

# 面向智能家居应用的 ZigBee-WiFi 网关<sup>①</sup>

岑荣滢, 姜 琴, 扈健玮, 孙梦莉

(青岛工学院 信息工程学院, 青岛 266300)

**摘 要:** ZigBee 和 WiFi 是智能家居设备常用的两种无线通信技术, 针对智能家居设备使用 ZigBee 自组网无法和用户 WiFi 网络中的智能终端直接通信的问题, 设计面向家庭应用环境的 ZigBee-WiFi 无线网关. 网关采用 S3C6410 作为控制核心, 运行 Linux 操作系统, 以 USB 连接无线网卡, 以 DMA 通道连接 CC2530 模块. 通过信道扫描切换的方案解决 ZigBee 和 WiFi 两种信号之间相互干扰的问题, 通过数据线连接的方式给要加入 ZigBee 网络的新设备分发密钥. 实验表明, 所实现的无线网关信号稳定, 丢包率低, 实用性强, 在智能家居系统中运行稳定、可靠.

**关键词:** ZigBee; WiFi; 无线网关; S3C6410; 智能家居

## ZigBee-WiFi Gateway for Smart Home Application

CEN Rong-Ying, JIANG Qin, HU Jian-Wei, SUN Meng-Li

(School of Information Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266300, China)

**Abstract:** In smart home applications, ZigBee and WiFi devices are two common wireless communication technologies. The problem is that the smart home devices in the ZigBee self-organizing networks can not directly communicate with the intelligent terminals in the WiFi networks. In order to solve this problem, a home-oriented application environment ZigBee-WiFi wireless gateway is designed. The gateway uses S3C6410 as the control core, runs on the Linux operating system, connects to a wireless network card with USB and connects CC2530 module with the DMA channel, which resolves the issue of mutual interference between ZigBee and WiFi signals by scanning and switching the transmission channels. Key is distributed to the new devices that join the ZigBee network by miniUSB connections. Experiments show that the wireless gateway has stable signal and less packet loss. It is stable and reliable in application of smart home system.

**Key words:** ZigBee; WiFi; wireless gateway; S3C6410; smart home

智能家居在近年的发展迅速, 使用家庭户数从 2002 年的 2 万户, 经过 2007 年的 45 万户, 直达 2010 年的 68 万户<sup>[1]</sup>. ZigBee 和 WiFi 无线通信技术在智能家居系统中得到普遍的应用, 并且在同一智能家居系统中往往同时使用这两种技术, 并通过异构网网关实现互联, 以实现不同网络中终端的信息交互.

网关是一种充当转换重任的计算机系统或设备, 是连接不同网络的软件和硬件的结合体. 在使用不同的通信协议、数据格式或语言甚至体系完全不同的两

种系统之间, 网关是一个翻译器; 通过重新封装数据信息以使得它们能被另一个系统读取, 以适应目的系统的需求<sup>[2]</sup>.

本文研究并设计了一种面向智能家居应用的 WiFi 与 ZigBee 网关, 实现异构网络中的终端在家居环境下的数据交互, 解决两种信号都工作在 2.4GHz 的 ISM 频段会产生的干扰问题, 并通过 miniUSB 连接的方式给新的需要连入 ZigBee 加密网络的智能节点设备导入安全密钥.

① 基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划(201513995007); 青岛工学院大学生科技创新项目(2015cx006)

通信作者: 姜琴. Email: ritajq@126.com

收稿时间: 2016-04-07; 收到修改稿时间: 2016-06-12 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005540]

1 ZigBee-WiFi网关总体设计结构

ZigBee-WiFi 异构网网关实现 WiFi 和 ZigBee 两种通信协议之间的转换,使得入网设备不仅可以和 WiFi 或 ZigBee 各自网络内的节点设备通信,而且能够使分别处在 WiFi 网络和 ZigBee 网络的节点设备实现相互通信<sup>[3]</sup>.

网关的主要部件包括:核心控制芯片, ZigBee 模块, WiFi 模块, 显示屏和 miniUSB 接口, 如图 1 所示.

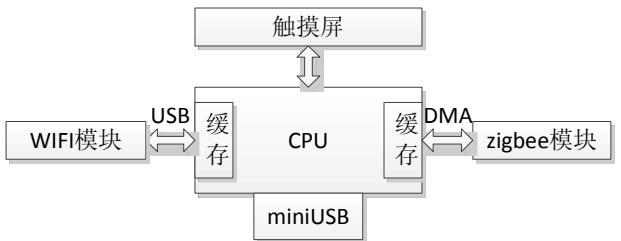


图 1 网关总体结构图

网关采用 S3C6410 为核心控制芯片, 运行 Linux 操作系统. 选择 S3C6410 的原因是它集成了 USB Host 控制器, 可以直接从 CPU 引线出来, 不需要添加额外的控制芯片, 所以它的 USB Host 接口可以直接连接 USB 无线网卡<sup>[4]</sup>. 同时, S3C6410 包含 4 个 DMA 控制器, 每个控制器由 8 个传输通道组成, 每个控制器提供 16 个外设 DMA 请求, 并且 DMA 控制器支持外部中断响应, 即每个通道可以支持从内存到外设, 从内存到内存, 从外设到内存, 从外设到外设 4 种模式的数据传输<sup>[5]</sup>.

ZigBee 模块采用 CC2530 模块, 通过 DMA 通道与主控芯片相连. 使用 DMA 通道可以保证以较高速率传输数据而不占用 CUP, 让 CPU 能够继续完成其他工作<sup>[6]</sup>, 能够让 CC2530 在传输数据给 S3C6410 时, CPU 能够继续执行 Z-Stack 协议栈的其他重要任务.

WiFi 模块采用 ralink3070 模块, 通过 USB 连接, 作为无线网卡使用. 使用 WiFi 模块, 先要安装无线网卡驱动, 步骤如下:

- (1) 修改内核源代码, 加入驱动配置信息, 重新编译内核;
- (2) 编译通过后会生成 rt3070sta.ko 驱动文件, 动态加载模块#insmod rt3070sta.ko, 插入网卡, 能够成功识别;
- (3) 安装 Wireless Tools 工具配置 WiFi, 主要通过 iwlist, iwpriv 和 iwconfig 命令来查看和设置 WiFi 信息.

WiFi 和 Zigbee 两种网络协议的数据包格式不同. CC2530 执行的 Z-Stack 协议栈能够处理 ZigBee 协议帧, Linux 系统能够形成 WiFi 协议帧. CC2530 协调器在 DMA 通道以数据透明传输的方式把 ZigBee 数据传入到网关, 在网关建立 socket 服务器, 将 ZigBee 协调器发来的数据传入连接的客户端, 将客户端发送来的数据传入 ZigBee 协调器. 无论开发者需要怎样的节点对应关系都不需要对网关程序重新编写, 而只要在 ZigBee 协调器和客户端软件上设置数据转发对应关系.

WiFi 和 ZigBee 互联存在传输速率不匹配的问题, 如表 1 所示, 由于 WiFi 的数据收发传输数量大于 ZigBee, 在网关内部 WiFi 端传入数据到 ZigBee 端需要设置中间缓冲区. 模块中设置数据中转的缓冲区为 512 字节. 同时控制 WiFi 端传入 ZigBee 端的每包数据在 80 字节以内, 发送间隔为 5ms, 用以防止 WiFi 端数据传输速率过快使得缓冲区溢出导致的数据丢失<sup>[7]</sup>.

表 1 ZigBee 与 WiFi 比较

	ZigBee	WiFi
频段	2.4GHz(国内)	2.4GHz
扩频方式	DSSS	DSSS
信道数	16 个(2.4GHZ 段)	11 个
传输速率	250Kbps(6.25ksimbol/s *4 bit/simbol)	802.11b:11Mbps, 802.11g:54Mbps
传输距离		10-100m
入网时间约	30ms	≥3s
单网络设备量	256-65536	32 个
安全机制	MAC 和 NWK, 分级安全控制, AES	WPA-PSK/WPA2-PSK, WPA/WPA2
功耗	极低	较高

2 ZigBee与WiFi信号干扰问题及解决方案

ZigBee 和 WiFi 除了传输速率不同, 还存在信号干扰的问题. 如表 1 所示, 两种无线方式都工作频段都在 2.4GHz, 扩频方式都为 DSSS, 两者有信道重叠, 会产生干扰. 国内 802.11 信道 1、6、11, 分别与 ZigBee 的 11-14、16-19、21-24 信道重叠, 与 15、20、25、26 信道不重叠<sup>[8]</sup>. ZigBee 与 WiFi 在 2.4GHz 段的信道分布, 如图 2 所示.

为了充分利用频带资源, 减少 ZigBee 信号和 WiFi 信号间的干扰, 通过监听扫描信道空闲程度, 动态控制 ZigBee 网络的通信信道, 寻找碰撞冲突概率低的信

道进行通信. 信道扫描选择的流程如图 3 所示.

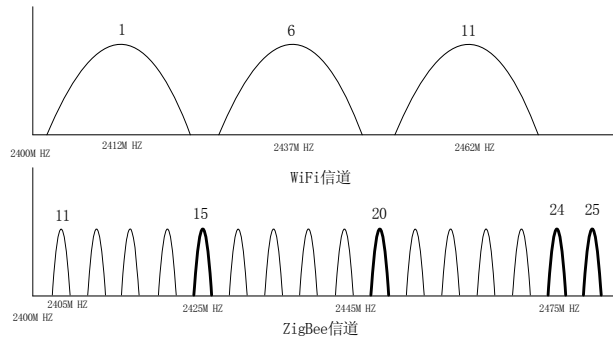


图 2 2.4GHz 段 ZigBee 与 WiFi 信道分布对比图

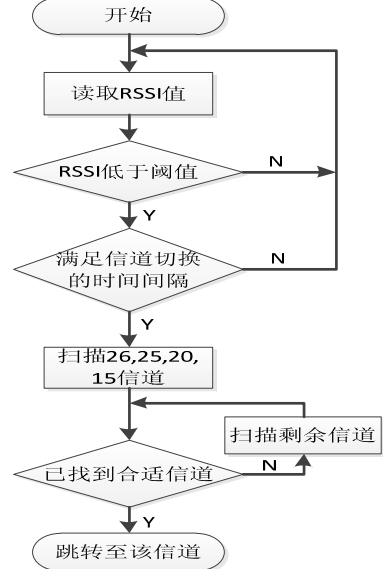


图 3 信道扫描选择流程图

通过读取 RSSI 判断信号接收质量, 当 RSSI 低于阈值, 开始扫描寻找干扰程度低的信道, 同时为了避免在各信道都繁忙时节点设备不停切换信道, 重新组网, 还要限制两次信道切换间的最小时间间隔. 优先扫描 ZigBee 与 WiFi 不重合的第 26、25、20、15 信道, 更容易避开 WiFi 信号的干扰, 同时考虑到其他 ZigBee 网络信号的干扰, 在这四个信道条件不满足的情况下, 仍然需要继续扫描其他信道.

为验证网关的信道选择功能实际效果, 在不受重叠干扰信道和受重叠干扰信道测试传输延迟和丢包率, 进行了 4 组对比实验. I 组为无干扰环境下, II 组为不使用信道扫描, 设置 ZigBee 信道与 WiFi 干扰源网络信道重叠, III 组为不使用信道扫描, 设置 ZigBee 信道与另一 ZigBee 干扰源网络信道重叠, IV 组为使用信道扫描自动切换方案, 设置多个信道 WiFi 干扰源和 ZigBee

干扰源.

表 2 传输性能对比

	数据包总数	丢包数	平均延迟	最大延迟
	数		[ms]	[ms]
I 组	100 000	189	3.21	397.38
II 组	100 000	1963	6.21	674.83
III 组	100 000	2471	8.46	874.83
IV 组	100 000	982	5.71	914.62

实验结果如表 2 所示, 实验结果表明, 网关在不使用信道扫描切换方案时, 受到其他 WiFi 信号和 ZigBee 信号干扰比较严重, 丢包数增多, 延迟增大, 在使用信道扫描切换时, 虽然切换信道期间的数据传输延迟会增大, 但是平均延迟和总体丢包率较无信道切换方案要低, 因而达到了设计的目标.

3 ZigBee-WiFi网关在家庭环境中的应用

家用 ZigBee 网络及设备有很强的私有性, 网络通信需要安全保护, 外来设备不经认证不允许接入, 家庭购置智能设备往往是逐渐购买, 连入网络的设备是逐个添加, 但是 ZigBee 使用对称加密的 AES 加密法, 这要求设备有相同的密钥(KEY)才能连入网络, 后加的设备无法得到当前网络通信的密钥(KEY), 不能正常入网通信, 这给使用 ZigBee 网络的智能设备进入家庭造成了困难<sup>[9]</sup>.

本文设计的网关以 miniUSB 连接的方式来给予新设备网络密钥. 智能家居设备和网关之间实现一次有线连接, 操作上并不困难. 当有新设备需要添加入网时, 通过 miniUSB 数据线连接到网关, 网关获取新设备的 MAC 地址, 记录到白名单, 注册设备类型, 同时将网络密钥传入新设备. 该节点获取了入网密钥就可以加入到当前 ZigBee 网络中<sup>[10]</sup>.

为了验证 WiFi-ZigBee 网关在家庭环境中应用的运行情况, 本网关在 ZigBee 智能家居系统中进行实验, 智能家居系统包括 ZigBee 家居设备网络, WiFi-ZigBee 网关, 智能手机和 PC 机, ZigBee 家居设备网络中包括安防传感器, 家居环境传感器和照明控制节点, 如图 4 所示.

智能手机和 PC 机与网关连入同一个 WiFi 路由器, 在智能手机和 PC 机上能够监测全部 ZigBee 节点设备的工作状态和采集的数据, 可以控制照明灯的开关.

在 ZigBee 网络中要添加一个新的照明灯节点, 先

将照明灯节点与网关连接, 注册设备 MAC 地址, 在上位机注册该 MAC 地址设备的种类为照明灯, 照明灯节点获取网络密钥, 自动连入网络, 通过智能手或 PC 机可以成功控制照明灯开关, 如图 5 所示。

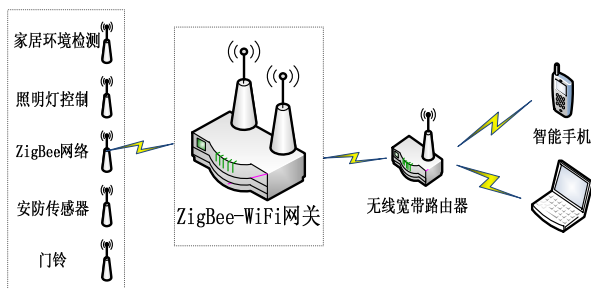


图 4 智能家居系统结构图



图 5 控制界面

#### 4 结语

传统 ZigBee 组网设备只能一次部署完, 不能授予系统外的 ZigBee 新设备通信密钥, 使得消费者不能逐步增加 ZigBee 智能家居设备. ZigBee 和 WiFi 共同工作在 2.4GHz 频段, 产生了相互间信号干扰的问题, 本文设计了一种面向家庭应用的 ZigBee-WiFi 无线网关, 以 S3C6410 为控制核心, 通过 CC2530 和 ralink3070 无线网卡连接 ZigBee 和 WiFi 网络, 通过 miniUSB 连接要加入 ZigBee 网络的新设备, 记录 MAC 地址, 并授予入网密钥, 使其接入原加密网络. 通过设置数据缓存和采用 DMA 通信方式实现网络速率匹配, 通过加入信道筛选, 频率捷变的控制方案, 使得 ZigBee 和

WiFi 在 2.4GHz 频段内尽可能避免干扰, 获取更高的网络传输性能. 经试验证明该网关能够实现 ZigBee 网络和 WiFi 网络中的设备的相互通信, 适合各种智能家居设备接入, 通信传输性能稳定优良. 使得人和智能家居设备的交互更加方便.

#### 参考文献

- 1 傅率智. 智能家居安全网络的一种新结构. 中国高新技术企业, 2016, 1(8): 9-10.
- 2 樊锐, 李茹, 王绩一. 蓝牙/ZigBee 无线网络传输系统的设计与实现. 计算机技术与发展, 2013, 23(1): 209-213.
- 3 仲伟波, 李忠梅, 石婕, 陈忠铭. 一种用于设施农业的 ZigBee-WiFi 网关研制. 计算机科学, 2014, 41(6A): 484-486.
- 4 刘玉宝, 霍春宝, 张扬. USB 无线网卡在嵌入式系统中的应用. 辽宁工业大学学报, 2008, 28(6): 364-366.
- 5 陈安地, 李小文. 基于 S3C6410 的 DMA 数据跟踪技术在 TD-LTE 中的实现. 电子技术应用, 2012, 38(5): 19-22.
- 6 Hessel S, Szczesny D, Bruns F, et al. Architectural analysis of a smart DMA controller for protocol stack acceleration in LTE terminals. The Sixteenth IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications. Macau, China. 2010. 309-315.
- 7 胥嘉佳, 许鸣. 基于网关的 ZigBee 和 WiFi 互通设计. 电子科技, 2014, 27(6): 22-25.
- 8 张毅, 吴锦, 罗元, 陈思璇. 新型 ZigBee-WiFi 无线网关的设计及其抗干扰技术的研究. 计算机应用与软件, 2014, 31(5): 122-124, 187.
- 9 曲金帅, 陈楠, 范菁, 徐野. 基于 Zigbee-WiFi 的异构无线传感网实时数据融合机制研究. 云南民族大学学报(自然科学版), 2014, 23(5): 365-368.
- 10 董哲, 宋红霞. ZigBee-WiFi 协同无线传感网络的节能技术. 计算机工程与设计, 2015, 36(1): 22-29.