

基于 ZigBee 无线传感器网络的智能家居系统^①

苏李果¹, 朱 燕²

¹(闽西职业技术学院 电气工程系, 龙岩 364021)

²(娄底职业技术学院 电子信息工程系, 娄底 417000)

摘 要: 随着电子、计算机和通信技术的发展以及人们生活水平的提高, 人们对每日息息相关的家居功能有了更高的期望. 为了改进现有大多数现场总线式系统布线和维护难的局面, 提出了一种基于 ZigBee 无线传感器网络的智能家居系统实现方案. 该系统包括 ZigBee 无线传感器网络、智能家居网关和移动手机终端三个部分, 可以通过智能家居网关直观地掌握所有节点上各种传感器的工作状态, 集中对各种电器进行控制, 并可通过移动手机终端实现远程控制. 经测试该系统运行良好, 达到了预期的设计目标.

关键词: ZigBee; 无线传感器网络; 智能家居; 协调器节点; 终端节点

Smart Home System Based on ZigBee Wireless Sensor Network

SU Li-Guo¹, ZHU Yan²

¹(Electrical Engineering Department of Minxi Vocational and Technical College, Longyan 364021, China)

²(Telecom Department, Loudi Vocational and Technical College, Loudi 417000, China)

Abstract: With the rapid development of electronic, computer and communication technology and the improvement of people's living standard, people have higher expectations for the home furnishing function. To improve the difficult situation of wiring and maintenance in the most fieldbus system, this paper provides a smart home system solution based on ZigBee Wireless Sensor network. This System includes ZigBee Wireless Sensor network, smart home system gateway and mobile phone end device. Users can master the working state of all the sensors in the nodes intuitively, and they can centralize control the Electrical appliances. And the remote control mode can be realized through a mobile terminal, too. After the test, this system works well and reaches the desired design goal.

Key words: ZigBee; wireless sensor network; smart home; coordinator node; end device node

21 世纪是信息化的时代, 随着电子、计算机和通信技术的发展以及人们生活水平的提高, 人们对每日息息相关的家居功能有了更高的期望. 不仅要求住宅能满足一般的居住需求, 还越来越多地注重家庭生活中每个成员的安全、舒适与便利程度. 这样的需求促进了智能家居产品诞生, 它的基础平台是住宅, 集合了建筑布线、互联通信、家居安防、系统自控及音视频技术, 创建了一个高效的日常生活事务的管理系统, 有效地提升了家庭生活的安全、方便和舒适性, 并满足人们对于环保的需求. 自 20 世纪末智能家居的理念引入到国内, 经过了十多年的发展, 我国的智能家居

的发展进入了融合演变期, 呈现快速增长的势头. 但目前大多数系统还是采用现场总线式的连接方式, 给布线安装和维护方面带来了不便^[1]. 基于上述原因, 本文提出了一种基于 ZigBee 无线传感器网络的智能家居系统实现方案.

1 系统架构与工作原理

本系统主要由三部分构成: ZigBee 无线传感器网络、智能家居网关和移动手机终端.

ZigBee 无线传感器网络由多个终端节点和一个协调器组成, 每个终端节点根据实际的监测需求连接多

① 基金项目: 湖南省教育厅科学研究青年项目(12B106)

收稿时间: 2014-11-19; 收到修改稿时间: 2014-12-29

种传感器或受控设备——如温度、湿度、有毒气体、光敏、窗帘电机、红外遥控转发器等。它将采集到的传感器数据汇聚至协调器，并接收协调器发来的命令。协调器通过 UART 串口连接智能家居网关，负责与上位机控制软件进行交互。

智能家居网关是整个系统的控制核心，它是内部 ZigBee 无线传感器网络与外部互联网连接的中转站。它具备可视化的界面，在其上可对各终端节点的实时状态进行监控。对内可通过 ZigBee 协调器转发各种查询和控制命令，对外可提供 TCP/IP Socket 连接 Server 服务，供移动手机终端连接，实现无线远程监控^[2]。

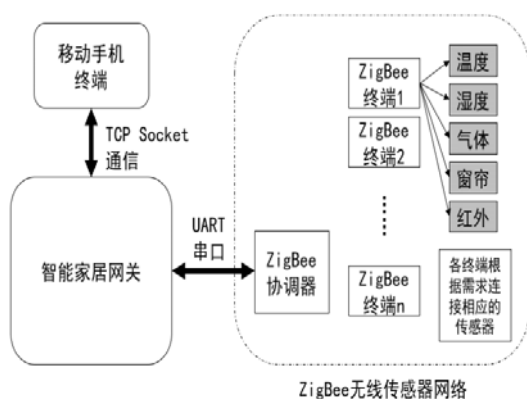


图 1 系统构成

2 系统硬件设计

本系统中智能家居网关采用 PC 机作为运行环境，因此主要对 ZigBee 无线传感器网络的硬件进行了设计。系统选用了美国 TI 公司的 CC2530 作为无线通信的主控芯片，CC2530 内部包含一个 8051 内核 MCU，拥有 ADC、UART 等丰富的外设资源，同时还集成了高性能的射频收发器，是一个典型的 SOC 片上系统。它功耗极低，数据传输响应时间短，可满足本系统的设计需求。

2.1 终端节点硬件设计

终端节点需要完成传感器数据的采集，定时发送至协调器，并接受协调器发来的控制命令。因此终端节点的硬件设计主要包括数据采集与控制模块、数据处理与无线通信模块和电源模块的设计。

(1) 数据采集与控制模块

该模块根据终端节点的需求选择各种不同的传感器或控制装置，由于 CC2530 内部带 A/D 转换的外设功能，因此对于输出为模拟量的传感器可以直连该芯

片。对于窗帘控制节点，其上需连接光照强度检测传感器和控制电机的继电器。前者选择光敏电阻，采用分压电路的接法，利用光照强度不同时其阻值改变导致两端电压值改变的特性，可实现光照等级的采集，用于窗帘自动开闭的控制。继电器的选择应考虑其驱动电压，由于 CC2530 的供电电源典型值为 3.3V，因此选择输入兼容 3.3V 的继电器。

温湿度采集节点选择奥松电子的 AM2301 数字温湿度传感器，它内部包含一个电容式感湿元件和一个 NTC 测温元件，并与一个高性能 8 位单片机相连，采用单总线接口，硬件电路上直连 CC2530 的 P0.7 端口，可直接读出温湿度数据。

有毒气体检测节点选择 MQ-2 气体传感器，它的电导率随着空气中可燃气体浓度的增加而增大，其输出的模拟电压值也随之变化。本系统中将它的输出连接 LM393 电压比较器，通过电位器改变比较参考电压值可进行气体报警灵敏度的调节。

(2) 数据处理与无线通信模块

本系统数据处理和无线通信功能分别使用 CC2530 内部的 8051 内核和射频收发器，CC2530 为 SOC 片上系统，具有很高的集成度，所以其周边只需连接晶振和少量负载电容即可。该模块连接了 XTAL1 和 XTAL2 两个晶振，分别为 32MHz 和 32.768KHz。无线通信方面主要设计了天线电路，CC2530 的射频输出为差分信号，为了与天线的单端输出相连，两者之间利用电感和电容设计了巴伦电路^[3]。在天线的选择上，经过综合对比各种天线的性能，选用 SMA 连接端子的鞭状天线。数据处理和无线通信模块的电路原理图如图 2 所示。

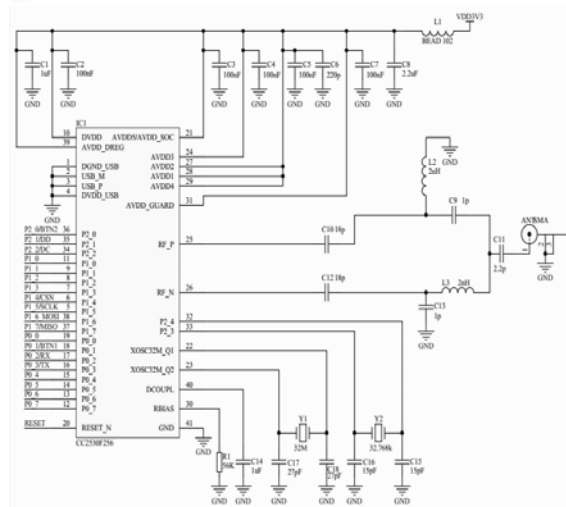


图 2 数据处理与无线通信模块电路原理图

(3) 电源模块

本系统主要应用于家庭内部,各个终端节点均能得到较为稳定的供电,因此在供电方面选择电源供电.使用 5V 直流电压输入,选用 AMS1117-3.3 DC/DC 稳压芯片完成 5V 转 3.3V,为系统各个模块供电.

2.2 协调器节点硬件设计

协调器节点与智能家居网关连接, 它把从各终端节点汇聚的传感器数据转发到网关, 同时向各终端节点分发网关下达的控制命令. 协调器节点上无需连接传感器, 它在数据处理与无线通信模块和电源模块的硬件电路设计上与终端节点相同. 由于协调器与智能家居网关之间的连接端口为 UART 串口, 而且两者串口数据的电平标准不同——协调器上为 RS232 TTL 电平标准, PC 端为 USB 接口标准, 因此系统选用 PL2303 芯片设计了 USB 与 RS232 TTL 电平互相转换的电路. PL2303 芯片内置 USB 功能控制器、USB 收发器、振荡器和带有全部调制解调器控制信号的 UART, 具有较高的集成度, 在其周边只需连接 12MHz 晶振与两只电容即可构建最小系统. 协调器节点的 USB 转 RS232 接口的电路原理图如图 3 所示.

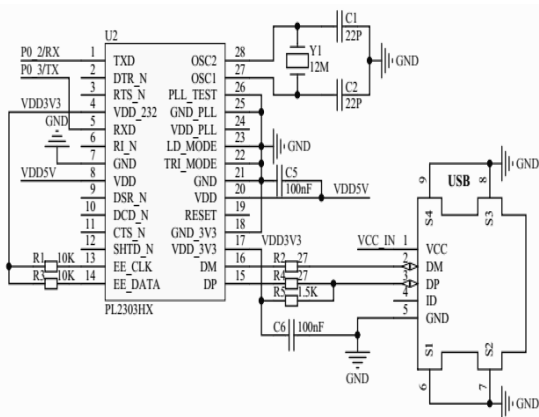


图 3 协调器节点的 USB 转 RS232 电路原理图

3 系统软件设计

系统软件设计包括 ZigBee 无线传感器网络中各个节点的程序设计、智能家居网关的监控软件的设计和移动手机终端软件的设计。

3.1 数据通信协议

由于 ZigBee 网络通信涉及查询和控制命令, 需要传输多种不同的传感器数据, 因此需要先对数据通信的协议进行设计. 数据以字节为单位, 系统规定了协调器节点的查询和控制命令的数据帧格式, 并对终端

节点的响应帧格式进行了定义,如表 1 所示.其中“地址”为 2 个字节的短地址,“功能码”在 Modbus 协议的基础上针对实际应用进行扩展,“数据段”根据命令功能的不同和传感器数据位数的需求进行调整,“校验码”为前述内容的异或值.

表 1 ZigBee 通信数据帧格式

格式组成	开始符	地址	功能码	数据段	校验码	结束符
字节数	1 Byte	2 Byte	1 Byte	0-N Byte	1 Byte	1 Byte
缩写	ST	ADDR	FC	DA	XOR	ED

“功能码”的详细定义如表 2 所示, 查询命令所对应的“数据段”长度为 0, 控制命令所对应的“数据段”长度为 1。

表 2 功能码描述

功能码 FC	描述	数据长度
01	查询所有终端节点的传感器数据	0
02	查询单个终端节点的传感器数据	0
0A	控制终端节点灯的亮灭	1 Byte
0B	控制终端节点窗帘开合	1 Byte
0C	外出模式, 关闭所有设备	1 Byte

3.2 终端节点程序设计

终端节点的程序设计开发环境为 IAR, 基于 TI 公司的 Z-Stack 2007pro 协议栈进行开发.

终端节点在启动后先搜索协调器建立的网络并加入,在传感器数据采集与上报的机制方面,设计了两种模式,一是定时采集自动上报;二是只有接收到协调器发来的查询命令,才唤醒节点采集并上报。为了降低功耗,系统设计以上两种形式当终端节点没有采集传感器数据时,进入休眠状态^[4]。具体的程序工作流程如图4所示。

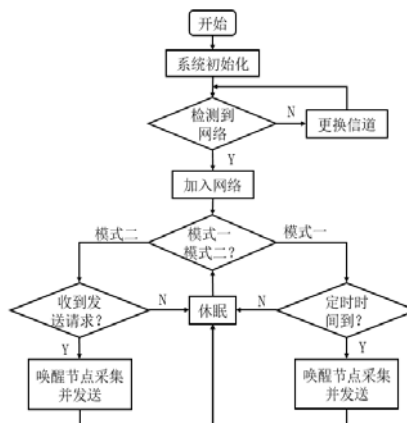


图4 终端节点程序流程图

3.3 协调器节点程序设计

协调器在上电初始化后建立 ZigBee 网络, 收到终端节点的加入请求后, 允许其加入, 然后监听 OSAL 中串口接收事件或无线接收数据事件是否发生. 若收到智能家居网关通过串口发来的查询或控制命令, 则将其广播出去或单播给目标终端, 等待终端发回响应数据并通过串口发给网关, 然后再次进入监听状态. 若收到终端节点定时发来的传感器数据, 则直接通过串口发给网关, 最终也是再次进入监听状态. 具体的程序工作流程如图 5 所示.

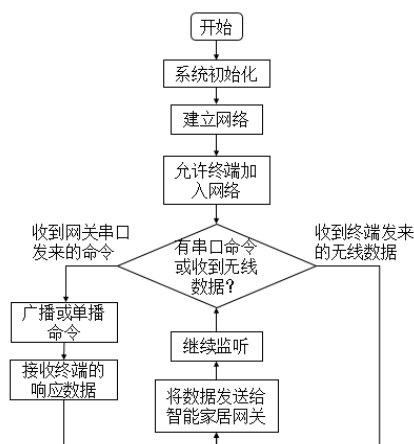


图 5 协调器节点程序流程图

3.4 智能家居网关软件设计

本系统中智能家居网关以 PC 机 Windows 操作系统作为运行环境, 使用 C++ 语言, 在 Visual Studio 2005 和数据库开发环境下, 设计了监控管理软件. 智

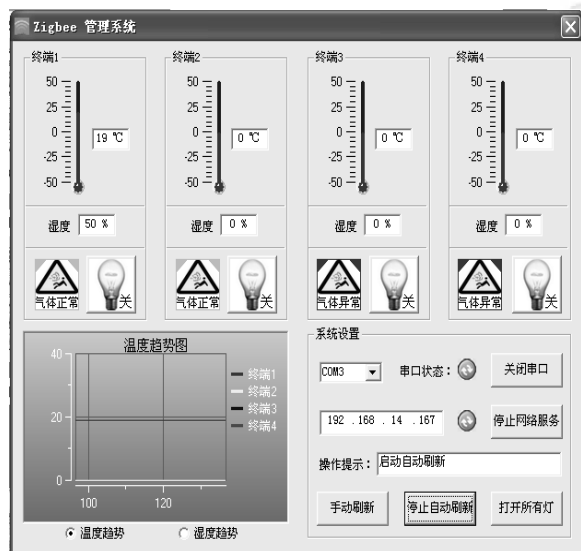


图 6 智能家居网关监控管理软件界面

能家居网关和 ZigBee 协调器节点之间采用 UART 串口连接, 使用 MSComm 控件实现了两者之间的串口通信^[5]. 软件使用可视化控件直观地展示了终端节点上各种传感器的工作状态, 记录了温湿度变化曲线. 同时为了扩展系统的远程控制的功能, 使用 VC++ 中的 Socket 编程实现了 TCP 服务器端, 提供给远程移动手机终端连接. 通过该监控管理软件, 用户可直观地掌握所有传感器节点的工作情况, 并可集中对各种电器进行控制. 该监控管理软件的界面如图 6 所示.

3.5 移动手机终端软件设计

移动手机终端选择 Android 系统作为运行平台. 终端软件的设计主要包括 3 个方面的内容: 一是与智能家居网关之间基于 TCP/IP 协议的 socket 通信; 二是各种传感器实时信息的更新与控制命令的传送; 三是人机界面的设计.

Socket 通信模块的程序设计使用了 Android 系统的进程间通信的机制, 并加入了 Service、Broadcast Receiver 和 Activity 组件实现相关功能, 该模块的程序架构如图 7 所示.

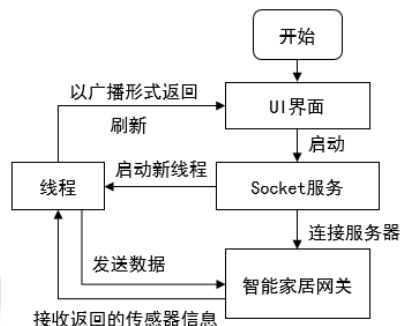


图 7 移动手机终端 socket 通信模块程序架构

从上图中可以看到, 用户在 UI 界面中启动连接 socket 服务的请求, 然后连入智能家居网关的 socket 服务器. 连接建立以后, 启动一个新线程, 用于发送控制命令以及接收返回的传感器实时信息. 同时该进程将传感器实时信息以广播的形式发给 UI 界面的 Receiver 进行刷新显示.

人机界面的设计主要包括 socket 服务器连接界面和主功能界面的设计. 主功能界面实现 ZigBee 各终端节点的传感器信息的实时显示, 如: 温度、湿度、可燃气体泄漏和光照度等, 同时设计了针对家中电器控制的功能模块, 如: 照明灯、风扇等, 情景模式页面设计了离家模式和在家模式, 可根据需要统一对各种传感

器和电器进行控制. 设计好的人机界面如图 8 所示.



图 8 移动手机终端人机界面

4 系统的连接实现与测评

系统设计完成后, 为了验证方案的可行性, 对其进行了连接实现与测评. 取五个节点, 其中一个为协调器, 通过 UART 串口连接智能家居网关, 其余四个为终端, 分别连接温度、湿度、可燃气体检测等传感器和照明灯等家用电器.

系统测试主要包括组网的速度与稳定性、传感器数据采集的准确性、数据传输的响应速度以及各个情境模式的工作情况. 经过测试, 所有节点上电后, 协调器组建 ZigBee 网络, 所有终端可正常入网, 整个过程在 3 秒完成并稳定长时间工作. 各终端节点的传感器数据采集准确, 温湿度传感器的误差控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,

可燃气体检测传感器不存在误报现象. 当终端节点采集到的传感器数据发生变化时, 智能家居网关与移动手机终端上可以接近实时地刷新显示, 响应速度较高, 可以达到设计的要求. 在“离家模式”下, 断开所有电器的电源和关闭窗帘, 并保持光照、温湿度和可燃气体检测传感器的运行, 以提供报警功能; “在家模式”下, 关闭光照检测传感器, 由人工控制窗帘的开闭, 同时打开电器的电源便于控制.

综上所述, 该系统中智能家居网关监控管理软件工作正常, 可以实时显示 ZigBee 网络中各节点的状态, 可集中对照明灯等设备进行控制, 并可提供移动手机终端连接实现远程控制, 达到了设计目标. 该系统发挥了 ZigBee 无线传感器网络组网简单、自组织性强、适合小数据远程传输的特点, 可适应智能家居系统的工作环境, 具有很强的实用性.

参考文献

- 1 黄文凤. 智慧家庭中的智能家居产业发展现状及趋势. 集成电路应用, 2013(10):16-18.
- 2 方志忠. 基于 ZigBee 的智能家居系统的设计与实现. 电子制作, 2014(10):33-34.
- 3 南忠良, 孙国新. 基于 ZigBee 技术的智能家居系统设计. 电子设计工程, 2010(7):117-119.
- 4 王小强, 欧阳骏, 黄宁淋. ZigBee 无线传感器网络设计与实现. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- 5 李景峰, 杨丽娜, 潘恒. Visual C++ 串口通信技术详解. 北京: 机械工业出版社, 2010.