

# 基于无线分包传输的气象站固件无感升级方法

黄飞龙, 谭晗凌, 陈冰怀

(广东省气象探测数据中心, 广州 510080)

**摘要:** 针对野外运行的自动气象站具有嵌入式固件升级的实际需求, 设计了一种基于无线公众网传输的自动升级方法; 该方法在中心站软件和采集器之间实现升级文件分包可靠传输, 中心站软件的在线升级控制系统具有自动检查采集器版本和主动升级功能, 断点续传机制保证下载过程具有较高的容错能力, 无感升级策略避免了升级过程对设备作业任务的影响; 测试结果显示该方法实现了设计的目的, 对于野外广泛布设的自动气象站的在线升级具有使用价值; 该方法也可以为其他野外观测设备的自动化在线升级提供参考。

**关键词:** 自动气象站; 无感升级; 无线分包传输; 断点续传

## Non-feelable Upgrade of Automatic Weather Station Based on Wireless Packet Transmission

Huang Feilong, Tan Hanling, Chen Binghui

(Guangdong Meteorological Observation Data Center, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** For automatic weather station operating in the field with actual requirements of embedded firmware upgrade, an automatic upgrade method based on wireless public network transmission is designed. The method realizes the reliable transmission of the upgrade file in the wireless network environment by the online upgrade control system and the embedded firmware interaction program. The breakpoint transmission mechanism ensures that the download process has high fault tolerance. And non-feelable upgrade strategy lets the automatic weather station operate normally throughout the upgrade process. The test results show that the method achieves the purpose of design and has the application value for the online upgrade of automatic weather stations widely deployed in the field. This method can also provide reference for automated online upgrade of other field observation equipments.

**Keywords:** automatic weather station; non-feelable upgrade; wireless packet transmission; breakpoint transmission

### 0 引言

当前地面气象观测业务中使用的自动气象站可以观测多种气象要素, 包括风速、风向、气温、相对湿度、雨量、大气压强、地表温度、浅层地温、深层地温、蒸发量、大气能见度等等。自动气象站多在野外安装并长期运行, 每分钟将观测数据通过无线网络传输至监控中心服务器, 实现区域、全省乃至全国的自动站观测网气象数据的实时观测。随着现代化技术迅速发展, 对气象观测要素的数量提出更多的要求, 同时对数据处理和数据质量控制提出更高的要求。在设备的运行寿命期间内, 已经安装运行的自动气象站必须适应业务和需求的变化, 使本身的数据输出格式、数据统计方法和质控方法与不断更新的观测业务规范和标准要求相一致, 满足现代化发展的需求。在大多数情况下, 自动气象站升级嵌入式固件代码即可满足新标准和新算法提出的要求。

目前, 国内在用的自动气象站有两种类型, 一种是以

单片机为核心的旧型号自动气象站, 这种气象站功能较弱, 只能实现简单的数据采集功能, 从硬件资源上就不具备在线升级的能力, 或者难以设计通用的方法<sup>[1]</sup>, 固件需要更新的时候实际上就是更换采集器, 或者将采集器打开, 使用专用的烧录仪器写入嵌入式代码。另一种是以 32 位微系统为核心的新一代自动气象站, 功能较为强大, MCU 支持在线编程技术 (IAP), 并具备所需的代码存储空间、寄存器等硬件资源。另一方面, 嵌入式在线升级技术的研究以及不同领域的应用也日益成熟。方兵兵以 STM32F103 芯片为对象设计了嵌入式软件远程升级系统并解决了服务器与客户端之间的增量文件传输<sup>[2]</sup>, 唐鹏程、康燕萍等详细介绍了带有 IAP 技术的单片机固件在线升级方法<sup>[3-4]</sup>, 由于嵌入式设备在不同的工业网络中使用, 在线升级方案也各有优点: 例如通过 GPRS 连接的 UV LED 固件升级考虑了 CRC 校验和流量压缩问题<sup>[5]</sup>, 通过 CAN 总线连接的节点设备升级快速可靠<sup>[6]</sup>, 基于电力线载波传输的载波路由升级方案成本低廉<sup>[7]</sup>, 而基于有线以太网连接方案则较为可靠和高效<sup>[8]</sup>。近年物联网的发展将联网设备的在线升级变成一种必备的功能<sup>[9]</sup>。

新一代自动气象站功能较为强大, 也在在线升级方面作了一些探索, 可以在设备重启的时候接收并更新固件<sup>[10-11]</sup>, 但是需要使用笔记本电脑与设备连接, 对于分布

收稿日期: 2019-06-13; 修回日期: 2019-07-11。

基金项目: 广东省气象局“气象信息大数据创新团队”(201507)。

作者简介: 黄飞龙(1980-), 男, 广东郁南人, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事探测传感器研发与数据采集工作方向的研究。

于城乡、高山和海滨不同地形和不同气候环境的无人值守区域自动气象站来说, 现场升级的代价高昂。基于无线网络, 在不影响设备正常数据采集和传输的前提下实现气象站主采集器固件自动升级, 具有较高的实用价值。

### 1 组网升级原理

目前自动气象站都是通过无线公众网络组网, 如图 1 所示, 自动气象站采用 RS232 协议串口与内含 SIM 卡的无线通信模块连接, 每分钟把最新的气象观测数据发送到移动基站, 再通过专线发送到自动气象站全网监控中心服务器上。监控中心也可以通过相同的路径以相反的方向将数据或者监控命令发送到气象站主机, 现实整个自动气象站观测网的协调和远程控制。

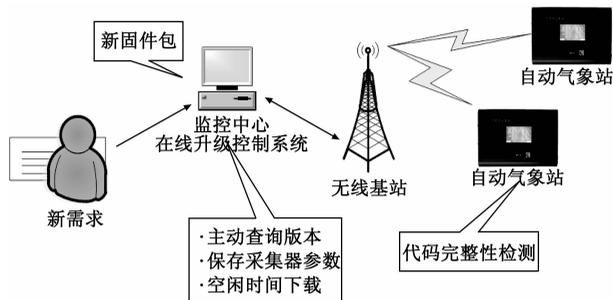


图 1 组网自动气象站升级示意图

新一代自动气象站主采集器由硬件和嵌入式软件组成<sup>[12]</sup>。主采集器嵌入式处理器使用 ARM9 系列的 32 位处理器 STM32F207, 具有强大的性能, 能够支持嵌入式实时操作系统的运行, 其片内 FLASH 支持在线编程技术, 所配置的 4 G 容量的 FLASH 外部存储芯片 K9LBG08U0D 在存储正常运行所需的设备参数和观测数据之外有足够的余量存储接收到的新代码, 具备实现无线升级固件的条件。

当自动气象站增加新功能、执行新标准或嵌入式固件需要优化的时候, 设备开发工程师修改固件源代码, 通过编译产生新的固件包。在自动气象站监控中心设计一个在线升级控制系统, 该系统周期性地发送命令查询所有在线运行自动气象站的版本号, 自动对版本过旧的设备进行固件升级。由于网络传输机制和通信模块缓存等多种因素的制约, 固件包不能一次性传输到自动气象站, 需要分成多个数据包, 按顺序传输。其次, 由于自动气象站主要任务为数据采集、数据处理和传输, 为了在固件包传输的过程中不影响设备正常运行, 在线升级控制系统需要避开自动气象站最繁忙的时刻进行固件包传输。最后, 野外无线网络的信号强度可能较弱, 工业区的电磁干扰可能较强, 导致某一个数据包传输失败, 因此传输过程还必须有点续传机制, 确保采集器最终收到完整可用的新固件。当自动气象站接收到最后一份固件包, 对外存 FLASH 中的固件代码进行完整性检测, 确保无缺漏无变码, 即可按设计执行固件升级流程。

### 2 方法实现

STM32F207 处理器有 1 MByte 的片内 FLASH 代码区,

为了实现在线升级, 在嵌入式程序设计的时候将代码区划分为两个功能区: 引导区 (地址: 0x0000000—0x8007FFF) 与运行区 (地址: 0x8008000—0x800FFFFF)。设备启动的时候先运行引导区程序, 该程序首先初始化外存 FLASH, 并检查该 FLASH 上的固定地址是否已经存在完整的新固件升级代码。如果有代码, 启动固件代码覆盖流程: 片内 FLASH 解锁, 调用片内 FLASH 块操作函数擦除运行区原有代码, 按照顺序将新代码写入处理器的片内 FLASH 运行区, 然后锁定片内 FLASH, 禁止正常运行期间改写运行代码。代码写入顺序如下: 第一个字节内容烧录至地址 0x8008000, 第二个字节内容烧录至地址 0x8008001, 以此类推。当最后一个字节烧录完毕, 引导程序将清除外存 FLASH 中的升级代码, 然后重启设备。如果引导程序没有在外存 FLASH 中找到完整的升级代码, 执行正常运行流程: 则跳转至运行区起始地址, 初始化总线、时钟, 中断使能, 初始化数据结构, 开始执行数据采集、处理和传输等任务。

基于无线网络的固件升级具体流程如图 2 所示。监控中心在线升级控制系统通过无线网络将新程序代码文件分成很多个数据帧, 从第 0 帧开始, 陆续传输到自动气象站主采集器。自动站主采集器检查所接收数据包的帧标识, 确认该数据包属于升级代码, 即调用固件交互程序进行校验。通过校验的升级代码被存储在外存 FLASH 芯片, 同时固件交互程序向监控中心反馈接收到的升级包的帧编号。监控中心根据接收到的反馈信息, 按顺序发送下一帧升级包, 如此循环直到监控中心发送完毕最后一帧升级包 (即结束帧)。主采集器接收到最后一帧升级包并检查无误之后, 在非繁忙时间自动重启, 通过引导区程序检查外存 FLASH 是否存在完整的新固件程序, 再调用固件更新程序严格按照代码顺序将新程序覆盖至运行区, 覆盖成功之后即运行新程序。

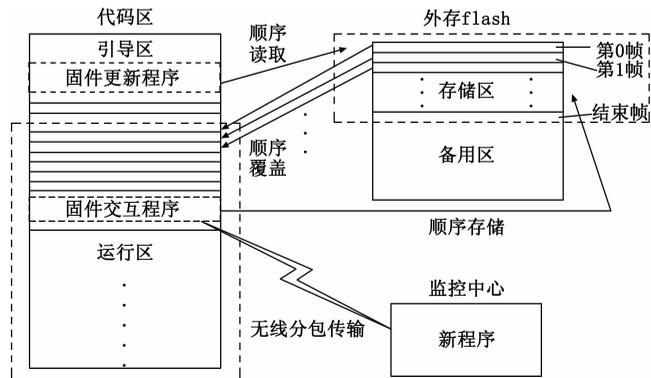


图 2 在线升级流程

#### 2.1 无线分包传输

通过移动公众网络的无线分包传输交互过程主要通过 3 个程序完成, 分别是处于自动站监控中心服务器上的升级控制程序、分包组帧程序和处于采集器中的固件交互程序, 如图 3 所示。

升级控制系统为自动站监控中心的一个子系统，对组网观测的自动气象站设备进行版本号查询并发起自动升级。当发现自动站观测网上的某一个站需要升级固件，先通过监控中心数据库搜索和设置该站对应的网络参数和 SIM 卡 IP 地址，再打开最新的固件代码文件。在启动发送后，以二进制方式读取新固件代码文件，根据文件大小和每一帧允许发送的最大容量，计算需要分包传输的总帧数，再调用组帧函数生成固件升级帧。

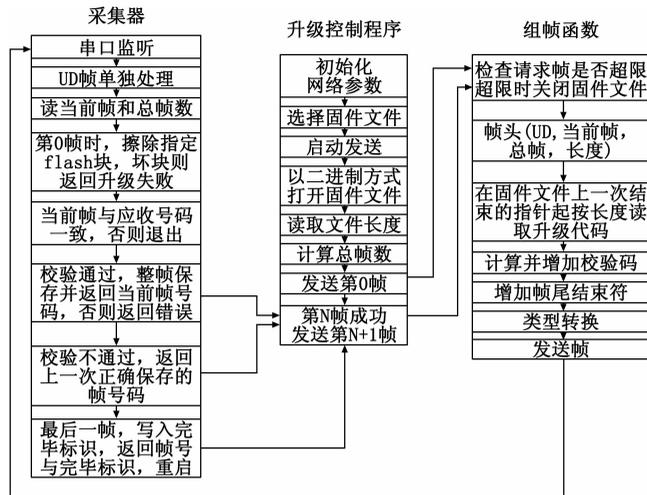


图 3 分包传输交互方法

从第 0 帧开始，组帧函数首先对当前帧编号的合理性进行检查，出现异常情况则退出升级，并记录在日志文件中。正常情况则根据当前帧编号计算从文件中读取升级代码的偏移地址，并进行校验码计算。最后将帧头、帧编号、总编号、帧长度、升级代码、校验码和结束符组合在一起形成完整的升级帧。升级帧通过互联网、移动基站再到无线通信模块，最终发送到采集器主机。

采集器串口监听程序接收到监控中心发送过来的数据包之后，检查其帧标识，如果确认是固件升级帧，则进入固件交互程序处理。该程序首先读取帧编号和总编号（升级包总帧数）。如果收到的是第 0 帧，程序擦除外存 Flash 中的指定块地址，以便将升级帧内容写入，如果擦除失败，采集器返回失败信息，通知升级控制系统该设备不具备在线升级能力；在帧编号大于 0 的时候，检查当前编号是否为上一次接收编号的延续，对于编号连续的包，程序还要进行校验计算再写入外存 Flash；对于不连续的包则会丢弃，同时向升级控制系统反馈上一次正确接收到的帧编号，以便监控中心重新发送本次升级帧。当固件交互程序正确接收到最后一帧升级包，将数据包和升级标识写入外存 Flash。采集器主机在完成分钟统计、正点数据上传等重要任务之后，自动重启，并在片内 Flash 完成擦除旧固件、烧录新固件的工作。

### 2.2 断点续传

如图 4 所示，自动站所在地点的无线信号强度变化并不稳定，图中为某站一日的信号强度曲线，实线表示平均

强度值的变化，实线上下两侧的阴影表示信号强度的变化范围。原因是多方面的：在海岛和高山等地区，自动气象站野外运行环境中无线网络信号可能较差；而在城市中心区、工业区或者是铁路沿线，电磁干扰信号可能较强；无线通信模块可能故障重启；移动基站信道分配或者网络堵塞原因可能导致无线通信模块下线一段时间，又重新上线的情况下（这种情况会经常发生）。断点续传保证在任意一帧升级包丢失或者变码的情况下，升级系统还能够丢失的代码段开始继续传输，保证采集器主机最终收到的是完整且正确的代码。

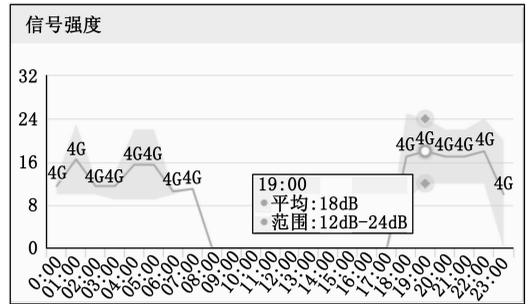


图 4 无线信号强度日变化

在线升级控制系统对升级过程进行监控，每发送一帧之后等待接收反馈信息，如图 5 所示。当控制系统发送了第 N 帧升级包，收到的反馈信息有 2 种：采集器返回编号 N 或者返回编号 N-1。返回编号 N 说明第 N 帧已经被接收存储，这时控制系统将继续发送第 N+1 帧升级包；返回编号 N-1 说明采集器接收到第 N 帧但校验不通过，这时控制系统将继续发送第 N 帧升级包。没有收到反馈信息的情况也有 2 种：第 N 帧没到达采集器，或者采集器返回编号 N 但控制系统没收到。这两种情况下控制系统都没有接收到正确的返回信息，监听一段时间之后，将尝试再次发送第 N 帧升级包，如果尝试 5 次都没有收到返回信息，则暂停自动升级，显示收发异常信息，等待人工干预。本设计所采用的断点续传机制升级控制系统为主动方，尽量减少自动站采集器的任务和算法复杂性。面对自动站复杂的无线信号环境仍然能够保证采集器写入外存 Flash 的升级包不会缺失或者重复，增强了无线传输的可靠性。

### 2.3 无感升级

野外运行的自动气象站一般都具有连续观测任务，观测数据的连续性和可用性都是被考核的指标。自动站的数据采集分两部分：基于中断响应的数字信号采集和基于循环任务的模拟信号采集，升级包接收过程会增加外部中断响应频次，影响模拟信号采集周期。自动站数据处理和存储功能主要是通过循环结构任务完成，而显示屏刷新和观测数据无线传输任务是通过时钟中断响应进行，需要较高的响应优先级。升级过程中，采用适当的策略，尽量降低文件传输和设备重启对观测任务的影响，保障观测数据不会出现异常的波动，让终端用户感觉不到设备正在升级，实现升级全过程的“无感”性能。

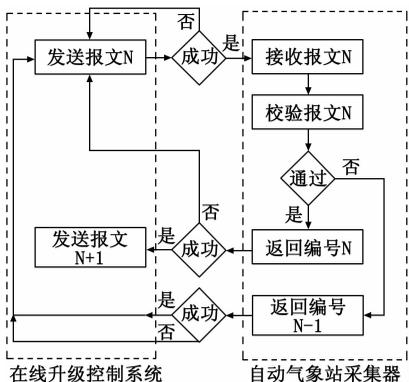


图 5 断点续传机制

无感升级方法采用了 3 个策略。首先是时间同步策略。控制系统启动升级后, 在传输第 0 帧升级包之前先对被升级自动气象站采集器进行校时。由于自动站采集器运行的重要任务都在跨分钟或者跨小时时刻, 任务周期和时间长度是可预测的, 时间同步之后控制系统可以避开采集器最繁忙时间发送升级数据包, 降低升级包接收和反馈对观测业务的影响。其次是低优先级响应策略。由于升级过程中, 可靠性和无感性能比快速更加重要, 采集器可以将处理升级包的优先级降低: 将中断响应程序放到嵌入式系统循环中运行, 在完成数据采集、显示、存储和传输之后再检查升级包的校验码、写入外存 Flash 以及发送反馈信息。同时控制系统的监听程序要设置较长的超时时间以配合低优先级的信息反馈速度。最后是自主升级策略。升级控制程序发送完升级包之后, 采集器重启时间不受控制系统指定或者命令触发。采集器接收完最后一帧升级包之后, 将完整性标识写入外存 Flash 指定地址, 然后选择嵌入式任务空闲时间自动重启并在一分钟内实现程序升级。

### 3 测试与分析

在线升级控制系统软件如图 6 所示。根据升级方法流程设计, 设置了 4 个功能区。在“无线连接”功能区域主要实现监控中心地址参数设置、打开最新升级文件和手动升级(包括启动升级、设置站号和断点续传)选项, 自动搜索升级站点和启动升级功能由后台程序定时运行。“接收反馈信息”功能区用于显示被升级自动站采集器反馈的原始信息, 包括站点号、升级标识和已经成功接收到的帧编号。该软件自身的状态信息在图中右部窗口显示, 包括网络连接信息、初始化结果、最新固件信息以及可能的错误日志等等。

对站号为 G9909 的自动气象站进行多次在线升级测试, 结果如下:

- 1) 由于网络延时以及无感升级策略的影响, 升级控制系统传输一帧升级包从发送到收到反馈的平均时间为 6 s;
- 2) 采集器接收升级包的过程中, 风向、风速、气温、湿度、气压等气象瞬时值并未发生明显异常的波动, 每分钟保存采集数据正常, 每 5 分钟上传一份观测数据正常, 设备正常观测任务没有受到影响;



图 6 在线升级系统主界面

3) 发生 2 次需要人工干预的断点续传情况, 说明自动续传的次数可能需要调整增加;

4) 采集器空闲时刻自动重启并成功更新程序, 全过程不足 1 分钟, 对该分钟的数据采集有影响, 但对于数据上传间隔为 5 分钟的自动气象站而言不影响观测任务, 基本实现无感升级。

本设计中, 固件升级的可靠性和无感性能比升级速度更为重要, 在移动公众网络复杂路由和采集器端低优先级策略的影响下发送升级帧和接收反馈信息的平均时间比较长, 但仍然可靠地完成升级; 从断点续传的情况来看, 传输网络的复杂性不但会影响传输时间, 同时也影响传输质量, 可能导致升级帧或者反馈信息传输超时或者部分变码, 因此升级控制系统的自动续传尝试的次数应当适当增加, 尽量降低人工干预的概率。

### 4 结束语

本文提出了一种基于无线分包传输方式的自动气象站嵌入式固件无感升级方法, 初步实现并进行了测试。该方法考虑到了无线传输网络的延时特性、无线传输模块的容量限制以及采集器工作任务的优先权, 设计了具有良好容错性能的分包传输交互方法和断点续传机制, 软件操作采用合理的策略避免对主任务的影响。测试结果显示该方法实现了设计的目的, 对于野外运行的自动气象站的在线升级具有使用价值。该方法也可以为其他野外观测设备的自动化在线升级提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 周天兵, 刘国忠. 单片机程序远程升级技术 [J]. 仪表技术, 2011, 9: 25-31.
- [2] 方兵兵. 基于 STM32 的嵌入式软件远程升级研究 [D]. 宁波: 宁波大学, 2017.
- [3] 唐鹏程, 汪旭明, 胡力. 用 IAP 技术在线升级 STM32 单片机固件 [J]. 吉首大学学报 (自然科学版), 2019, 40 (1): 21-26.
- [4] 康燕萍, 程小辉, 黄鹏. 基于 STM32 系列电子产品的 IAP 研究 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (22): 142-144.
- [5] 朱正伟, 张南, 钱露. 一种支持断点续传的 UV LED 固化系统升级方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (2): 209-212.