

基于 SI4463 的信息采集系统设计

周 晓, 孙国峰, 赵 锋, 朱艳林

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310032)

摘要: 为满足无线信息采集系统远距离、低成本、部署灵活、维护方便等要求, 设计和实现了一个远距离信息采集系统, 具有无线传输和可靠的 IAP (In-Application Programming) 升级; 在无线信号覆盖范围内, 系统自动完成对目标节点的信号采集、IAP 无线升级; 介绍了节点的软硬件设计、IAP 升级、冲突避免机制; 经测试, 无线传输速率 200 bps 的条件下有效通信半径为 500 米; 无线数据包转发误码率为 2/10000。

关键词: 无线传输; IAP; 信息采集; 低成本

Design of Information Collection System Based on SI4463

Zhou Xiao, Sun Guofeng, Zhao Feng, Zhu Yanlin

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: In order to meet the long-distance, low cost, deployment flexible, easy maintenance requirements for wireless information collection system, a long-distance information collection system having Wireless transmission and reliable IAP upgrading is designed and implemented. The system can automatically complete the target nodes signal acquisition and IAP wireless upgrade as long as the nodes are in the range of wireless signal. The design of hardware and software of nodes is described, IAP upgrades, collision avoidance mechanism. After testing, under the conditions of the wireless transmission rate 200bps effective communication radius is 500 meters, and the BRE of data packet forwarding is 2/10000.

Keywords: wireless transmission; IAP; information collect; low cost

0 引言

受益于半导体技术、无线通信技术的发展, 无线通信已经变得十分普遍, 但常见的诸如 Zigbee, 蓝牙等通信距离都集中在 200 米以下的距离^[1]。GPRS 由于成本较高, 无法在中短距离通信上得到广泛应用。在一些需要长期进行数据监测, 且在偏远狭窄的地域, 维护、升级比较困难。因此, 既能信息采集、又能远程升级的无线信息采集系统方案具有很好的市场前景和应用需求。

1 系统设计

系统主要由三部分组成, 分别是 PC 机, 协调器及终端节点。PC 机作为上位机, 协调器作为上下位机通信的枢纽, 终端节点作为下位机。节点之间采用星型分布, 组成无线传感网络。系统结构如图 1。

PC 机与协调器之间采用 RS232 方式进行通信, 协调器和各终端节点之间采用无线通信方式实现。终端节点采用 STM32F103 低功耗微处理器, 由传感器采集信息, 与无线通信接口连接, 实现无线传输数据。无线通信模块以 STM8S103 微处理器为控制核心, 控制射频芯片 SI4463 进行半双工通信。

2 硬件设计

2.1 无线通信模块设计

无线通信模块包括控制核心 STM8S103 和 SI4463, 意法半导体 (ST) 公司的 STM8S103 基础型系列 8 位单片机提供容量为 8K 字节的 Flash 程序存储器, 集成真正的数据 EEPROM。

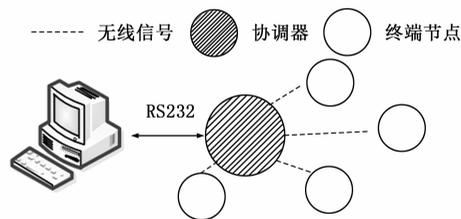


图 1 系统结构

ROM, 低成本、高性能、高可靠性。Silicon Labs 的 SI4463 芯片是一款高新能、低电流收发器, 覆盖范围广, 极低的工作和待机电流, 在高达 +20 dBm 的输出功率具有极佳的发射效率。在设计 PCB 时预留了通信接口, 实现串口通信, 体现模块化的设计思路。

2.2 终端节点设计

终端节点使用 STM32F103 低功耗微处理器, 一款中低端的 32 位 ARM 微控制器, 2 个 12 位模数转换器, 1 Ms 转换时间 (多达 16 个输入通道), 3 个 USART 接口。采集模块包括传感器、信号处理电路、滤波等。终端节点通过串口与无线通信模块连接, 实现节点的无线收发功能。终端节点示意图如图 2。

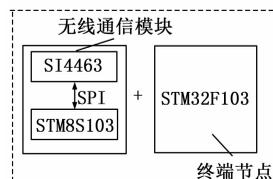


图 2 终端节点示意图

收稿日期: 2014-09-29; 修回日期: 2014-11-20。

作者简介: 周 晓 (1971-), 男, 浙江永康人, 副教授, 博士, 主要从事嵌入式应用方向的研究。

3 系统软件设计

系统软件设计分为无线通信模块程序设计, 终端节点程序设计、IAP 升级程序设计 3 个部分。

3.1 无线通信模块程序设计

STM8S103 微处理器拥有最高 16 MHz 的主频, 提供了 8 K 字节的片上 Flash, 640 字节的 EEPROM, 1 K 字节的 RAM。为了提高软件的稳定性, 借鉴了常用的循环链表存储方式, 同时考虑到链表结构的不便, 本模块设计最终采用类链表方式的双缓冲循环数组方式存储方案, 分别存放从串口接收到的数据和将要发送至串口的数据。

循环数组的结构体定义如下:

```
typedef struct List {
    uint8_t ListArry[ListMaxLength]; // 链表数据
    uint8_t ListHeadPtr; // 链表头标记
    uint8_t ListTailPtr; // 链表尾标记
    uint8_t ArryLength; // 链表数据长度
    FunctionalState ListMutexLock; // 链表互斥锁。
}UARTLIST;
```

考虑微处理器 Flash 大小和性能需求, 将 ListMaxLength 大小设置为 80 字节, 即每个缓冲数组大小的 80 字节时。通信模块接收到终端节点发送的串口数据后, 存放于 UART_RX_BUFF, 然后将该数组中数据打包传入到 SI4463 的发送缓冲中, 如此循环, 直到 UART_RX_BUFF 中的数据都发送完成。通信模块接收来自 SI4463 的数据时首先将接收缓存的数据进行解析, 然后添加到 UART_RX_BUFF, 紧接着处理器将 UART_RX_BUFF 缓冲中的数据发送至终端节点, 实现双向通信。为了防止在程序正常读写循环数组的时候中断程序中也对数组进行操作。这里定义了 ListMutexLock 信号量来保护该循环数据, 确保同一时间只能由一个任务调用其读出或写入函数。无线通信模块的流程图 (如图 3)。

3.2 协调器节点及终端节点程序设计

协调器节点可以作为中心节点为其他终端节点提供数据传递, 指令分发的功能。当收到控制终端的指令后, 会发送至当前信号覆盖范围内的所有同组内终端节点设备, 以此读取各终端节点信息或配置节点参数。数据包的格式如表 1。

表 1 数据包格式

用户组	源 ID	目的 ID	中继节点	数据长度	数据内容	生存时间
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1~123 字节	1 字节

数据包中用户组用于区分不同的网络, 为防止相互干扰, 不同用户组之间节点不能相互通信, 同一用户组内的不同用户可以相互通信。为防止洪泛的产生, 同一用户组内节点都只与协调器节点建立逻辑连接。

网络的建立与初始化, 为了简化编程, 每个终端节点 ID 号即其芯片 ID 最后一字节, 当 ID 号为 00 H 时随机修改, 当 ID 号冲突时后加入用户组的节点 ID 号再由协调器按从大到小规则分配。当终端节点不能直接与协调器通信时, 最多允许经过一个其他终端节点进行中继, 为保证终端节点负载不致过大, 规定每个终端节点最多为 3 个其他节点提供中继。新节点加入后, 首先尝试连接到协调器节点进行注册。连接数据包的格式如表 2。

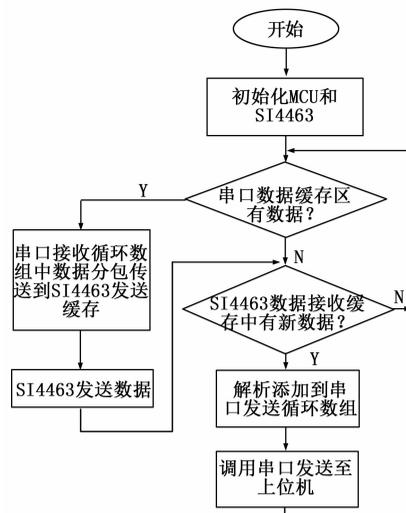


图 3 无线通信模块流程图

表 2 连接数据包格式

用户组	源 ID	目的 ID	中继节点	数据长度	数据内容	生存时间
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	NEQ	1 字节

默认生存时间为 01 H, 即直接与协调器相连。当终端节点距离协调器过远, 经过 3 次尝试均无法直接与协调器直接连接时, 生存时间增加 1, 即允许通过另一个终端节点进行中继。附近终端节点接收到该数据包时, 将生存时间改写为 0, 在中继节点域中加入自己的一字节 ID 数据, 继续转发到协调器。为了保证终端节点的工作效率, 每个节点转发列表中的终端 ID 不超过 3 个。如果加入中继节点后依然不能连接到协调器, 则放弃加入该用户组, 进入休眠模式。

协调器对收到的连接包进行比对, 根据中继节点 ID 值由小到大决定转发列表中的中继节点。同时发送 ACK 数据包 (表 3) 广播该条链路。各节点接收到协调器发送的 ACK 数据包后查看数据包中指定的中继节点是否与自身节点 ID 相同, 如果相同则在 EEPROM 中保存该转发规则。

表 3 ACK 数据包格式

用户组	源 ID	目的 ID	中继节点	数据长度	数据内容	生存时间
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	ACK	1 字节

已加入用户组内的终端节点与协调器的连接断开时间超过 5 分钟, 则需要终端节点、中继节点、协调器均将该链路条目删除, 并提示用户。介质连接中断数据包格式如表 4。

表 4 连接中断数据包

用户组	源 ID	目的 ID	中继节点	数据长度	数据内容	生存时间
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	EM	1 字节

终端节点加入系统的初始化流程如图 4。

3.3 IAP 升级程序设计

IAP (In-Application Programming) 是一种对通过微控制器的对外接口 (如 USART, IIC, CAN, USB, 以太网接口甚至是无线射频通道) 对正在运行程序的微控制器进行内部程序的更新的技术。使用 IAP 技术可以在运行过程中改写目标设备中用户程序的 Flash 部分区域, 目的是为了在产品投入实

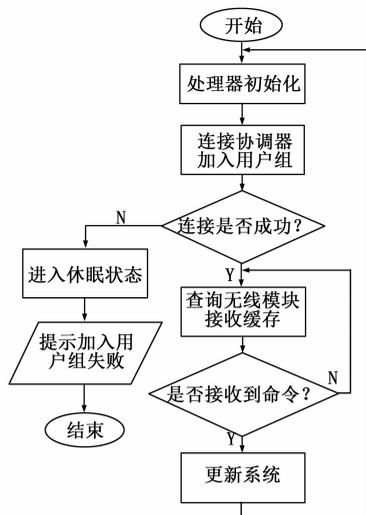


图 4 终端节点加入流程图

际应用之后仍可以方便地通过预留的通信接口对设备中的固件程序进行更新升级。对于偏远狭小地域的终端传感节点，可以节省大量的维护精力与费用。

通常在需要实现 IAP 功能时，即用户程序运行中作自身的更新操作，需要在设计固件程序时编写两个项目代码，第一部分程序称之为引导程序，只执行用户引导操作，并是通过串口，USB 等通信方式接收升级程序或数据，完成对第二部分用户 Flash 区域代码的更新；第二部分代码是真正用户应用程序代码，执行用户指定操作。第一部分引导代码只能在仿真器中烧录，并且受到芯片自身保护，不能更新。而第二部分的代码则可以随时更新。当芯片上电后，首先是第一部分程序开始运行，运行流程如下：

- 1) 检查是否需要第二部分代码进行更新；
- 2) 若不需要更新则转到用户程序代码执行操作；
- 3) 执行更新操作；
- 4) 更新完成后重启。

终端节点（接收方）程序的更新的实现，基于 Y-modem 协议修改。为了减少出错概率，每一帧的数据域最大存放 128 字节数据，采用数据包拆分发送的方法传送。数据域第一帧数据包节传送格式如下表 5。终端节点收到请求之后返回 ACK 以及字符“C”。得到确认之后继续发送。数据域后续数据帧格式如表 6，其中 Num1 表示数据包的序号，Num2 为数据包序号的反码，即 $0\text{xFF} - \text{Num}1$ 。

表 5 第一帧数据包格式

SOH	00 H	FFH	Name	Version	Date	N	CRC-ITU16
1B	1B	1B	128Byte				2B

表 6 后续帧数据包格式

SOH	Num1	Num2	Data	SUB	CRC-ITU16
1Byte	1Byte	1Byte	128Byte		2Byte

数据传输完毕后，发送方发 EOT，第一次接收方以 NAK 应答，进行二次确认。发送方收到 NAK 后，重发 EOT，接收方第二次收到结束符，就以 ACK 应答。最后接收方再发送一

个 C，发送方在没有第二个文件要传输的情况下，发送如下结束数据包表 7，接收方应答 ACK 后，正式结束数据传输。

表 7 结束帧数据包格式

SOH	00 H	FFH	NULL	CRC-ITU16
1Byte	1Byte	1Byte	128Byte	2Byte

4 冲突避免机制

为避免升级期间各终端节点频发发送数据给协调器造成较大负载而造成协调器丢包率过大，导致升级失败，协调器需要在程序升级开始之前发送数据包（表 8，数据内容为“NAK NAK NAK”）给各终端节点。待协调器固件升级完成之后再发送数据包（表 8，数据内容为“ACK ACK ACK”）至各终端节点。

表 8 静默/使能包格式

用户组	源 ID	目的 ID	中继节点	数据长度	数据内容	生存时间
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	3 字节	XXX	1 字节

当需要对所有终端节点同时进行升级时，为保证终端节点升级成功率，首先对直接与协调器相连的节点逐一升级，再对其他通过中继节点与协调器相连的终端节点进行升级。

5 结束

鉴于无线通信模块设置的最大缓存为 80 字节，上位机串口以 9600bps 速率，一次发送 256 字节，每隔 50 ms 发送一次，通过不同的发送次数，得到结果如表 9。

表 9 测试结果

次数	10	20	50	100	150	200
误码个数	0	0	2	5	8	11
误码率 10^{-4}	0	0	1.5	1.9	2.1	2.1

结果表明：在 15 m 范围内，通信的误码率随着发送次数增加稳定在 2/10 000 左右。在 500 m 的覆盖范围内能以 200 bps 的传输速率进行无线通信。系统实现多节点自主组网，终端节点 IAP 无线升级。小数据量传输可靠。系统设计仍然带有许多不足，如协调器吞吐量小、传输速率较小、组网完整性不足等问题。

参考文献：

[1] 王正万. 基于 WSN 的几种短距离无线通信技术应用分析 [J]. 数字技术与应用, 2014 (2): 23-24.

[2] Zhiyong W., Shunyuan S., Baoguo X. Design and Application of Low Power Wireless Pits Temperature-measuring System Based on SI4463 [J]. Computer Measurement & Control, 2014, 2: 064.

[3] 王志勇, 孙顺远, 徐保国. 基于 SI4463 的低功耗无线蓄电池测温系统的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (2): 519-521.

[4] 赵明松. 关于 IAP 技术的在 STM32 在线升级的探讨 [J]. 华东科技: 学术版, 2013 (8): 490-490.

[5] 胡中玉, 岳强, 冯维杰, 等. 基于 nRF24L01 的无线传感器网络节点设计 [J]. 现代电子技术, 2014, (7): 12-14.

[6] 朱桂峰. 基于 nRF24L01 的无线传感局域网的研究与设计 [D]. 保定: 河北大学, 2011.