

基于 WSN 的 SimpliCI TI 协议移植和实现^①

王 浩, 郑 霖, 刘争红

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

摘 要: SimpliCI TI 协议是美国 TI 公司推出的针对简单小型 RF 网络的专有低功耗协议。在 Keil MDK 3.8 开发环境下移植 SimpliCI TI 网络协议, 设计一种无线传感器网络系统, 系统包括中心节点和终端节点。该系统以单片机 STM32F103C8 作为微处理器, 通过控制射频收发芯片 ADF7021 进行数据的收发。通过对 SimpliCI TI 网络协议及其拓扑结构进行了分析, 并在此基础上设计低功耗和载波侦听退避算法, 最终实现了基于 SimpliCI TI 协议的无线传感网系统, 可用于单数据采集中心和多个传感器节点的场合。

关键词: SimpliCI TI 协议; STM32F103CB; ADF7021; 低功耗设计; 载波侦听退避算法

Migration and Implementation of SimpliCI TI Protocol Based on WSN

WANG Hao, ZHENG Lin, LIU Zheng-Hong

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic and Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: SimpliCI TI network protocol, the low power RF protocol aimed at simple and small-scaled RF network is issued by America TI company. It is transplanted to design a wireless sensor network system in Keil MDK 3.8 software development enviroment. The network system includes access point and end device. In this system, STM32F103C8 is adopted as the microprocessor, coordinating with its ADF7021 wireless transceiver; the node hardware system is composed. SimpliCI TI network protocol and its topological structure are analyzed and the software is designed based on the low power consumption design and carrier sense backoff algorithm. Thus, the network communication system based on SimpliCI TI network protocol is implemented, which can be applied in single data collection center where the multiple sensor nodes.

Key words: SimpliCI TI protocol; STM32F103CB; ADF7021; low power consumption design; carrier sense backoff algorithm

近年来, 短距离无线通信技术成为物联网领域研究的热点之一。当前, 市场上的短距离无线通信技术主要有 Zigbee、蓝牙、UWB。但是这些协议价格高、系统庞大、对硬件要求高^[1]。鉴于此美国 TI 公司设计了基于 Zigbee 芯片解决方案的开源免费小型传感器网络协议 SimpliCI TI 协议。通过对进行 SimpliCI TI 协议的移植, 可开发低功耗系统, 简化网络协议的设计难度, 节约设计成本, 降低了 SoC 芯片厂商的硬件系统与无线传感器网络协议栈的绑定程度^[2,4]。

本文基于 SimpliCI TI 协议, 设计了一种星型无线传感器网络, 可应用于单数据采集中心和多个传感器

节点的场合。以 STM32 单片机和 ADI 公司的 ISM 射频芯片为核心, 实现数据中心(Access Point:AP)与终端(End Device:ED) 的双向通信。AP 和电脑采用串口通信, 可在串口助手软件上监测传感器数据, ED 通过串口通信连接传感器数据采集系统。此外 ED 采用待机唤醒机制可有效地减少节点碰撞的次数, 降低节点的功耗。节点还支持载波侦听退避, 根据接收信号强度(RSSI)来判断信道的质量, 决定是否随机延迟发送数据。

该传感网可广泛应用于现场医疗器械、数据仓库、数据采集、水纹气象监控、智能家用集中控制系统、智能小区水、电、煤气集中抄表抄表等领域^[5]。

① 基金项目:国家重大科技专项(2012ZX0300600-005);国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室开放课题项目(KDL2012-03);

桂林市科学研究与技术开发项目(20120104-3)

收稿时间:2013-06-06;收到修改稿时间:2013-09-09

1 SimpliCI网络协议

1.1 SimpliCI 协议分层结构

SimpliCI 网络协议主要分为硬件逻辑层、网络层、应用层这三层^[2,4,6,7].

硬件逻辑层包括射频层(Radio)和板级驱动包(BSP), BSP 提供射频层与网络层通信的 SPI 接口, 数据直接从射频层接收过来. 此外还添加了 LED 灯、串口、定时器等驱动支持.

网络层是将从射频层收到的数据帧转发给相应的端口地址, 而不对数据帧做任何处理^[6]. SimpliCI 网络协议设置了一系列端口地址. 去除网络层的数据帧头等信息后, 就会将剩余的有效数据传输给指定的端口, 网络层利用端口对网络进行管理.

应用层分为网络应用层和用户程序应用层. 网络应用层负责网络层管理和维护, 网络层的每一个网络功能对应一个端口号, 如 Join(0x03)、Link(0x02)等. 用户程序应用层用来完成 WSN 节点对环境的数据采集并实现数据传输, 如 Send(0x20)、Receive(0x3d)等. 移植后的 SimpliCI 协议结构示意图如图 1 所示.

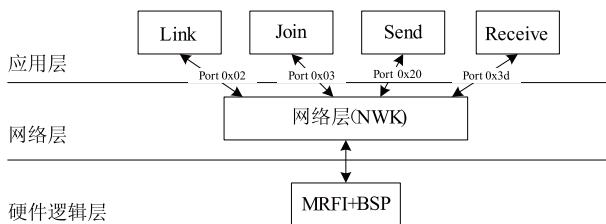


图 1 SimpliCI 协议栈结构

1.2 应用层函数移植

本设计在单片机 STM32F103C8 和 ADF7021 构成的最小系统通过移植 Link、Join、Send、Receive 这四个应用程序, 定义了 AP、ED 节点, 实现了星型无线传感器网络的的拓扑结构^[2,3]. 其消息序列图如图 2.

Join 功能是 ED 设备广播 JoinReq 以加入 AP 网络, 加入帧格式(JoinReq)如表 1 所示. AP 首先根据接收数据的端口号是否为 0x03 来判断要不要进入处理 JoinReq 的应用程序, 再比较加入令牌标识(JoinToken)来判断请求加入的节点是否与网络匹配, 以防止非本协议节点的加入. 处理完 Join 请求后, 向加入的节点单播加入响应帧(JoinAck)消息, 其包含链接令牌标识(LinkToken), 用于 ED 与 AP 建立连接. 此时, AP 进入侦听阶段, 且在网络层链接表结构体(connInfo_t)中记

录加入节点的地址和标记链接状态为已加入状态(connstate_joined). 加入响应帧格式如表 2 所示.

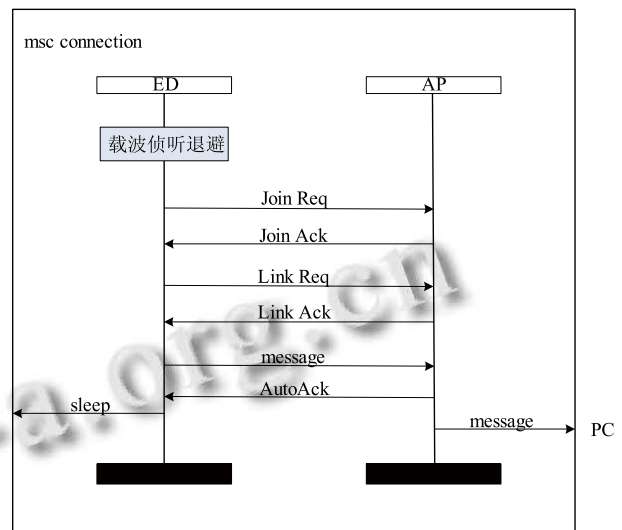


图 2 消息序列图

表 1 ED JoinReq 帧格式

Request	Join Token	Number of connected
0x01	0x08070605	0x08

表 2 AP JoinAck 帧格式

Req Reply	LinkToken
0x81	0xEF BE AD DE

Link 的功能是为网络中两个要通信的设备之间建立连接, 建立连接后, 两设备可以双向通信, 交换数据. ED 收到 AP 的加入响应帧后, 获得了 LinkToken 和 AP 的物理地址, ED 便向 AP 单播发连接(Link)请求, AP 侦听到 Link 请求, 连接成功后发送链接响应帧(LinkAck), 分配本地端口号 0x20. 本地端口号的作用是远方设备采用哪种用户应用函数与本地进行通信^[2,6]. 如 ED 的 Link 请求帧的本地端口号是 0x3d, 表明 AP 要用 Receive 函数接收 ED 的数据; LinkAck 响应帧的本地端口号是 0x20, 表明 ED 要用 Send 函数与 AP 进行数据传输.

表 3 ED LinkReq 帧格式

Request	LinkToken	Local Port
0x01	0xEF BE AD DE	0x3d

表 4 AP LinkAck 帧格式

Req reply	Local Port	Rx Type
0x81	0x20	0x00

Send 功能是 ED 在成功连接 AP 后, 采集传感器数据向控制中心单播发送数据, 本设计采用带回复确认(APP_AUTO_ACK)的发送方式.

Receive 功能是接收 ED 节点发来的数据. AP 通过

判断数据帧的端口为 0x20, 从而进入接收数据的处理, 提取数据帧的有效负载(PayLoad), 以便通过串口发送给电脑的串口助手软件。

2 系统硬件设计

在整个星型网络中, 各个通信节点采用相同的硬件设计。其硬件系统结构主要由微处理器模块、无线通信模块、供电模块和一些接口电路构成。网络节点的硬件结构如图 3 所示。

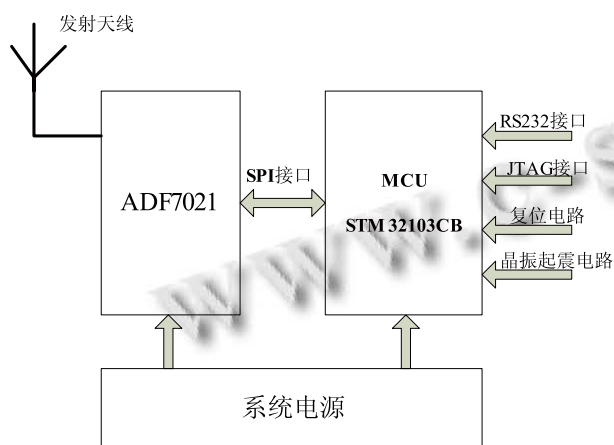


图 3 硬件系统结构

2.1 微控制器模块设计

传感器系统采用 STM32F103CB^[8]作为主控制器, 该单片机是 32 位的, 基于 ARM 内核的带 128K 字节闪存, 20K 字节的 SRAM 的微控制器。工作频率为 72MHz, 支持睡眠、停机和待机模式; 其供电电压为 3.3V, 正常工作模式消耗电流为 29mA, 待机模式下消耗电流为 3.4 μ A, 唤醒时间 50 μ s。本设计所用的外设主要包括: 16 位定时器、三个通用同步/异步串行通信接口(USART)、SPI、JTAG 调试接口等, 大大简化了系统的硬件设计。

2.2 无线通信模块设计

射频收发芯片 ADF7021^[9]是高性能、低功率、窄带收发器, 可在窄带、免执照 ISM 频段、以及 80 MHz~650MHz 和 842 MHz~916 MHz 频率范围的特许执照频段内工作, 还支持 2FSK, 3FSK, 4FSK 和 MSK 的调制方式, 和高斯和升余弦的频谱整形方式。支持数据速率 0.05kbps~24kbps, 发射机可在 -16dBm~+13dBm 之间分 63 步进可编程功率输出, 可根据传感器节点分布环境动态调整, 优化能量消耗, 实现低功耗应用。该芯片还拥有自动功率斜坡控制功能, 可使

功率放大器的瞬态杂散降至最低, 提高接收系统的信噪比, 提高通信质量。

本设计采用 2FSK 调制, 3.3V 供电, 工作频率为 150MHz, 数据速率是 9.6kbps, 接收机灵敏度 -115dBm, 其 RSSI 测量范围 -120~-47dBm。

3 系统软件设计

软件设计主要分为中心节点和终端节点组成。采用一个中心节点、三个终端节点组建一个星型网络, 实现无线传感器网络的通信协议设计。

3.1 中心节点设计

中心节点是整个无线传感器网络系统控制的中心。中心节点经过系统初始化和网络初始化后, 开 SPI 中断且 ADF7021 为接收模式, 然后根据接收数据端口号是否为 0x03 来判断有没有加入请求信息。如果收到节点加入的请求信息, AP 进入侦听 Link 请求信息后, Link 成功后分配本地端口号 0x20, 向 ED 节点发送 LinkAck 响应消息。已经加入该控制中心的节点将会发送从传感器系统采集的数据, 再根据接收数据端口号是否为 0x20 来判断是否收到数据帧, 从而进入接收函数处理, 如果接收成功, 并符合规定的格式, 则将数据发送给与主机通信的串口助手并显示。最后 AP 进入循环, 等待下一个节点的加入或接收数据。主函数流程如图 4 所示。

3.2 终端节点设计

终端节点设备经过 BSP 系统初始化后, 先测量接收信号强度(RSSI)值进行载波侦听判断当前信道是否空闲, 若空闲则开始搜索网络^[10], 向中心节点发送加入网络的请求, 并等待加入网络; 加入成功后, AP 收到 JoinAck 响应帧, 便发送连接请求, 并等待连接成功, 至此节点采集传感器系统的数据并发送至 AP, 然后节点进入待机模式, 待机休眠一段时间后, 实时时钟(RTC)自动唤醒 ED, 从新开始加入、连接 AP 并发送数据。节点流程如图 5 所示。

4 低功耗设计

低功耗设计是通过待机唤醒机制^[7]和载波侦听退避算法^[11-13]实现低功耗设计。

4.1 待机唤醒机制

节点在收发和待机模式下的功耗比较如表 5。由表可知, 节点在待机模式下可以达到最低的电消耗。

发射和接收模式下系统的总功耗最高,所以在满足正常通信的情况下,为了实现低功耗要减少数据收发次数,增加系统的待机休眠时间。

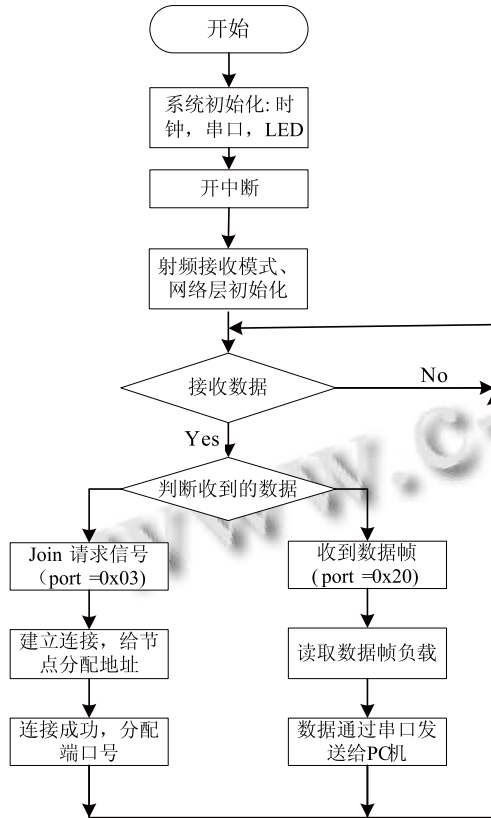


图 4 控制中心节点主函数流程图

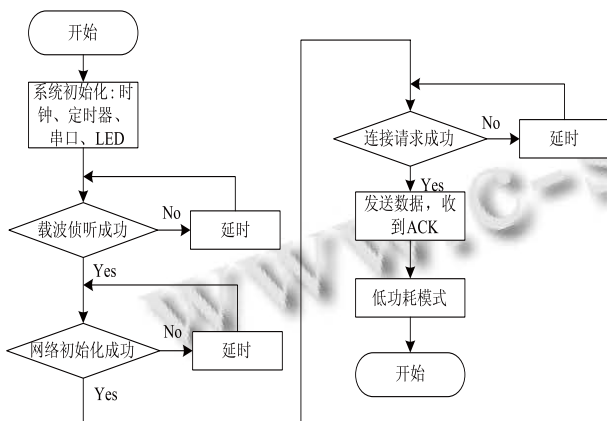


图 5 终端节点主函数流程图

表 5 节点收发和待机模式功耗比较

功耗模式	Stm32 电流 (3.3V)	射频电流 (3.3V)	总功耗
发射	27 mA	28 mA	181.5mw
接收	27 mA	19 mA	151.8mw
待机	3.4uA	80uA	272uw

本设计采用休眠唤醒机制,使得每个节点在不同的时间被 RTC 定时器唤醒,为了防止定时器唤醒时间发生冲突,造成数据碰撞,利用公式(1)

$$T_{start}=ID \times T_{ED} \quad (1)$$

其中 T_{start} 是唤醒时间, ID 是节点编号, T_{ED} : 单个传感器节点唤醒后加入、连接、发送数据给控制中心的平均时间. 实验测得 $T_{ED}=3$ 秒.

4.2 载波侦听退避算法

在星型网络中,采用待机唤醒机制可以有效地减少数据碰撞的概率,但是不能解决多个 ED 同时向 AP 发送数据产生碰撞的问题. 本设计在结合待机唤醒机制的基础上采用载波侦听退避算法解决数据碰撞的解决方法,从而减少了数据的收发次数,进一步节约网络能耗,提高网络运行效率.

载波侦听退避算法设计的依据:

(1) 实验测得接收信号强度(RSSI)值大于-75dBm 表示信道忙,有节点在发数据.

(2) 实验测得单个传感器节点一次加入、连接、发送数据给控制中心的平均时间是 $T_{ED}=3$ 秒,3 秒后节点进入低功耗模式.

(3) 测量 RSSI 的次数为 3 次,若测得一次 RSSI 大于-75dBm,则随机退避 m 个 $T_{ED}(m \in (1, 3))$.

载波侦听退避算法流程如图 6.

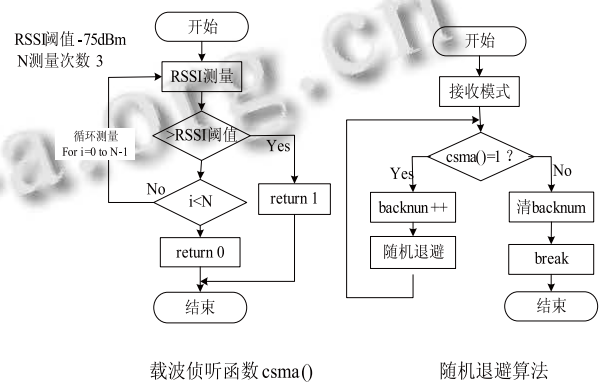


图 6 载波侦听退避算法流程图

5 结语

本文通过移植 SimpliciTI 协议,在单片机 STM32F103C8 和射频芯片 ADF7021 组成的传感器节点上实现了多对一的网络数据透明传输,采用载波侦听退避算法和待机休眠模式实现了网络节点的低功耗.使用澳大利亚 GREENSPAN(格林斯潘)公司生产的型号为 CTD3000 多参水质监测传感器,ED 通过串口读

取传感器数据, 发送到控制中心 AP, AP 通过串口发送数据给 GPRS 模块把数据上传到岩溶地质所网站上, 实现实时远程监控的功能.

参考文献

- 1 张颖,李俊甫,杨臻.基于 SimpliTI 协议的无线自组织网络系统设计.自动化仪表,2012.
- 2 SimpliTI Sample Modular RF Network Specification. 2007-2011.
- 3 SimpliTI Application Programming Interface Version 1.2. 2009.
- 4 王军强.基于 SimpliTI 的无线传感器网络关键技术研究[学位论文].重庆:重庆大学,2009.
- 5 万时光,马小铁,李凯.星型无线传感器网络的应用研究.通信技术,2009.

- 6 宋继勳.无线小型自组织网络协议分析与实现[学位论文].北京:北京交通大学,2009.
- 7 季国鹏.基于 SimpliTI 协议的无线网络温度采集系统的设计与实现[学位论文].合肥:安徽大学,2012.
- 8 STM32F103x8,STM32F103xB 数据手册.2009
- 9 ADF7021_N,2008
- 10 杨立林.SimpliTI 网络协议的无线数据采集系统设计.单片机与嵌入式系统应用,2010.
- 11 朱蔚蔚.CSMA/CA 协议在传感器网络中的应用与改进[学位论文].成都:电子科技大学,2007.
- 12 王果. M2M 通信随机接入算法研究[学位论文].北京:清华大学,2011.
- 13 方飞,毛玉明.时隙 ALOHA 稳定性控制算法研究.计算机应用研究,2013.

(上接第 178 页)

对 LMA 和 MAG 这两个实体提出了更高的计算能力.如何更加合理的在安全和性能方面做出平衡, 还需要进一步的深入研究.

参考文献

- 1 Johnson D, Perkins C, Arkko J. IETF RFC3775. Mobility Support in IPv6. June 2004.
- 2 Gundavelli S, Leung K, Devarapalli V, et al. IETF RFC 5213. Proxy Mobile IPv6. 2008.
- 3 周华春,张宏科,秦雅娟.一种代理移动 IPv6 认证协议.电子学报,2008,(10):1873-1880.
- 4 游红.移动 IPv6 中绑定更新认证协议设计及分析[学位论文].重庆:重庆大学,2006.

- 5 Yi MK, Choi JW, Yang YK. A comparative analysis on the signaling load of proxy mobile IPv6 and hierarchical mobile IPv6. ISWPC 2009. New Jersey: IEEE Press, 2009.1-5.
- 6 张一芳,张奇支.基于快速切换的代理移动 IPv6 路由优化方案.计算机应用,2012,32(2):335-339.
- 7 胡建中.移动 IPv6 中绑定更新注册的研究[学位论文].南京:南京理工大学,2008.
- 8 张仕斌,万武南,张金全.应用密码学.西安:西安电子科技大学出版社,2009.
- 9 曹昉,杜学绘,钱雁斌.基于 CGA 技术的移动 IPv6 绑定更新安全机制.计算机工程,2008,34(6):167-169.