式系统设计[J]. 仪器仪表学报,2015,36(S): 194-198.
- [11] 雷卫延,敖振浪,周钦强. 基于 STM32 的在应用编程(IAP)开发[J]. 电子测量技术,2015,38(5): 62-66.
- [12] 张谦,李世杰,李红波,等. TMS320C6000 系列 DSP 可选择引导加载方式的设计与实现[J]. 电子测量技术,2009,32(7):81-84.
- [13] 高源,罗秋风. 基于 DSP28335 程序移植方法的研究与实现[J]. 电子测量技术,2013,36(3):84-88.
- [14] 万勇利,韩纪晓,赵为志,等. DSP 用户程序二次引导加载设计[J]. 自动化技术与应用,2016,35(8): 47-51.
- [15] 汪晶晶,苏建徽,孙佩石. 基于串口通信的 DSP 应用程序在线升级方法[J]. 微型机与应用,2013,32(14): 15-17,24.

作者简介

刘浩,硕士研究生,主要研究方向为 MEMS 惯性组合导航系统、嵌入式系统。

E-mail: lh@nuaa.edu.cn

(上接第 172 页)

- [7] 孙琼. 消费者旅游感知的数理分析及区域差异性实证研究—基于基准回归和分类回归分析[J]. 经济问题,2016(11):112.
- [8] 丁硕,常晓恒,巫庆辉. 基于 Elman 神经网络的传感器故障诊断研究[J]. 国外电子测量技术,2014,33(4):72-75.
- [9] 吴石,李荣义,刘献礼. 基于自适应采样的曲面加工误差在机测量方法[J]. 仪器仪表学报,2016,37(1):83-90.
- [10] 彭松涛. 流程工业中的数据挖掘建模与应用[J]. 自动化博览,2007,24(4):64-67.
- [11] 周国辉,杨小健,陆新建. 一种新的稳态监测算法及其应用研究[J]. 微计算机信息,2007(25): 302-308.
- [12] 肖汉光,蔡从中. 特征向量的归一化比较性研究

[J]. 计算机工程与应用,2009,45(22):117.

- [13] 郭超,陆新建. 工业过程数据中缺失值处理方法的研究[J]. 计算机工程与设计,2010(6):1351-1354.
- [14] 韩璞,张德利,韩晓娟,等. 基于主成分分析法与贝叶斯网络的汽轮机故障诊断方法[J]. 热能动力工程,2008(3):244-247.
- [15] 李增芳,何勇,宋海燕. 基于主成分分析和集成神经网络的发动机故障诊断模型研究[J]. 农业工程学报,2006,22(4):131-134.

作者简介

苗永梅,1971 年出生,讲师,研究方向为数据图像处理,主要从事多媒体教学工作。

E-mail:qaws1234@126.com