



智能家居 RF 通信模块的设计与实现^{*}

曾 艳¹, 程文彬², 戴跃洪¹

(1. 电子科技大学机械电子工程学院 成都 611731;

2. 电子科技大学中山学院机电工程学院 中山 528400)

摘 要: 针对智能家居终端设备的极大差异带来的网络接口不统一问题, 设计了四线控制家电的 RF 通信模块, 其接口简单, 具有高兼容性。首先介绍了基于射频无线通信技术的智能家居系统, 设计并实现了一款采用 STM8S103F3 单片机和 CC1101 无线收发器的通信模块, 重点论述了通信模块的硬件及软件设计。用软件模拟 FIFO (first input first output, 先入先出队列) 缓冲区确保不丢失数据, 且发送数据前检查同频电磁波实现防冲突功能。测试表明, 该无线通信模块能够满足低成本、低功耗和远距离无线传输的要求。

关键词: 射频无线通信; STM8S103F3; CC1101; 通信协议

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.07.015

Design and Implementation of RF Communication Module in Intelligence Home

Zeng Yan¹, Cheng Wenbin², Dai Yuehong¹

(1. School of Mechatronics Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. School of Mechatronics Engineering, Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan 528400, China)

Abstract: In view of the problem that different kinds of intelligence home terminals bring the great difference of network interface, the RF communication module which controls appliances through four-wire was designed. The interface of module is concise and highly compatible. First of all, the architecture of intelligence home which based on RF wireless communication technology was described. A wireless communication module using STM8S103F3 microcontroller and CC1101 wireless transceiver was designed. In addition, the hardware and software design of the communication module was discussed. Simulated FIFO buffer is used to ensure no loss of data while anti-collision function is realized by checking the frequency of electromagnetic wave before sending data. Test results show that this module can meet the demand of low cost, low power consumption and long distance wireless transmission.

Key words: RF wireless communication, STM8S103F3, CC1101, communication protocol

1 引言

智能化控制已经在家电领域得到广泛应用, 家电、通信模块、控制器、客户端四者之间依次连接通信, 以实现客

户端对家电的智能控制。智能家庭网络可以分为 3 个部分: 外联网、网关和内部网。外联网可能是小型局域网、有线电视网络、GSM (global system for mobile communication, 全球移动通信系统) 网络、互联网等, 其中大部分使用相对

^{*} 广东省产学研结合项目 (No.2011B090400556)



成熟的通信技术;内部网是一个局域网,用于家用电器及多种设备的互连,大多采用 ZigBee、Z-Wave、射频通信、Wi-Fi 等无线网络技术。

参考文献[1]提出家庭内部网络使用 ZigBee 技术实现子模块和主控模块之间的通信,家庭外部网络通过 GSM 的短消息模块建立移动电话用户和 DSP (digital signal processing, 数字信号处理)控制模块之间的远程通信。参考文献[2]提出了基于 Wi-Fi 和 LTE(long term evolution, 长期演进)网络的智能家居方案。由于 TD-LTE (time division long term evolution, 时分长期演进)系统和无线网络在 2.4 GHz 信道相邻共存,需要采取 CSMA (carrier sense multiple access with collision detection, 载波侦听多路访问/碰撞检测)/CA 访问机制避免干扰。参考文献[3]采用 Internet 作为外部网络,家庭网络使用基于 Z-Wave 技术的无线个域网,由控制器、路由器节点和普通子节点组成。参考文献[4]提出通过蓝牙组建智能家居内部网络,通过以太网模块和 GSM 模块接入外部网络。参考文献[5~7]则选择 433 MHz 无线射频技术实现家庭内部网络。参考文献[8]设计了一套基于 STM32 单片机的智能家居控制系统,该系统结合了 Wi-Fi 无线通信、传感器、RF (radio frequency, 射频)、IR (infrared radiation, 红外线)等技术。用户使用上位机(手机或个人电脑)通过 Wi-Fi 访问 STM32 单片机,实现对家电、窗户窗帘、门禁信息等的本地和远程无线智能控制。控制系统根据各个控制模块的特点选用适用的通信控制方式。

目前各种无线传输技术均存在一定的问题^[9]:ZigBee 技术功耗低但技术不够成熟,并且无线收发器 CC2530(工作在 2.4 GHz)的价格是 CC1101(工作在 433 MHz)价格的 1.5 倍;Wi-Fi 功耗大,并且普通的控制芯片不能满足 Wi-Fi 高速的数据传输要求;ZigBee 和 Wi-Fi 均工作在 2.4 GHz 频段上,采用 CSMA/CA 访问机制避免干扰,增加了通信成本;蓝牙时延大、成本高。因此,本文采用射频无线通信技术^[10],具有功耗小、成本低、组网自由和传输距离远等特点。

2 基于 RF 通信的智能家居体系架构

基于 RF 通信的智能家居体系架构如图 1 所示,包括

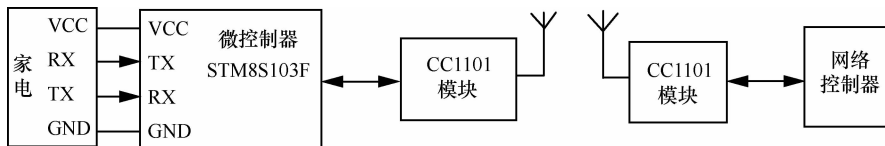


图 2 RF 通信模块框架

应用层、网络层以及终端控制层。应用层负责用户登录、安全认证、人机交互界面、数据管理和处理;网络层涉及数据传输、数据加密以及防冲突技术;终端控制层包含驱动模块和微控制器。本智能家居系统增加了防冲突硬件、防冲突层、数据合成和数据加密算法 4 个部分,加强了防冲突功能和数据安全性。

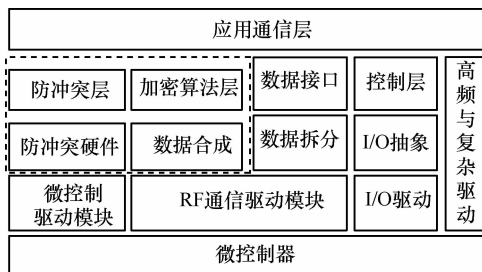


图 1 基于 RF 通信技术的智能家居架构

本系统的通信控制过程为:用户通过客户端(电脑、Pad、手机等)输入操作命令,网络端控制器接收用户命令数据,处理后通过 RF 通信模块发往家庭终端(受控制的节点),家庭终端根据规定协议解析数据,执行相应操作并返回家电状态数据。

3 RF 通信模块的硬件设计

3.1 通信模块的硬件设计

该 RF 通信模块的框架如图 2 所示。家庭终端主要由微控制器 STM8S103F 和无线收发模块组成,无线收发模块由 RF 无线射频芯片 CC1101 和天线组成;网络控制端由高性能控制器和无线收发模块组成。

STM8S103F3 是高性能的 8 bit 通用控制器,具有抗干扰能力强、可靠性高、成本低、性价比高等特点^[11];具有 8 KB 的 flash 程序存储器,610 byte 真正的数据存储器 EEPROM 和 1 KB 的 RAM(random access memor),满足存储家电信息数据的需求;具有强大的 I/O 功能,硬件接口丰富,满足监控家电状态的需求;该控制器比 51 单片机的价格更低、性能更稳定、运算速度更快。CC1101 是一种低成本真正单片的 UHF 收发器,为低功耗无线应用而设计^[12]。CC1101 具有可编程控制的数据传输率,可达 500 kbit/s;可编程控制

的输出功率,对所有支持频率可达+10 dBm,具有低电压供电、低功耗、收发距离远、穿透能力强等优点,满足系统成本低、开发难度小的要求。

目前通信模块与家电之间的连接端口众多,电平往往难以兼容,极大地限制了家电与通信模块的匹配标准化进程。本文 RF 通信模块与家电之间采用简洁的四线制通信方式,可兼容 5 V 和 3.3 V 电平,有利于智能家居 RF 通信模块在本技术领域的标准化。

3.2 通信模块的通信及控制

家庭终端 STM8S103F 微控制器主要执行两个任务:通过 SPI 口控制 CC1101 无线收发信息、四线制查询或控制家电状态。工作流程为:上电初始化设置 T_0 定时器和开启外部中断 0;周期性采集家电状态信息,通过与存储信息比较,若发现家电工作状态出现异常或改变,则将数据封装成固定格式帧,通过 CC1101 发射数据,上报网络层;当网络层有命令向家电端发送时,CC1101 接收完数据后,产生脉冲信号触发 MCU 外部中断 0,微控制器读取数据,解分组后根据命令对家电进行相应控制,并且回发状态信息。本系统 RF 通信工作在 433 MHz 频段,无需授权许可。

网络端控制器主要负责家庭终端与服务器端的数据传输以及数据处理。

4 通信模块的软件设计

4.1 通信设计流程

RF 通信模块的设计与实现过程主要包括:首先研究 RF 防冲突与高安全的标准、设计 RF 通信模块的数据结构,其次根据 RF 的方法论设计 RF 模块的流集合,然后根据规范设计实现 RF 通信模块高频驱动层和 RF 通信模块数据接口层,最后根据硬件 RF 特性,实现整个 RF 防冲突高安全模块。图 3 描述了 RF 防冲突高安全通信模块的设计与实现过程。为了保证该模块的可靠性和复用性,在实现完成之后需要进行测试和分析,以便检查和改正整个设计实现过程中出现的错误。

4.2 通信实现过程

(1) RF 通信模块的实现

RF 通信模块的基本功能主要包括数据的发送和接收^[13]。如图 4 所示,在发送数据时,接口层负责将上层要发送的数据组装成符合 RF 规范格式的 RF 协议层数据单元,调用 RF_Transmit()将此数据帧交给驱动层,再由驱动层调用 RF_DriveWrite()启动控制器的传输请求。将数据放

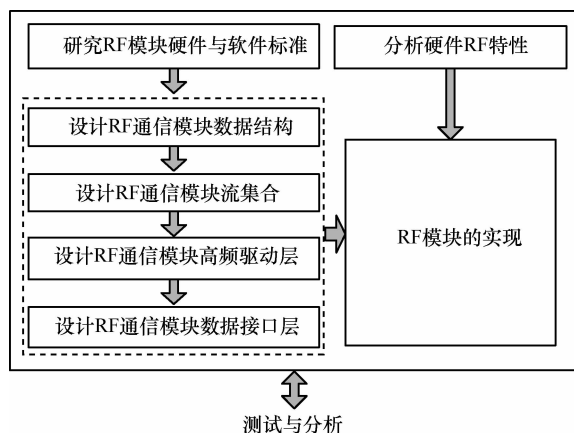


图 3 RF 通信模块的设计流程

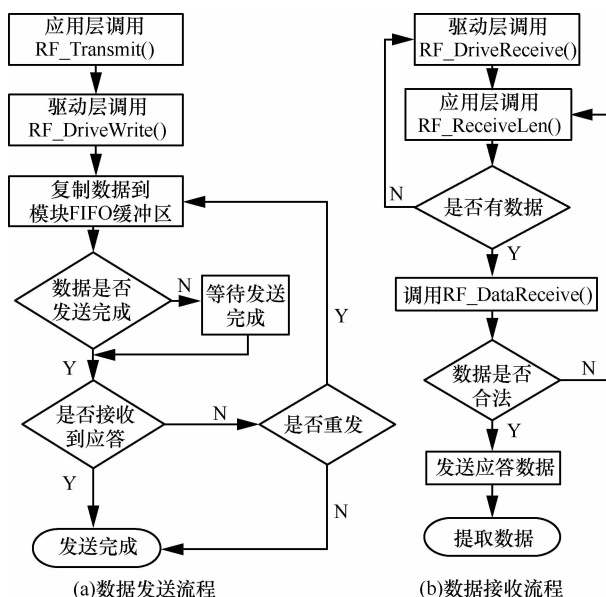


图 4 发送和接收数据流程

入模块 FIFO 缓冲区,等待硬件空闲时再将其发送出去。发送成功后,会向上层模块以回调函数的形式发送一个成功确认,当发送方收到这个确认后表明一次发送动作已经成功。

在接收时,首先由驱动层调用 RF_DriveReceive(),以中断的方式告知应用层;然后调用 RF_ReceiveLen()获取数据长度,判断是否有数据;再调用 RF_DataReceive()读取数据,对数据的合法性进行检查,等待发送应答数据的到达,提取有用的数据。在接收过程中如果发现错误,便会调用相应的处理函数,并停止向上层告知数据的到达。

(2) STM8S103F 的实现

由于 STM8S103F 的串口不具有硬件缓冲区,当接收



FIFO 寄存器溢出后,新数据可能无法存入接收 FIFO。针对这个问题,本系统采用模块 FIFO 缓冲区,即用软件模拟 FIFO 缓冲区的设计方式^[14]。STM8S103F 具有 1 KB 的 RAM (random access memory, 随机存取存储器),可以预先设置两个缓冲区 Buf_TX 和 Buf_RX,用于存储待发送数据和接收数据。通过修改每个缓冲区的读、写指针,改变缓冲区的使用位置。

(3) RF 防冲突高安全模块的实现

目前 RF 模块发送数据前,不检测空间是否存在相同频率的电磁波。在已有电磁波的情况下,向空间发送同频电磁波,将会对已存在的同频电磁场产生干扰,同时不能保证自身的数据能够被目标 RF 设备完整地接收。通过检测空间是否存在同频电磁波,做出即时发送数据或者时延发送数据的决定,有效地达到防冲突的目的。

防冲突的实现过程是:首先确定是否需要发送数据;若需要发送,则检查是否有同频电磁波;若有,等待时延时间到达,再检查同频电磁波;直到无同频率的电磁波,才发送数据;收到目标 RF 模块应答后才表明发送完成;发送完成后,等待下一个数据发送^[15]。防冲突流程如图 5 所示。

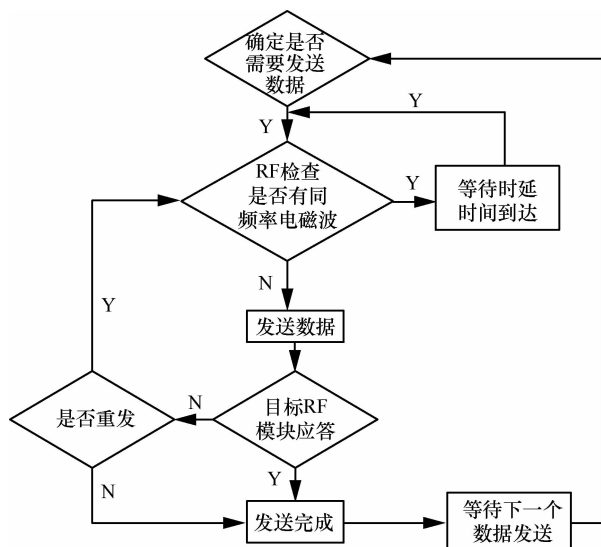


图 5 防冲突流程

在安全方面,采用新的双滚码加密算法,每次的数据传送都有双滚码双加密的数据成分,在通信安全方面得到了进一步的升级^[16-18]。

5 数据通信协议

考虑到家庭网络中的数据传输量很小,不需要很宽的

传输带宽。因此家庭网络采用特殊的低速传输协议,低速传输协议数据的完整性强,系统更稳定,成本也更低。RF 通信是通过辐射到空间的高频电磁波传播信息,受空间干扰较大。因此设计 RF 通信协议时,需要考虑数据校验,提高通信性能,减少伪数据和噪声的干扰^[19]。本文中,RF 通信采用固定的数据分组格式,帧数据主要包含地址信息、控制信息和数据信息,如图 6 所示。

目的地址	源地址	家庭编号	帧编号	帧类型	数据字段
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	8 byte

图 6 存储在 TX FIFO 中的数据分组格式

- 地址信息:目的地址和源地址用于区分终端和控制端;家庭编号用于确保家庭设备地址的唯一性。
- 控制信息:帧编号用于控制通信流程,记录发送帧和应答帧;帧类型记录控制端对终端的查询和控制操作信息以及终端对控制端的入网申请、报警、确认操作等信息。
- 数据信息:记录家电的状态信息。

CC1101 内置硬件支持数据分组传输协议,可以自动为存储在 TX FIFO 的有效数据载荷添加前导字节、同步字节以及可选的用 PN9 序列写入数据、前向误差编码和插入数据、CRC。最后传输的数据帧格式如图 7 所示。

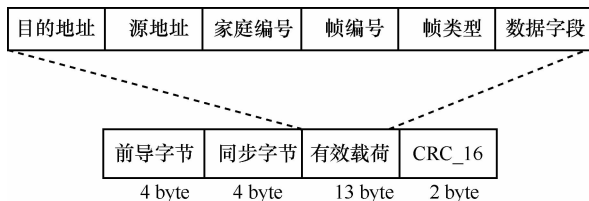


图 7 RF 数据帧格式

在发送模式下,调制器最先传送可控字节的前导字节(010101 序列,推荐 4 byte),前导字节传送完毕后传送 4 byte(或 2 byte)的同步字节,然后传送 TX FIFO 中的有效载荷,最后计算所有 TX FIFO 中数据的检验和,发送 2 byte 的 CRC。

6 实验测试

实验测试:发射功率为 -10 dB 以下时,穿透能力较差,信号强度弱,不能满足家庭多房间通信的要求;发射功率高达 10 dB 时,传输距离达 40 m 以上,考虑到家庭使用环境,功率过大会造成干扰,所以 -5~5 dB 的发射功

率最为合适。当发射功率为 0 dB 时,电流消耗为 16.1 mA,传输距离为 15 m 左右,可穿透室内墙壁(楼层间为钢筋混凝土材料,对无线传输干扰较大,有利于防止邻居间设备频率干扰)。当数据传输率为 250 kbit/s 时,接收器灵敏度为 -88 dB,数据分组误码率为 1%,满足系统要求。

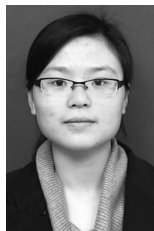
7 结束语

智能家居终端设备的极大差异,造成内部网络形式多种多样,存在网络接口不统一的问题。本文首先介绍了基于 RF 通信的智能家居体系架构,其次针对接口不统一问题设计了四线控制家电的 RF 通信模块,该模块接口简单,具有高兼容性。通过自定义的 RF 通信协议,实现了家庭内部射频通信。最后,实验测试证明该模块可以实现收集家电信息、协议封装、数据收发、控制家电状态的功能。

参考文献

- Gao M M, Shao L S. The design of wireless intelligence home system based on ZigBee. Proceedings of the 3rd International Conference on Computer and Electrical Engineering, Chengdu, China, 2012
- Song Y, Han B J, Zhang X. Modeling and simulation of intelligence home scenarios based on internet of things. Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, Beijing, China, 2012
- 刘晗. 基于 Z-Wave 技术的智能家居系统设计. 复旦大学硕士学位论文, 2012
- 徐景. 智能家居无线嵌入式网关硬件平台的设计与实现. 华中科技大学博士学位论文, 2008
- 刘杰, 章韵, 陈建新. 利用 433 MHz 射频通信技术实现智能家居系统. 计算机应用, 2012, 32(S2): 68~72
- 涂亮. 基于 433 无线收发模块的物联网智能家居系统设计. 电视技术, 2012, 36 (6): 44~46
- 温细金, 汪波, 黄佩伟. 智能家居网络中基于 RF 的信息采集系统设计. 电视技术, 2008, 48(2): 92~96
- 韩晓英, 张方樱, 朱静. 基于 STM32 单片机的智能家居控制系统设计与实现. 硅谷, 2013(132): 14~15
- Zheng Y H. An analysis on wireless communications technology in intelligent home. Proceedings of 2011 International Conference on E-Business and E-Government, Shanghai, China, 2011: 1~4, 6~8
- 黄鹏, 杨云志, 李元忠. 物联网推动 RFID 技术和通信网络的发展. 电讯技术, 2010, 50(3): 85~89
- ST. STM8S103F3. <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1244/SS1010/LN754/PF215113>
- TI. CC1101 low-Power sub-1 GHz RF transceiver. <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/CC1101.pdf>
- 乐升华. 智能护理机器人近距离无线监控系统设计. 电视技术, 2013, 37(21): 63~66
- 魏永清, 万宝年. 具有软件模拟 FIFO 缓冲区的串口通信模块设计. 嵌入式软件应用, 2006, 22(7): 64~66
- REN P. A wireless self-organizing and multi-hop network for intelligent home system. Proceedings of the 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, Chengdu, China, 2010: 1~4
- 钱萍, 吴蒙. 一种基于 Hash 函数的 RFID 安全认证方法. 电信科学, 2011, 27(10): 109~112
- 魏丽丽, 董庆宽, 丁文秀. 一种基于公钥的低成本 RFID 双向认证协议. 电信科学, 2013, 29(10): 65~71
- 肖锋, 周亚建, 周景贤. 标准模型下可证明安全的 RFID 双向认证协议. 通信学报, 2013, 34(4): 82~87
- 刘余, 孟小华. 嵌入式智能家居终端通信模块的设计与实现. 计算机工程与设计, 2010, 31(8): 1689~1692

[作者简介]



曾艳,女,电子科技大学硕士生,主要研究方向为物联网智能家居。



程文彬,男,电子科技大学中山学院副教授,主要研究方向为计算机应用及物联网工程。



戴跃洪,男,博士,电子科技大学教授,主要研究方向为制造业信息化工程等。

(收稿日期:2014-05-21)