

基于 485 总线的 STM32 远程固件更新与实现

陈峰, 刘鹏飞, 徐明阳, 伍能, 邢宇鹏, 谢征

(中国电子科技集团公司第三十四研究所, 广西 桂林 541004)

摘要: 随着 STM32 控制器的应用越来越广泛, 对控制器的远程固件更新功能需求愈发强烈; 利用在应用中编程 (IAP) 技术原理, 以 STM32F103 控制器为例, 设计了基于 485 总线的控制器固件在线更新的技术方案, 编写了远程固件更新上位机控制软件, 采用自定义串口传输通信协议提高固件数据传输过程中的有效性, 实现了 485 总线上 STM32 控制器的远程固件更新功能; 实践结果表明, 该方案实现的远程固件更新, 避免了拆装设备或设置跳线等步骤, 节省了时间、人力成本, 固件更新过程方便快捷、易于操控、可靠性高, 可广泛应用于具备应用中编程的 STM32 控制器系统中。

关键词: STM32; 应用中编程; 固件更新; 485 总线

Update and Implementation for Remote Firmware of STM32 Based on 485 Bus

CHEN Feng, LIU Pengfei, XU Mingyang, WU Neng, XING Yupeng, XIE Zheng

(No. 34 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Guilin 541004, China)

Abstract: With the wide application of STM32 Controller, the requirement for remote firmware update of the controller is increasingly essential. By using the principle of in-application programming (IAP), STM32f103 is taken as an example, a online update technical scheme of controller firmware based on 485 bus is designed. A remote firmware upper computer control software is developed. The self-define serial communication protocol is adopted to improve the effectiveness of firmware data transmission. The update function of remote firmware controller of STM32 on 485 bus is realized. The practical results of the scheme realize the remote firmware update, avoids the assemble of devices or setting jumpers, and saves time and manpower cost. The firmware update process is convenient and quick, which is easy to operate and improve the reliability. The model can be widely used in STM32 controller of in-application programming system.

Keywords: STM32; in-application programming; firmware update; 485 bus

0 引言

STM32 系列微控制器具备性能高、成本低、功耗低、兼备实时功能和数字信号处理等特点, 使其成为嵌入式应用设计的首要选择, 以高集成度和开发简单著称的 ARM Cortex-M0、M3、M4 以及 M7 内核的控制器, 已在消费电子、网络应用、工业控制和安全产品等场景中被广泛应用^[1-5]。STM32F103 系列是 ST 公司发布的基于 ARM Cortex-M3 32 位内核的微控制器芯片。其中 STM32F103RCT6 是增强型微控制器, 高达 72 MHz 的工作主频, 是同类产品中性能高好的产品, 片内 Flash 和 RAM 的容量分别为 256 k 和 48 k, 具有 64 个 IO 端口以及集成 SPI、UART、ADC 和 TIMER 等模块, 同时具备十分丰富实用的外设^[1-3], 可满足一般工业设计和生产对微控制器经济性和实用性需求, 使其成为微控制器中的理想器件。

RS-485 总线是一种串行总线推荐性标准 (RS, recommended standard), 采用平衡驱动器与差分接收器的方式进行信号传输^[5]。由于 RS-485 总线具有布线简单、传输距离远、支持节点多 (32 个)、传输线成本低以及抑制共模干扰能力强的特性, 使得 RS-485 成为工业应用中数据传输的首

选标准, 被广泛应用在汽车电子、电信设备局域网、航空电子、智能控制、环境监测等领域中^[16-21]。然而当 RS-485 总线节点上的 STM32 设备需要进行软件升级或软件维护时, 将设备一一拆装, 逐一采用编程器进行嵌入式软件更新, 将会十分耗费人力、物力和时间。更为致命的是, 有些设备一旦集成完毕后, 甚至不允许拆卸, 就算将每台设备的下载口都连接到设备外壳上, 由于使用环境因素的制约, 有时候人工已经无法触及到设备, 这将给设备的升级维护带来极大的困难与挑战。为了解决 RS-485 总线上设备固件更新困难的问题, 本文提出基于 RS-485 总线, 采用应用内编程 IAP (in-application programming) 的方式^[6-12]对设备进行远程固件更新的方法, 为 STM32 控制器在线升级提供一个方便快捷、稳定可靠的解决方案。

1 系统构成

RS-485 串行总线允许一对双绞线上一个发送器驱动多个负载设备, 由于发送和接收共用同一组物理信道, 在任何时刻只允许一台设备处于发送状态, 其它设备必须在总线上信号已经发送完成后才能进行应答。在本系统中, PC 端为主设备, 即主机, 经 USB 转 RS-485 模块后连接到 485

收稿日期: 2022-04-21; 修回日期: 2022-05-20。

作者简介: 陈峰 (1983-), 男, 广西梧州人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事数字和模拟电子电路, 高稳定低噪声泵浦驱动电路研制、宽带光纤放大器、同步发生器等方向的研究。

引用格式: 陈峰, 刘鹏飞, 徐明阳, 等. 基于 485 总线的 STM32 远程固件更新与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(11): 147-152.

总线上。其余设备为从设备，从设备出厂时自带有系统内部唯一的设备流水号，根据系统容量，流水号分别固化为 1 到 N 。主设备需要与从设备进行通信时，所有的从设备都接收到主设备发送的数据信息，由于通信协议上携带设备流水号信息，只有流水号正确的设备才能进行响应。基于 485 总线的系统构成如图 1 所示。

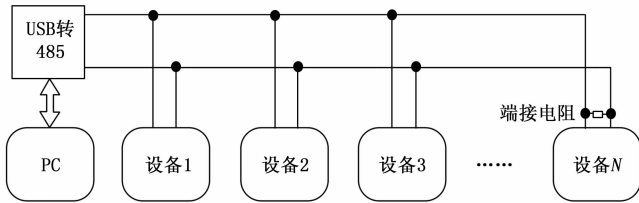


图 1 系统构成示意图

在基于 RS-485 总线的系统中，传输路径上如果存在不连续阻抗或者出现阻抗不匹配的现象，极易引起信号传输过程中的电磁反射，反射的电磁场与原磁场叠加，将使传输信号出现畸变，极易导致通信过程出现误码。因此，需要在总线远端线路上增加端接电阻，通常端接电阻的阻值为 $120\ \Omega$ ，利用端接电阻来吸收噪声并减少电磁反射，可以大幅度提高 RS-485 通信的可靠性^[5]。

由于 RS-485 为半双工通信方式，采用主-从结构方式进行通信时，总线通信受主机控制，从设备不能主动发送命令或数据，所有的通信都应由主机发起，各从设备之间也不能相互进行通信。这种通信方式限制了不能对系统中的设备进行统一集中升级。因此，在对系统中设备进行固件在线升级时，只能逐一对设备进行升级，且在升级过程中不能对其它设备进行操作，否则有可能会引起 RS-485 总线竞争，导致远程固件更新不成功。

2 STM32 远程固件更新方案

2.1 STM32 固件更新方式

通常对 STM32 进行固件更新的方式有以下 3 种。

1) 在电路内编程 ICP (in-circuit programming): ICP 是 STM32 电路调试时最为常用的，一般有两种调试方式，分别是 JTAG 仿真调试和串行单线调试 SWD。标准的 JTAG 协议接口需要 4 根信号线 (TDO、TDI、TCK、TMS) 和硬件复位 RST 信号，JTAG 主要用于芯片内部测试；而 SWD 需要 2 根信号线，分别为 SWCLK 和 SWDIO。由于 SWD 方式具备调试速度快、占用 IO 口少的特点，因此，在电路板调试时，通常利用 MDK 等编译工具以及 STM32 ST-LINK Utility 下载助手等工具，便可实现通过 SWD 协议接口下载器更新固件。

2) 在系统内编程 ISP (in-system programming): 使用 ISP 方式更新固件不需要下载器，是使用 STM32 系统存储器中自带的自举引导程序 (bootloader) 进行烧录，可以通过 STM32 控微制器的接口，例如 USB/UART/SPI/I2C/RS-485/CAN 等，利用微控制器接口接收数据并将其内部的 APROM、数据闪存 (DataFlash) 和用户配置 (Config)

区域进行更新。无论是电路板上的空白控制器还是已经编程过的微控制器，都可以通过系统内编程的方式达到固件更新的目的。

3) 在应用内编程 IAP (in-application programming): 通过通信接口实现在线固件更新，它不需要使用任何工具，仅是通过软件的方法来更新 FLASH 中的数据，即利用用户编写的引导程序在运行过程中对 User Flash 的部分区域进行在线电擦除和再编程^[9]。因此，IAP 需要在程序设计时编写两个项目工程，第一个项目程序作为更新引导程序，执行对第二部分真正用户代码的更新或超时跳转至用户程序，以实现器件固件更新功能以及用户程序的正常启动^[7-16]。

使用 ICP 升级固件时，需要将常用的下载工具，比如 JLINK、ULINK、CMSIS-DAP、STLINK 等通过下载线缆连接到目标器件的下载接口上，该方法是硬件调试阶段较为合理的器件固件更新方法。当硬件调试结束封装成模块或设备后，后期如果需要再次更新固件时，就必须对设备进行拆装或者将每一个设备的下载口引到设备机壳外部，这样都不利于总线上设备的高效升级。ISP 的优势是不需要编程器就可以实现 STM32 的设计和开发，该技术通过器件出厂时自带的升级引导程序，原则上支持远程固件更新，但是在升级时需要对器件启动模式进行选择，不可避免地引入对硬件的物理连接操作。一般 ISP 的步骤为：电脑通过 USB 转 232 线连接控制器的 USART1，打开下载软件，设置跳线或使用按键，使控制器的 BOOT0 为高电平，BOOT1 为低电平，从而复位控制器使其进入 bootloader 模式，通过下载软件更新程序，程序更新完毕后，再将 BOOT0 设置为低电平，确保器件重启后从内部 FLASH 启动程序。ISP 模式的引导程序是器件出厂时自带的，使用固定的硬件接口，用户无法对其进行修改和重定义，这也在一定程度上限制了 ISP 方式的大量应用。而 IAP 远程固件更新则完全不需要对器件进行任何额外的硬件连接操作，IAP 技术从结构上将 Flash 存储区划分成两个相互独立的存储区域，一个区域用来存放升级引导程序 Bootloader，另外一个区域用来存放用户应用程序。IAP 升级引导程序是由用户编写的，可根据实际使用需求选择不同的硬件外设以及自定义数据传输协议，相对 ISP 的方式，IAP 方式在升级时，显得更加灵活方便。IAP 的一般实现过程为：设备上电后首先进入引导程序，引导程序在确认无固件更新需求后跳转到用户应用程序。当需要对总线上的某一台设备进行固件更新时，可向该设备发送软件重启命令，使其再次进入升级引导程序，接收来自主机的待升级固件数据，并写入控制器指定的 Flash 区域，待所有数据接收完毕并编程成功后跳转到新程序入口地址，执行新写入的程序，达到远程固件更新的目的。

2.2 IAP 远程固件更新方案

2.2.1 IAP 实现技术原理

IAP 的实现技术原理如图 2 所示，其 IAP 实现过程如下。

1) STM32 微控制器在复位后，首先从基地址 $0x0800$

0000 开始启动, 然后从内部闪存地址 0x0800 0004 取出复位中断向量的地址, 并跳转到 IAP 复位中断服务程序^[2-4], 在运行完复位中断服务程序之后跳转到 IAP 中 main (void) 函数。IAP 的 main (void) 函数的主要功能是启用时钟、初始化串口以及解除存储区域的写保护等, 当需要升级固件时按协议规范接收固件数据并写到相应的 FLASH 区域; 当不需要升级时跳转至 0x0800 0004+N+M 处执行真正的用户 APP (User-application) 程序;

2) IAP 代码执行结束之后, 即新的用户 APP 代码已成功写入 STM32 的 FLASH 中, 此时, 用户程序的复位中断向量表起始地址变为 0x0800 0004+N+M, 取出新程序的复位中断向量表的地址, 并跳转执行新程序的复位中断服务程序, 随后跳转至用户 APP 的 main (void) 函数^[2-4];

3) 在用户 APP 的 main (void) 函数执行过程中, 如果微控制器得到一个新的中断请求, PC 指针仍强制跳转到地 0x0800 0004 中断向量表处, 而不是用户程序的 0x0800 0004+N+M 中断向量表处^[2-4];

4) 执行完步骤 1) 后, 程序再根据设置的中断向量表偏移量, 跳转到对应中断源新的中断服务程序中, 在执行完新的中断服务程序后, 程序返回用户程序 main (void) 函数继续运行程序^[2-4]。

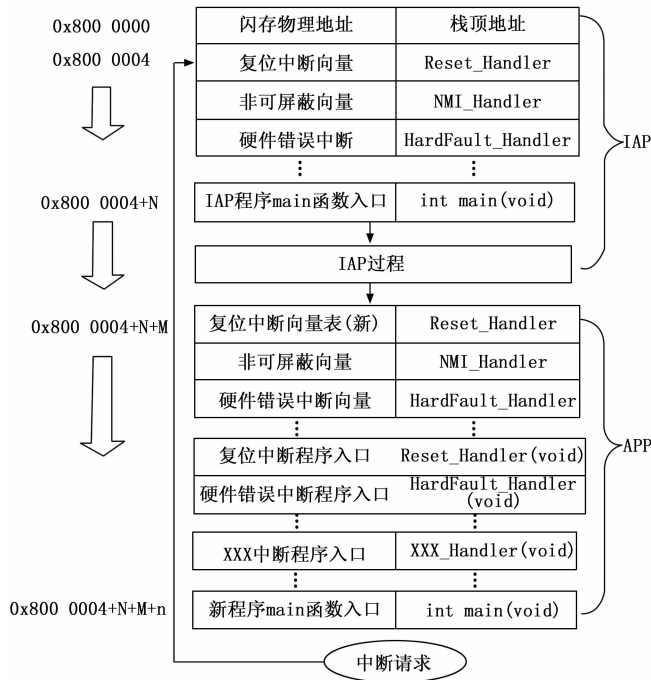


图 2 IAP 实现技术原理图

2.2.2 Flash 空间分配

将 STM32 启动模式配置为用户 Flash 启动, 控制器 Flash 区域划分如图 3 所示。根据 IAP 和用户程序占用空间大小, 将 IAP 升级引导程序存放于 0x0800 0000 起始的 12 kB 地址空间中, 当系统上电后, 先从 0x0800 0000 进入 IAP 升级引导程序, 等待升级固件确认信号, 在规定时间内设备接收到升级信号, 则进入升级处理程序, 否则将程

序跳转至用户应用程序。升级引导程序 and 用户程序 Flash 空间分配具体设置如下。

1) 引导程序空间设置: 在 MDK 编译器的 Target options-Target 标签下的 IROM1 的起始地址设置为 0x0800 0000, 空间大小配置为 0x2FFF;

2) 用户程序空间设置: 在 MDK 编译器中将 IROM1 的起始地址设置为 0x08003000, 并将剩余空间分配为用户程序区, 最重要的是在用户程序 main () 函数中添加中断向量表地址偏移量: NVIC_SetVectorTable (NVIC_VectTab_FLASH, 0x3000), 或者在 system_stm32f10x.c 文件下重新定义中断向量表偏移量: #define VECT_TAB_OFFSET 0x3000, 以确保用户程序部分从 0x8003000 开始启动, 不会与 IAP 程序空间造成冲突。

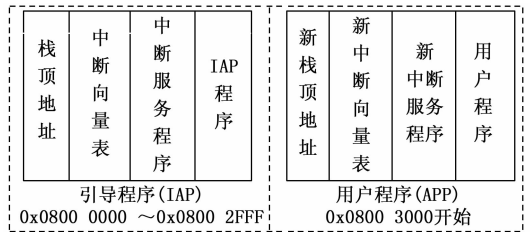


图 3 Flash 区域划分示意图

2.2.3 数据传输协议设计

在数据传输时使用自定义通信协议, 以提高固件更新过程中的抗误码性能。传输协议见表 1 和表 2。其中, 上位机到设备端通信协议中, 第 1、2 字节为帧头, 第 3、4 字节为待传输数据包总长度, 第 5、6 字节为当前传输帧序号, 第 7 字节为设备流水号, 第 8 字节为命令字, 用命令字定义所需要执行的具体操作, 第 9 到 N 字节为所携带的数据, 传输升级固件数据时, 数据段固定长度为 256 字节, 其它类型数据长度根据实际需求确定, 以避免不必要的开销。然后是校验位, 采用和校验的方式, 将第 3 到 N 字节数据进行和校验, 最后两个字节为帧尾。设备到上位机通信协议与上位机到设备通信协议基本一致, 不同之处在于第 9 字节表示命令执行结果标识, 用 0x00 表示命令执行失败, 0xFF 表示命令执行成功。

表 1 上位机到设备通信协议

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
字节	1	2	3~4	5~6	7	8	9~N	N+1	N+2	N+3
备注	帧头 1	帧头 2	数据包	帧序	流水	命令	数据	校验	帧尾 1	帧尾 2
	0x5A	0x5A	长度	号	号	字		位	0xA5	0xA5

表 2 设备到上位机通信协议

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
字节	1	2	3~4	5~6	7	8	9	10	11	12
备注	帧头 1	帧头 2	数据包	帧序	流水	命令	执行	校验	帧尾 1	帧尾 2
	0x5A	0x5A	长度	号	号	字	标识	位	0xA5	0xA5

固件更新时主机向待升级设备发送一帧数据, 等待设

备返回信息或返回信息超时。设备根据帧头、帧尾以及校验位判断当前帧是否接收成功，并将执行结果上报主机。如果当前帧接收正确，主机将发送下一帧数据，否则将当前数据帧重新发送，当同一数据帧发送次数大于 5 时，终止发送，此时判断设备或通信出现故障。当固件更新过程中出现异常情况时，用户程序区域有可能已遭受破坏，此时将无法启动用户程序。但是，由于升级过程中不会对引导程序部分区域进行操作，因此可通过断电重启设备的形式，对设备再次进行更新升级即可。

2.2.4 上位机软件设计

Visual C++6.0 在可视化编程和数据管理方面功能十分强大，它以类和事件驱动为核心，具有程序框架自动生成、代码编写和界面设计集成交互操作的优点，非常适合于嵌入式软件人员进行上位机软件的编程^[18-22]。因此上位机控制程序采用 VC++6.0 设计，利用 Microsoft 公司提供的简化 Windows 下串行通信编程的 ActiveX 控件，各个控件的触发转换为相应的协议数据处理，实现串口通信功能。通信接口具体配置为：波特率：9 600，校验位：无，数据位：8 位，停止位：1 位。上位机控制软件主要实现的功能包括通信串口号配置、设备流水号设置、确认更新、下载或上传固件、启动用户程序、软件重启、发送文件、执行用户程序以及一些升级过程中的关键辅助信息提示。上位机程序操作界面如图 4 所示，程序界面简洁直观，指引性强，易于操作，即便是对软件、硬件一点都不熟悉的人员，都能通过该界面轻易地实现设备的远程固件更新。



图 4 上位机程序操作界面

2.2.5 生成目标下载固件

MDK 编译器将嵌入式程序代码经编译后一般生成 AXF 格式文件，经配置编译选项后，也可以生成 HEX 和 BIN 格式文件。AXF 文件是编译器默认生成的目标代码文件，它不仅包含了有效代码数据，而且还包含了全部调试信息，通常在 MDK 进行在线调试时使用该文件。一般情况下，AXF 格式文件并不适合用来当作待升级固件文件。而 HEX 和 BIN 文件都是由 AXF 格式文件生成的，属于 AXF 文件的简化版本，HEX 格式文件的数据内容如图 5 (a) 所示。HEX 文件使用十六进制符号表示的数据记录，其数据具

体定义见表 3。以图 5 (a) 第二行为例，表明该行数据长度为 0x10 字节 (N=0x10)，地址偏移量为 0x3000，数据类型为 0x00，表示该数据为普通数据，从 0xD0 到 0x08 的 16 个字节为数据内容，即需要写到 0x8003000 起始地址的具体数据值，最后一个字节是校验和，用来检验数据的准确性。

表 3 HEX 文件数据定义

序号	1	2	3	4	5	6
备注	冒号	数据长度 1 字节	数据地址 2 字节	数据类型 1 字节	数据 N 字节	校验和 1 字节

数据类型具体定义为:0x00:数据记录;0x01:文件结束记录;0x02:扩展段地址记录;0x04:扩展性地址记录。

由于 HEX 格式文件在数据上增加了额外的开销，数据量较多、文件所占空间通常较大，而 BIN 文件是最小可运行的文件，其包含了最直接的代码映像，BIN 格式文件数据内容如图 5 (b) 所示。从第一行可以看出，其第一个数据字节是 0xD0，第十六个字节为 0x08，刚好与 HEX 文件中第二行的数据部分完全一致。因此，固件程序文件选择 BIN 文件，以尽量减少升级过程中传输的数据量，提高升级效率。由 AXF 到 BIN 文件转换需要在 MDK 编译器上添加类似如下命令：fromelf -- bin - o " . \ bin _ file \ @ L. bin " " #L"。值得注意的是，固件选用 BIN 格式文件时，由于 BIN 格式文件不携带地址信息，烧写数据时，必须从设置好的地址偏移量开始烧录，否则将会导致升级后的程序无法正常运行。

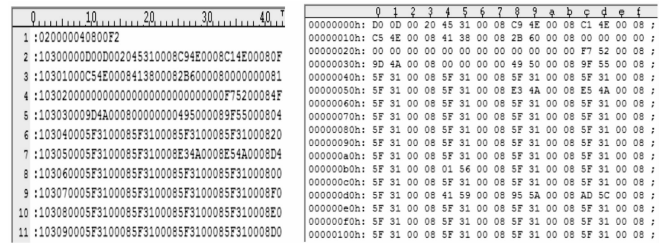


图 5 HEX 和 BIN 格式文件构成

2.2.6 固件更新详细流程

STM32 远程固件更新详细流程如图 6 所示。在点对点通信模式下，设备上电后初始化系统，首先进入 IAP 升级引导程序，向主机发送开机提示操作信息并检测串口输入，等待主机发送确认升级固件字符“Y”。如果在 3 秒时间内主机没有返回执行信息或返回的信息不是字符“Y”，则执行超时操作，自动切换到用户程序运行。在规定的时间内一旦接收到确认升级字符，程序跳转到固件更新主菜单，提示下一步操作选项，可选择固件更新、固件上传或切换到用户程序。

若主机回复“1”，选择固件更新，则设备端按照通信协议按帧接收固件数据，对数据进行校验，并将接收成功与否信息返回主机。当某一数据帧接收失败或检验失败时，重传该帧，重传次数不大于 5 次。由于所使用 STM32 的 Flash 每一页的大小为 2 k，因此每校验完 2 k 的数据，便将该数据按

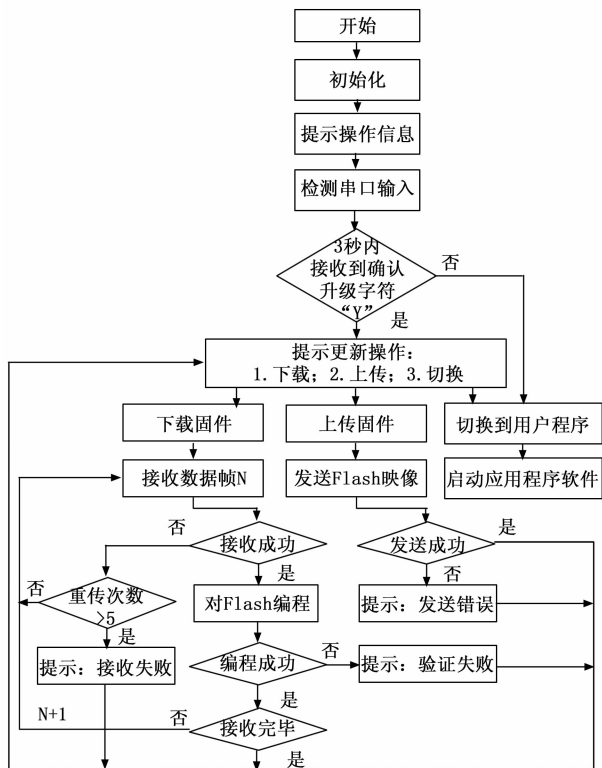


图 6 IAP 固件更新流程图

页写入对应的 Flash 地址空间。当所有的数据接收完毕后从设备回复主机接收成功信息, 否则回复主机接收失败。

若主机回复“2”, 选择固件上传, 则将 0x0800 3000 开始的数据读出, 并按照上位机到设备的通信协议上传数据, 以获取当前设备内部的程序备份。

若主机回复“3”, 选择切换到用户程序, 设备跳转至 0x0800 3000 处执行用户应用程序软件, 系统将正常启动设备。

在 RS-485 总线模式下, 需要对设备进行固件更新时, 首先发送指令使得升级设备软件重启, 然后微控制器强制从复位中断向量 0x0800 0004 处进入 IAP 程序, 提示主机执行下一步操作。由于在通信协议中包含了设备流水号信息, 因此只有被选择固件更新的设备才正常响应主机的命令, 并与主机建立通信连接, 再利用点对点的通信模式实现固件更新。

3 IAP 远程固件更新实现

IAP 远程更新 RS-485 总线上 STM32 设备固件的具体操作步骤和方法如下。

1) 固件更新前准备工作: 从电脑上打开上位机软件, 检查确认当前电脑与设备通信所使用的串口号, 在上位机软件的串口配置中选择正确的串口号, 并打开该串口。此时, 上位机软件将经电脑通过 USB 转 RS-485 总线与设备建立物理通道连接关系, 固件更新准备工作就绪;

2) 选择待升级设备: 当总线上的设备需要升级固件时, 上位机软件首先选择该设备对应的流水号, 例如需要

升级 5 号设备的固件, 将设备流水号“5”写入串口配置里的流水号空白框中, 选择软件重启, 将重启 5 号设备;

3) 5 号设备重启后, 首先进入 IAP 升级引导程序, 设备初始化完成后向上位机发送升级主菜单提示信息, 如图 7 (a) 所示, 为防止误升级, 设备返回升级主菜单中包括了该设备的 SN 码, 流水号等信息, 并提示是否需要对该设备进行升级。在核对设备的流水号信息无误后, 在规定时间内点击“确认更新: Y”按键进行确认升级操作;

4) 设备接收到确认升级的回复后, 将返回下载菜单操作提示信息, 如图 7 (b) 所示。提示本次操作是固件更新、固件上传还是启动用户程序。根据下载提示信息, 此时应选择“1、固件更新”选项, 等待发送固件数据;

5) 在文件选择选项中添加待更新固件 .BIN 文件所在目录, 然后选择发送文件, 上位机将按照已定义的传输协议将固件数据包下发, 并在接收到正确接收回复后发送下一数据包, 控制软件在信息提示框中打印数据包发送及接收的状态信息, 同时通过进度条显示固件更新的实时进度情况。固件更新过程如图 7 (c) 所示。待固件数据全部更新完成后, 设备发送接收成功通知, 并再次返回下载菜单, 此时可以选择“执行用户程序”或断电、软件重启设备, 设备将按照新固件运行用户程序, 至此固件更新完毕。

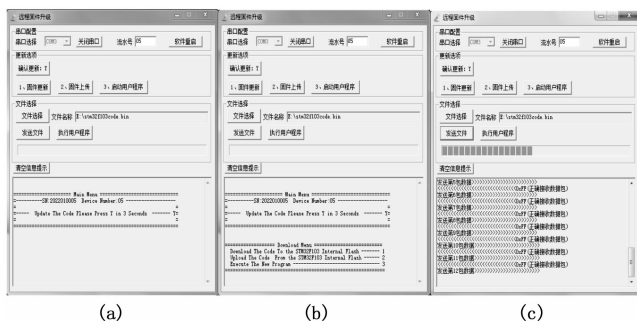


图 7 远程固件更新操作过程示意图

由上述远程固件更新操作流程可知, 通过 IAP 远程固件更新技术, 利用编写的上位机控制软件, 对 RS-485 总线上设备远程升级的过程操作简单、方便快捷, 仅仅需要几个简单的人机交互过程就可以实现在线设备的固件更新, 不但省去了拆装设备、插接线缆等操作所带来的麻烦, 而且提高了设备升级维护的效率。经长期验证考核表明, 使用该远程固件更新方案, 包文传输出错几率极低, 固件升级成功可靠性高, 取得了良好的实用效果。

4 结束语

本文介绍了 RS-485 总线及 STM32 控制器在应用中编程的技术原理和技术特点, 设计了 STM32 控制器固件在线更新的技术方案, 编写了远程固件更新上位机控制软件, 解析了编译器生成的程序文件具体数据形式, 确定了待更新固件的格式, 采用自定义串口传输通信协议, 确保了数据传输过程中的有效性, 实现了 STM32 微控制器的远程固件更新和维护。实践应用表明, 通过 VC++ 编写的上位机

控制软件, 结合自定义串口通信协议实现的 IAP 远程固件更新, 固件更新过程操作简单便捷, 程序运行稳定可靠, 解决了 RS-485 总线上 STM32 设备固件更新困难的问题, 具有极为广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 张岩松, 葛俊锋, 叶林, 等. 基于 STM32 的程序远程升级设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (1): 131-134.
- [2] 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.
- [3] 佟国香, 付礼, 刘欢. 基于 CAN 总线的 STM32 应用编程及实现 [J]. 信息技术, 2015, 10: 49-52.
- [4] 唐小平, 廖美英, 张祥. 基于 STM32 平台的 IAP 设计实现 [J]. 兵工自动化, 2014, 33 (9): 94-96.
- [5] 赵卫. 基于 RS485 总线的存储器网络化技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (10): 206-212.
- [6] 李天旭, 陈广大, 王腾腾等. 基于 STM32 的恒温水浴温度检测与控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (6): 41-48.
- [7] 梁伟. 基于 IAP 的 ARM7 程序在线更新设计 [J]. 电子科技, 2009, 22 (11): 62-68.
- [8] 黄家升. 基于 IAP 的单片机软件远程升级 [J]. 舰船电子对抗, 2007, 30 (3): 95-107.
- [9] 张舞杰, 南亦民. 基于 STM32F103VB 的应用编程技术的实现 [J]. 计算机应用, 2009, 29 (10): 2820-2822.
- [10] 钟磊, 卢文壮, 左敦稳, 等. C8051 单片机的 IAP 系统设计 (上接第 126 页)
- [14] 刘金琨, 沈晓蓉, 赵龙. 系统辨识理论及 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [15] KUKOLJ D D, KUZMANOVI S B, LEVI E. Design of a PID-like compound fuzzy logic controller [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2001, 14 (6): 785-803.
- [16] 张瀚中, 曹江涛, 邵鹏飞, 等. 基于 WSNs 的温室大棚智能灌溉控制系统设计 [J]. 控制工程, 2019, 26 (1): 108-113.
- [17] 杨璐, 雷菊阳. 基于 MATLAB 的参数自整定模糊 PID 控制器的两种设计方法 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 199 (4): 1212-1214, 1229.
- [18] SELESNICK I W, BURRUS C S. Generalized digital Butterworth filter design [J]. IEEE Transactions on signal processing, 1998, 46 (6): 1688-1694.
- [19] 施庆波. 电梯振动特性研究及其乘运质量远程监测系统开发 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [20] 刘源源. 巴特沃斯滤波器及单相锁相环关键问题研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [21] 田立武, 沈晓萍. 嵌入式脉搏波呼吸频率检测系统的设计 [J]. 现代信息科技, 2021, 5 (18): 48-50, 55.
- [22] INSTRUMENTS T. Very Low Noise, 24-Bit Analog-to-Digital Converter [DB/OL]. (2013) [2022-04-08]. <https://www.ti.com.cn/cn/lit/gpn/ADS1256>.
- [23] Stmicroelectronics. STM32F429II Datasheet [DB/OL]. (2016) [2022-04-08]. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/>
- 计与实现 [J]. 微处理机, 2009, 6 (3): 10-12.
- [11] 赵伟, 殷廷瑞. 基于 ARM7 的应用程序在线升级设计 [J]. 电子科技, 2011, 24 (1): 16-20.
- [12] 许文杰, 丁志刚, 张泉. 基于 ARM 处理器的 IAP 设计及应用 [J]. 计算机应用与软件, 2009, 26 (3): 68-70.
- [13] 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, 28 (2): 519-521.
- [14] 黄海宝, 吴学杰, 高艳艳, 等. 基于 STM32F103 局域网远程更新技术的实现 [J]. 工业控制计算机, 2012, 28 (2): 97-98.
- [15] 林国汉, 石自辉. 基于 ARM 和 GPRS 的无线远程 IAP 的研究与实现 [J]. 工业控制计算机, 2009, 22 (5): 46-48.
- [16] 曹明善, 史中生. RS-485 总线及其在 PLC 通信网络中的应用 [J]. 河南机电高等专科学校学报, 2010, 25 (12): 10-35.
- [17] 钱玲玲. “主一从”式装置的 RS-232 和 RS-485 电平转换器设计 [J]. 设计与研发, 2015, 22: 1-15.
- [18] 王娇, 姚竹亭. 基于 VC++6.0 的串口通信的设计 [J]. 测试工具与解决方案, 2009, 11: 47-50.
- [19] 郭庆亮. 利用 RS-485 实现多路温度测量 [J]. 电子产品世界, 2010, 3: 42-44.
- [20] 陈勇, 郭爱平, 秦跃. 基于单片机 RS-485 的通讯设计 [J]. 计算机光盘软件与应用, 2011, 7: 72.
- [21] 孙宇翔, 全厚德. 基于 RS 485 的远程控制系统设计 [J]. 现代电子技术, 2009, 19: 49-52.
- [22] 谢印忠, 张保洲. VC++平台下的虚拟仪器应用研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 237-239.
- [24] ANAND N, JOSEPH G, OOMMEN S S, et al. Design and implementation of a high speed Serial Peripheral Interface [C] //2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), IEEE, 2014: 1-3.
- [25] Stmicroelectronics. IRF740 [DB/OL]. (1998) [2022-04-08]. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22400/STMICROELECTRONICS/IRF740.html>.
- [26] 天华化工机械及自动化研究设计院. 工业用现场分析小屋成套系统 [Z]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2011: 16.
- [27] FERRAILOLO D, KUHN D R, CHANDRAMOULI R. Role-based access control [M]. Artech house, 2003.
- [28] 杨福军, 丁涛, 付眸, 等. 基于 RBAC 的权限复杂性与可靠性控制模型研究 [J]. 计算机应用与软件, 2022, 39 (1): 30-38, 59.
- [29] 陈大明, 曾祥模, 何贵玉, 等. 热电偶电势-温度转换分段线性化方程的建立及其在微机测温中的应用 [J]. 测控技术, 1987 (2): 23-28.
- [30] 赵秀绍. 用 VB 实现曲线的缩放 [J]. 现代计算机 (专业版), 2002 (2): 85-87.
- [31] 李瑞, 陈铁, 刘权卫. 天冠二氧化碳厂通过可口可乐公司资格审核 [J]. 食品与发酵工业, 2009, 35 (8): 132.
- [32] 张苏云. 芦荟企业如何进行可口可乐 SGP 审核 [J]. 中国农村科技, 2012 (5): 78.