

基于 Cortex - M3 的电磁调速采煤机软件升级研究

何明星¹, 刘策越¹, 王 伟²

(1. 中国矿业大学(北京) 北京 100083; 2. 邯郸职业技术学院 河北 邯郸 056038)

摘 要: 为实现综合自动化工作面的电磁调速采煤机远程升级维护, 完成功能性迭代, 以 Cortex - M3 内核为主控制器的电磁调速采煤机为例, 分析 BOOT Loader 的启动原理, 定制升级程序的存储器分配, 实现用户软件的加载和卸载, 并定义了高效的实时通信协议。在山西吕梁荣泰煤矿自动化工作面电磁调速采煤机中实践应用结果表明, 一次性软件升级成功率达 90% 以上, 通过多次加载完成可靠的软件升级, 可大幅减轻井下机电工人的维护工作量。

关键词: 软件升级; 电磁调速采煤机; 模块加载; 实时通信

中图分类号: TD621

文献标志码: A

文章编号: 0253 - 2336(2013) 04 - 0075 - 04

Study on Software Upgrading of Coal Shearer with Electromagnetic Speed Control Based on Cortex - M3 Core

HE Ming-xing¹, LIU Ce-yue¹, WANG Wei²

(1. China University of Mining and Technology(Beijing) Beijing 100083, China; 2. Handan Polytechnic College Handan 056038, China)

Abstract: In order to realize a remote upgrading maintenance of the coal shearer with the electromagnetic speed control in the fully mechanized coal mining face and to complete the functional iteration taking the Cortex - M3 core as the main controller for the coal shearer with the electromagnetic speed control as an example, the start principle of the BOOT Loader was analyzed, the memory allocation of the upgrading program was customized, the loading and unloading of the consumers software could be realized and the high efficient real time communication protocol was defined. The practical application results of the coal shearer with electromagnetic speed control in the fully mechanized coal mining face of Shanxi Lüliang Rongtai Mine showed that the success rate of once software upgrading was over 90% and the software reliable upgrading completed with the multi loadings could highly reduce the maintenance work load of the electromechanical workers in the underground mine.

Key words: software upgrading; coal shearer with electromagnetic speed control; module loading; real-time communication

0 引 言

综合自动化工作面电磁调速采煤机工作时, 工作环境比较恶劣, 对采煤机进行维修保养时, 工作面的照明差, 给工人拆卸设备带来很多不便。由于煤矿安全的特殊要求, 采煤机、液压支架等重要机电设备防护等级较高, 体积庞大, 在维护时需要多人配合, 并需要遵守多项安全操作纪律, 设备维护工作效率较低。经过实地调查发现, 现场的维护工作有 60% 以上是软件的维护工作, 即对采煤机内部的核心 CPU 软件进行升级擦写。软件的升级一般通过专用的程序下载器对 CPU 的固件改写, 而主控制器

均安装在采煤机的机械本体内部, 无法直接接触, 给升级工作造成很大困难。在综合自动化工作面中, 采煤机已经通过以太网或 CAN 总线远程通信连接至巷道或总控制室或地面控制台, 如果能用以太网或 CAN 总线对采煤机远程升级其系统内部软件^[1], 可大幅减轻工人的工作量, 缩短停机维护时间, 提高生产效率。因此, 笔者在采用 Cortex - M3(以下简称 CM3) 内核控制器的电磁调速采煤机中, 可使用应用程序编程即 IAP 技术, 通过微控制器的某种外部控制接口, 如 USART、CAN、IIC、USB、以太网等, 对正在运行中的控制器进行内部程序更新, 以实现采煤机软件远程升级。

收稿日期: 2012 - 10 - 26; 责任编辑: 赵 瑞

作者简介: 何明星(1981—), 男, 河北邯郸人, 讲师, 博士研究生。Tel: 010 - 51733576, E-mail: hmx@accshow.com

引用格式: 何明星, 刘策越, 王 伟. 基于 Cortex - M3 的电磁调速采煤机软件升级研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 75 - 78, 81.

1 采煤机软件升级方案设计

综合自动化工作面与普通工作面的主要区别是采煤工作面的各设备之间实现了电气联动,参数可以相互通信,使设备智能化,实现采煤工作的减人增效。电磁调速牵引采煤机自动化程度很高,基本保护功能有三相负载监测、预警保护、温度检测、预警保护、漏电检测保护、过载检测、截割功率检测、负载动态平衡调节、摇臂倾角检测、机身倾角检测、采煤机工作面位置检测等^[2],除检测功能,还有动态人机交互、数据存储、参数实时显示等功能。由于煤层地下的分布结构走向多变,采煤工作面在垂直和水平方向上随之起伏变化,因此,采煤机的运行参数有可能需要及时调整,系统软件也需进行维护和升级。

在电磁调速采煤机及外围模块中一般采用 STM32F10X 系列的芯片作为主控制器,如在 CAN 总线通信模块中采用 STM32F103C8T6 实现 CAN 节点,继电器输出模块采用 STM32F103RBT6 实现 16 路独立继电器节点输出,24 路光电隔离输入,主控制器采用 STM32F103VET6,实现了以太网通信及 SD 卡数据存储功能。STM32 系列 CPU 是 CM3 内核的 ARM V7 架构的中央处理单元,品种齐全,全系列管脚兼容,高端型号和低端型号只有存储量和外设的区别,软件完全兼容。根据 STM32 的数据手册提供的信息,STM32 可以使用任意通信方式实现程序存储区的擦写,包括串口、USB 等^[3-6]。

实现 STM32 的软件升级有 3 种方案:①采用 JLINK、ULINK 等程序烧写器下载目标文件至 CPU,此种方式成功率高、速度快、性能稳定,但需要在电路板上预留烧写接口,适合软件调试时使用,采煤机工作面环境比较恶劣,不适合采用 PC 机下载;②采用系统默认 IAP 软件,STM32 出厂时在程序存储区内置一个 BOOT Loader,PC 机上的 ISP 软件用串口将二进制文件烧写至控制器^[7],这种升级方式烧写方便,缺点是需要手工机械复位的配合,且下载速度慢,适合空间宽松、升级频率较低的应用,考虑安全防护的需要,采煤机已将机械部分封装严密,预留的外部接口也容易被落煤等损坏;③用户自行 BOOT Loader 升级程序,CM3 支持 4 GB 的统一编址存储空间^[8],它将中断向量表、代码区、内存区、外设区分配至不同地址段,通过地址映射,CM3 向外提供了统一的工作接口,在系统存储区,中断控制器、

MPU 与 CPU 有关的部件被固定了地址,为程序跳转提供了基础,因此,可根据采煤机固件的容量、存储情况以及 CM3 内核的结构和程序存储器分配,制定握手协议,实现系统软件的可靠升级管理^[9],此方案的系统复杂度较高。

综上 3 种方案,方案 1 和方案 2 预留接口的要求在现场很难满足,方案 3 使用方便,稳定性好,适用于采煤机等高可靠高安全性设备,因此,笔者采用第 3 种方式实现采煤机软件升级。

2 采煤机软件启动过程及硬件配置

2.1 电磁调速采煤机软件启动过程

采煤机启动包括电气机械启动和控制电路启动 2 部分,电气机械部分包括左右截割电动机、左右牵引电动机、破碎电动机、调高驱动电动机、采煤机安全保护装置、传感器、喷雾系统等,其中左右牵引电动机通过主从牵引变频器实现采煤机的牵引速度调节,调高驱动电动机驱动调高油缸来调节左右截割滚筒的高度位置;控制部分包括主控电路、通信电路、驱动电路等,加载信息包括各个电动机的转速、电流和温度、截割部行星头温度、采煤机机身位置、采煤机机身倾角、摇臂倾角、调高油缸位移、摇臂振动强度、变频器运行状态参数、电动机绝缘保护、行程限位开关、瓦斯保护、抱闸保护等内容,通过数字量输入接口和模拟量采集接口输入到机载控制器中。本地控制操作可以在机身控制面板、端头控制站和遥控器上完成,不同地点的控制输入经过输入互锁电路处理后进入机载控制器。控制部分复位时间较短,一般为几毫秒至几十毫秒,大功率电动机等部件启动时间较长,因此主控制器在上电复位完成后,要进入上电自检状态,直到所有设备都就绪后,才能控制采煤机正常工作。

基于 CM3 内核的采煤机控制器的软件启动过程如图 1 所示,STM32 的程序存储区首地址为 0X8000000,硬件复位地址偏移 4 个字节,当上电复位或硬件复位时,程序指针跳转至 0X8000004 取出复位向量,转至复位中断服务程序的起始地址 $0X8000004 + n$ 处, n 为升级软件自定义的复位服务程序偏移量,由中断服务程序再跳转到用户 main 函数的地址 $0X8000004 + N$, N 为用户程序的在内置 FLASH 中的偏移量,一般在编写完用户程序后由编译系统分配^[10],用户 main 函数是用户程序的起点,

所有用户功能都要由 main 函数调用完成, main 函数是一个单循环程序, 始终执行, 永不停止。

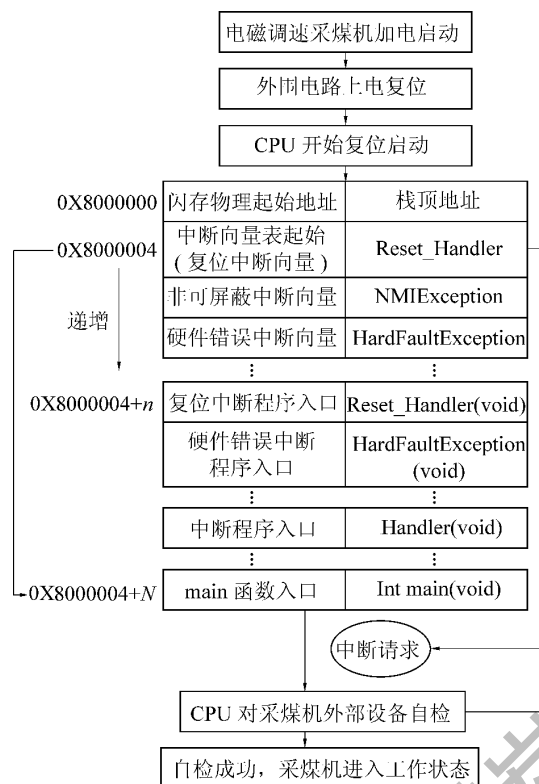


图1 基于 CM3 内核的电磁调速采煤机软件启动示意

如果有外部中断请求, CM3 将程序指针跳转至程序起始区的中断向量表处, 根据不同的中断源转至不同的向量表地址^[11], 从此处进入中断服务函数, 执行用户功能。STM32 在进入中断服务函数之前要执行一系列的现场保护工作, 执行完毕后, 再恢复现场并返回至主函数。

如果要想实现在线对用户程序进行改写, 需要对 STM32 的整个软件运行过程进行调整。在 STM32 的程序存储区内, 会存在 BOOT 的 main 函数和用户的 main 函数。STM32 复位后, 从地址 0X8000004 处取出复位中断向量, 执行中断服务程序跳转至 BOOT 的 main, 此时开始程序的 IAP(应用中编程)过程, 执行完毕后, 在 STM32 已经有新的用户程序及为用户程序分配的新中断向量表。将程序跳转到用户程序的 main 函数, 开始执行用户程序。用户程序的中断仍会跳转至起始地址处的向量表, 而新的用户中断重新分配, 因此还需要一个从系统中断向量转至新用户中断向量的机制。当有用户中断请求时, 中断向量会从新用户程序处取得中断服务地址, 并转至中断服务函数。

BOOT 程序存放至程序代码区的起始处, 作为固定的系统常驻程序, 此部分不再进行擦写。如果控制器内没有用户程序, 则 BOOT 程序会始终等待更新指令。BOOT 程序经烧写器下载至控制器内, BOOT 占用固定代码段 0X8000000—0X8002000。用户程序代码可通过 BOOT 下载至控制器内, 也可由烧写器直接写入控制器内^[12], 但在下载时一定要由启动文件指明代码下载偏移 8 KB。

2.2 电磁调速采煤机硬件配置

稳定的硬件基础才能保证软件可靠的运行, 电磁调速采煤机系统结构电路如图 2 所示, 系统由 CPU 辅助电路及采煤机外围电路构成。电源部分由交流开关电源及直流稳压器构成。开关电源将 AC110 ~ 270 V 的交流电压转为直流 12 V, 供电电流 200 mA, 再经 AS1117 - 5V 和 AS1117 - 3.3V 两级降压将电压降至 STM32 的工作电压, 开关电源和稳压电源均为隔爆处理。



图2 电磁调速采煤机硬件结构

采煤机复位电路由上电复位和手动复位 2 部分组成。STM32 低电平复位, 复位电路由电阻和电容串联构成, 要使系统可靠复位, 复位信号至少要维持 3 个系统周期。上电复位是冷复位, STM32 内部所有电路均恢复为初始状态。手动复位是将一个按键并联在电容的两端, 当按键按下时, STM32 的复位引脚为低电平即可完成系统复位。时钟电路采用外部 8 MHz 晶振, 经内部锁相环 9 倍倍频后, 系统时钟工作在 72 MHz。

当采煤机受外界电磁干扰造成程序异常时, 需尽快进行复位操作。外部超时复位外部看门狗芯片 MAX813, 超时定时时间为 1.6 s, 在此时间内, 采煤机主控制器必须输出一个脉冲给 MAX813 防止系统复位。MAX813 除有外部看门狗功能外, 还可以实现在上电、掉电和降压下的电平监测复位, 并且内部有一个 1.25 V 门限检测器, 用于低压报警。

STM32F10X 系列的控制器都具有串口 1, 为使软件具有通用性, 将升级通道定为 USART1, 通信波

特率为 115 200 bit/s,无校验,1 位停止位,此串口为采煤机升级专用,也可以用于输出系统参数,用户软件应避免使用此串口,CM3 内核至少具有 2 个以上的串口,占用串口 1 不会对系统造成较大影响。

3 采煤机软件升级实现

3.1 采煤机与巷道监控中心数据传输技术

采煤机用户程序编译完成后由 Keil 编译器输出一个 HEX 文件,这是一种文本式二进制代码文件,使用转换工具将 HEX 文件转换为 BIN 格式文件,将此文件传输到控制器完成升级。常见的串行通信文件传输协议有 XModem、YModem、ZModem 和 KERMIT 等。

采煤机主控制器一般采用中等容量 128 KB 的 CM3 内核芯片,由于传输数据量较大,适合使用 YModem 分块传输^[12]。升级时,在远程的巷道监控中心预留传输接口,传输过程如下:①由巷道监控中心发送 C 标志符开启传输,进入等待 STX 状态,如果没有回应,就会超时退出;②巷道监控中心开始时,等待采煤机发送 C 标志符。收到 C 以后,发送 SOH 标志符,数据包开始信号、序号补码、文件名、文件大小、CRC 校验等共计 128 B,之后进入等待状态;③采煤机接收到数据以后,CRC 校验满足则发送 ACK 应答符。巷道监控中心接收到 ACK,又进入等待文件传输开启信号,即重新进入等待标志符的状态;④巷道监控中心正式开启文件传输,采煤机又发出一个 C 标志符,开始准备接收文件;⑤巷道监控中心接收到 C 以后,发送数据包,发送完毕后,等待采煤机发送 ACK;⑥文件发送完以后,巷道监控中心发出一个 EOT 信号,采煤机也以 ACK 回应,然后采煤机会再次发出 C 开启另一次传输,若巷道监控中心继续发出一个全 0 数据包,接收方应答后,本次升级正式结束,可以运行新用户程序。

3.2 采煤机用户程序加载

采煤机用户程序的加载更新涉及 2 方面问题,一是保护原系统设置参数,二是数据的校验,加载更新流程如图 3 所示。

采煤机复位后运行 BOOT 主程序,一直在检测是否本次启动会进行更新,如果不更新,超时后,直接跳转至用户程序,如果接到升级指令,首先启动 IAP 软件保护对采煤机原系统参数进行上锁,再调用更新用户界面按用户的指示进行升级操作。打开

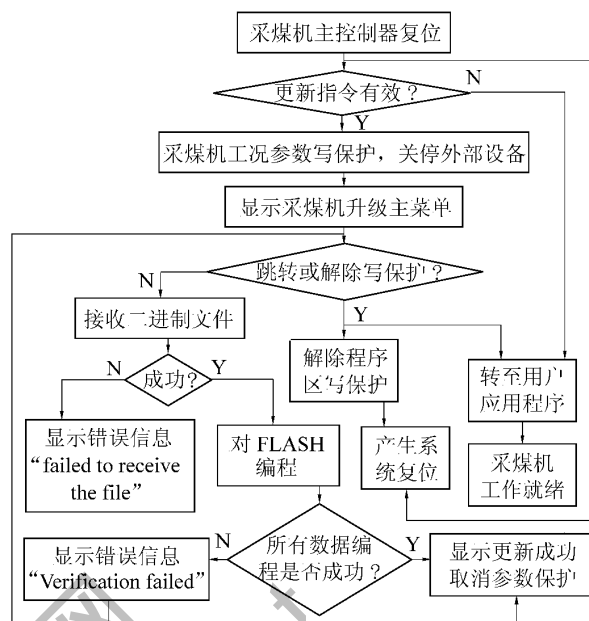


图3 电磁调速采煤机用户程序加载更新流程

超级终端等串口软件,调出 YModem 对话框,浏览至要更新的固件所在文件夹,打开文件开始更新过程。采煤机接到更新指令后即开始准备接收文件,接收文件的同时也将相同内容分别写入 FLASH 和 RAM 中,当本字块传输完毕后,检查 CRC 校验是否正确,如不正确则需重传^[13]。所有内容传输完毕后,再将 FLASH 中的内容读出并与 RAM 中内容比较,如果相同,则更新成功,否则显示更新失败,更新成功后,即使一次升级失败,由于系统的 BOOT 程序常驻于系统,可以通过多次升级的方式保证升级成功。升级时,采煤机的 BOOT 程序不会擦写系统的参数区,采煤机的设置参数得到了保留。

4 结 语

由于 CM3 内核的 ARM 芯片具有中断映射的能力,在采煤机进行 IAP 程序擦写方面实现较为简单,CM3 内核的控制器串口 BOOT 升级方法在山西吕梁荣泰煤矿自动化工作面电磁调速采煤机中实际使用,升级过程稳定高效,一次成功率达 90% 以上,如升级失败可通过多次升级的方式加载,直至成功。

参考文献

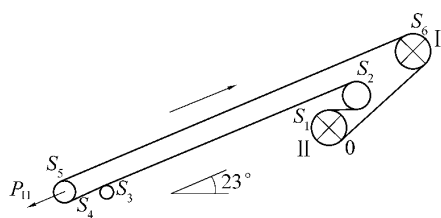
- [1] 刘军,王忠宾,牛可等.电牵引采煤机变频牵引单元全参数监控系统[J].煤炭科学技术,2000,30(11):83-86.
- [2] 郭卫,张迎伟,赵栓峰.基于 uC/OS-II 嵌入式系统的采煤机遥控器设计[J].矿山机械,2010,38(9):11-13.

(下转第 81 页)

2) 在初步设计中,当确定利用垂度条件与逐点张力法列出的张力方程组求解输送带关键点张力时,各点张力确定后应按式(5)或式(7)分别计算 C_1 、 C_2 并校核是否满足 $C_1 \geq K$ 且 $C_2 \geq K$ 。如不满足,应按步骤 1) 利用摩擦条件重新求解各点张力。

4 工程实例

新疆某煤矿主斜井带式输送机布置如图 2 所示,设计原始条件为:设计运量 800 t/h,运距 578 m,输送倾角 23° ,ST1600 输送带带速 3.15 m/s,带宽 1 200 mm, $\alpha_1 = \alpha_2 = 195^\circ$, $\mu = 0.25$,要求 $K \geq 1.2$ 。根据原始资料,应用垂度条件和逐点张力法求得相关张力 $S_1 = 68\ 589.2\text{ N}$, $S_6 = 253\ 836.5\text{ N}$ 。



P_{11} 为拉紧力 N; $S_1 \sim S_6$ 为张力 N

图 2 新疆某煤矿主斜井带式输送机布置示意

1) 当选取 I、II 号驱动滚筒表面牵引力 F_1 、 F_2 之比 $\gamma = 1:1$ 或 $2:2$ 时, C_0 按式(1)计算得 1.66; C_1 按式(5)计算得 2.34; C_2 按式(7)计算得 0.99。显而易见,尽管 C_0 、 C_1 均满足摩擦条件,但 C_2 却不满足要求,且 II 号驱动滚筒无摩擦力备用能力,这必将导致带式输送机无法正常运行。

2) 当选取 $\gamma = 2:1$ 时, $C_0 = 1.66$; $C_1 = 1.42$; $C_2 = 1.49$ (计算同上)。显然, C_0 、 C_1 、 C_2 均满足摩擦条件,且在同等条件下, $\gamma = 2:1$ 比 $\gamma = 1:1$ 或 $2:2$ 时摩擦条件更容易得到满足。

5 结 论

对于采用双滚筒分别驱动方式的带式输送机,在初步设计中,只计算或校核 2 个驱动滚筒总摩擦力备用系数 C_0 的设计方法存在一定问题,而应改为分别考虑两驱动滚筒的摩擦力备用系数 C_1 和 C_2 ,使其都满足要求,两驱动滚筒牵引力配比按 $2:1$ 分配比按 $1:1$ 或 $2:2$ 分配更加合理、经济、可靠。

参考文献:

[1] 于 岩,李维坚. 运输机械设计[M]. 徐州:中国矿业大学出

版社,1998:18.

- [2] 李炳文,王启广. 矿山机械[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007:182.
- [3] 张尊敬,汪 苏. DT II(A) 型带式输送机选型手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2003:24-53.
- [4] 孙可文. 带式输送机传动理论与设计计算[M]. 北京:煤炭工业出版社,1991:106-111.
- [5] 程居山,王昌田,李新平,等. 矿山机械[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1997:200-202.
- [6] 陈维健,齐秀丽,肖林京,等. 矿山运输与提升设备[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007:89-95.
- [7] 史国军,董为民. 多滚筒驱动带式输送机的驱动参数计算[J]. 矿山机械,2008,36(3):53-55.
- [8] 赵永秀,李 忠,赵峻岭. 煤矿双滚筒驱动带式输送机的电动机功率平衡[J]. 西安科技大学学报,2010,30(6):738-742.
- [9] 刘铁军. 大型带式输送机功率配比与带强关系[J]. 有色冶金设计与研究,2011,32(1):30-32.
- [10] 庄 严. 双滚筒驱动带式输送机牵引力分配研究[J]. 煤矿机械,2009,30(5):72-74.
- [11] 于远华. 防止带式输送机下运飞车技术改造[J]. 煤炭科学技术,2011,39(10):83-89.
- [12] 王 昕,丁恩杰,戴 吉. 基于 WSN 的井下皮带机打滑保护监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2009(2):89-91.
- [13] 夏书贵,王 涛. 矿用下运带式输送机防滑制动器的改造与应用[J]. 煤炭科学技术,2010,38(7):78-79.

(上接第 78 页)

- [3] 刘 军. 例说 STM32[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011:66-68.
- [4] 意法半导体(中国)投资公司. STM32 中文参考手册[K]. 上海:意法半导体(中国)投资公司,2010.
- [5] 王永虹. STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [6] 马忠梅. ARM Cortex 微控制器教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [7] 马 林. 文件系统原理精解与数据恢复最佳实践[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [8] 谈发明,黄金林. 基于以太网的嵌入式系统软件升级技术[J]. 广东通信技术,2010(7):66-69.
- [9] 栗 欣,周东辉,孙晓苗,等. 单片机程序远程升级的设计[J]. 微计算机信息,2006,32(11):75-77.
- [10] 罗 文,王莉娜,肖 鲲. 基于 GPRS 的嵌入式系统远程监控和升级[J]. 电子技术应用,2010(5):159-162.
- [11] 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(9):172-174.
- [12] 姜晓梅,李祥和,任朝荣,等. 基于 ARM 的 IAP 在线及远程升级技术[J]. 计算机应用,2008(2):519-521.
- [13] 同晓荣. GPRS 的智能仪表的程序模块升级[J]. 单片机与嵌入式应用,2012(5):70-72.