

面向物联网的室内 ZigBee 监控系统设计

杨峰, 朱凯, 徐昕军, 杜翠, 梁胤程

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 设计一种基于 ZigBee 的室内监控系统, 该系统采用低功耗无线收发芯片 CC2530 及传感器构建室内局域网, 包含物联网的感知层、网络层及应用层三层结构, 传输协议选用 ZigBee; 感知层包括温湿度、光敏、摄像头图片数据采集; 网络层主要是 ZigBee 无线网络, 数据汇聚至网关; 应用层包括手机、PC 机等; 网络拓扑结构采用星形网络结构; 给出软硬件实现方法, 主要有节点设计、网络组建及软件设计等; 实验在长 6m 宽 3m 的室内进行, 测试正常室温, 温度传感器附近放置低于室温 10℃ 和高于室温 10℃ 物体改变环境温度; 光敏传感器测试采用日照强度, 遮挡及部分遮挡传感器改变光照强度; 人员在摄像区域内外移动测试摄像清晰度及监控范围; 测试结果表明系统工作正常, PC 机终端软件显示各传感器随环境变化相应变化值。

关键词: 室内监控; ZigBee 技术; CC2530 芯片; 无线网络

Design of Interior Monitoring System Based on ZigBee Internet of Things-oriented

Yang Feng, Zhu Kai, Xu Xinjun, Du Cui, Liang Yincheng

(School of Mechanical Electronic & Information Engineering, China University of Mining
& Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper designs an interior monitoring system based on ZigBee. The system adopts CC2530 wireless receives & sends chip and sensor to construct interior local area network including perception layer, network layer and application layer. Transfer protocol adopts ZigBee. Perception layer includes temperature, humidity, and light, camera data collecting. Network layer includes ZigBee wireless network and data is converged to gateway. Network topology is star network. The realization of hardware and software is presented, including terminal node design, network construction and software realization, etc. Experiments were accomplished in the indoor with 6 m length and 3 m width. Temperature sensors were tested by changing circumstance temperature reaches 10 degrees below or above the room temperature. Optic sensors were tested by changing sunlight intensity. The definition and range of cameras were tested when people entered or left the exam area. Tests indicate the system can stably run and PC can display sensor variation with the circumstances.

Key words: interior monitoring; ZigBee technology; CC2530 chip; wireless network

0 引言

物联网在中国迅速普及过程中, 室内监控是其最贴近民生的重点应用之一, 是未来家居的发展方向。邬贺铨院士曾提到欧盟关于物联网发展的观点, 即其发展开始于智能家居。室内监控系统的实现集成计算机技术、无线通信技术、网络技术等, 无线通信技术克服传统家居系统布线复杂的困难。随着云计算技术的不断发展, 室内监控可以结合云计算技术, 给人们带来智能化的生活体验^[1-3]。

1 ZigBee 技术特点

ZigBee 技术的显著特点有低功耗、高可靠性、短时延、网络容量大且有自愈能力, 支持 AES-128 加密算法, 具有高保密性; 采用 IEEE802.15.4 协议; 工作于全球免费使用的 2.4 GHz 频段, 可大大降低开发成本; 有效覆盖范围为 10~75 m, 能够满足室内监控

系统数据传输距离要求。ZigBee 无线传输特性免去传统

组网需要布线和移动设备位置的麻烦。今后, ZigBee 技术会迎来飞速发展时期, 内置 ZigBee 功能的设备不断进入人们的生活, 改善人们的生活方式。ZigBee 技术是无线组网技术之一, 与红外技术、蓝牙技术、Wi-Fi 相比, 采用 ZigBee 技术可以极大减少系统能耗、降低开发成本。

室内监控系统需要采集的数据量小, 安全性要求高, 要求能实时控制室内家居设备工作状态, 设备成本不需过高。采用 ZigBee 技术, 能满足上述条件要求。

2 系统架构

系统设计采用三层网络架构, 最终接入互联网。第一层属于物联网的感知层, 由温湿度传感器、光敏传感器、空调控制器、窗帘控制器、摄像头等组成室内低功耗无线传感器局域网, 智能传感器设计采用模块化。第二层是网关所属的内部网络传输层, 传输协议采用 ZigBee2007/PRO, 感知层数据汇聚于网关, 网关又通过 SPI 总线与服务器交换数据。CC2530 模块、智能传感器模块、协调器与网关之间、网关与 PC 机之间通信协议有详细格式说明。主要对终端节点及网关做硬件设计。第三层是 PC 机、智能手机等所属的应用层, 该层是外部网络, 亦即 Internet。系统终端使用 TCP/IP 协议访问服务器信息, 当出现异常信息时, 系统网关发送控制信息激活蜂鸣器报警^[3-5]。

收稿日期: 2013-12-16; 修回日期: 2014-02-15。

基金项目: 十二五科技支撑计划(2011BAD04B05)。

作者简介: 杨峰(1968-), 男, 福建人, 教授, 博导, 主要从事计算机系统结构, 物联网理论及应用技术方向的研究。

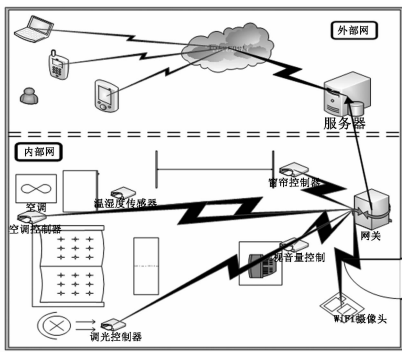


图 1 室内监控系统

3 硬件设计

3.1 内部网络节点设计

终端节点采用 TI 公司生产的真正片上系统 (System on Chip, SoC) 解决方案 CC2530 芯片, 如图 2 所示。CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能, 德州仪器业界领先的黄金单元 ZigBee 协议栈 (Z-Stack™), 业界标准的增强型 8051CPU, 系统内可编程闪存 128 kB 和 8 kB 的 RAM。最佳运行环境是 -40~125 °C, 运行供电电压为 2~3.6 V。具有多种外设: 支持精确的数字化 RSSI/LQI、具有捕获功能的 32 kHz 睡眠定时器、21 个通用 I/O 引脚 (19×4 mA, 2×20 mA)、看门狗定时器、AES 安全协处理器、2 个支持多种串行通信协议的强大 USART、强大的 5 通道 DMA、通用定时器。

内部网络节点分为路由节点 (Router) 和协调器 (Coordinator), 路由节点连接传感器, 协调器负责传感器数据汇集及与服务器进行数据交换。

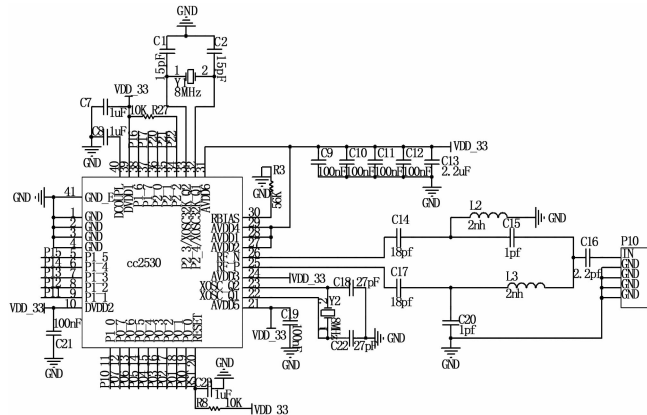


图 2 ZNP Interface Module

协调器的 MCU 采用 MSP430, 这也是一款低功耗芯片, 适用于采用电池供电的长时间工作场合, 满足系统低功耗要求。根据实际情况, 系统搭建在室内, 供电方便, 为保证通信质量及系统稳定, 系统实际使用过程中采用外接交流电源供电。终端节点硬件主要包括电源模块、ARM9 系列芯片、MSP430 系列、温湿度等传感器、节点工作状态指示灯、CC2530 芯片。终端节点的硬件结构如图 3 所示, 除电源模块及状态指示灯外, 通信过程都采用双向通信。ARM9 与 MSP430 之间采用 SPI 总线通信, ARM9 与 CC2530 之间使用自定义 SR-9 协议通信。

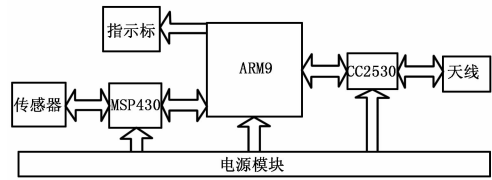


图 3 终端节点硬件结构图

3.2 网关硬件设计

网关硬件结构如图 4 所示, 为保证通信质量及系统效果, 电源采用外接交流电源供电。网关的核心处理器采用 ARM11, 通过 Internet 网口或 WiFi 接口实现网关与服务器间的数据交换。ZigBee 协调器内嵌入有 CC2530 收发模块。ZigBee 协调器、网口、WiFi 接口、LCD、报警模块与 ARM11 间通过 SPI、UART 接口通信, 遵循自定义的 ZNP 通信协议。

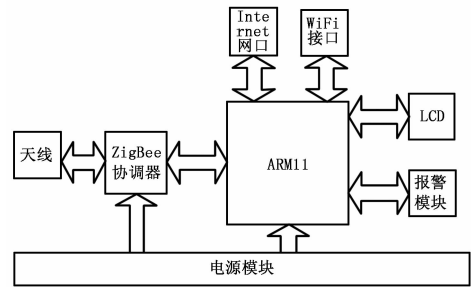


图 4 网关硬件结构图

4 内部网络组建

4.1 ZigBee 网络拓扑结构

ZigBee 网络拓扑结构有树形、星形及网状网络, 如图 5 所示。网络中每个节点属于协调器、路由器、终端节点 3 种角色之一。协调器负责局域网的创建与维护, 每个网络有且只有一个协调器。路由器起到在协调器和终端节点之间数据中转的作用, 接收终端节点传送的数据, 并将接收到的数据传送给协调器, 也把协调器的指令或反馈信息转发给终端节点。终端节点只负责采集数据信息。按通信能力不同, 这些节点可分为全功能设备 (FFD, Full Function Device) 及半功能设备 (Reduce Function Device, RFD)。FFD 既有数据收发功能, 又具有路由功能, RFD 只有收发数据功能。

系统网络结构由一个协调器和若干路由器构成, 全部使用 FFD 设备。本系统用于室内数据采集及监控, 各设备间直线距离不超过 20 m, 传输数据量小, 综合考虑后决定采用星形网络结构, 无线通信传输方式组网。

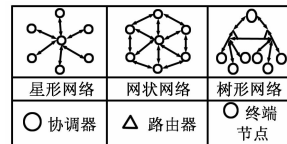


图 5 ZigBee 网络拓扑结构

4.2 ZigBee 网络创建与运行

网络的创建由图 1 中网关负责。应用层发 NLME-NETWORK-FORMATION.request 原语启动网络中设备初始化。初始化完成后, 网络层向 MAC 层发送信道检测命令, 检测完

成后网络层管理实体收到检测扫描结果, 依据扫描结果对可用信道进行选择, 检查 PAN 描述符。最后, 网络层向应用层发送确认原语 NLME-NETWORK-FORMATION.confirm 反馈建网成功与否。协调器组网过程如图 6 所示。

系统采用星形网络结构, 终端节点具有路由器功能。协调器创建网络完成后, 路由器即可通过发送 NLME-PERMIT-JOINING.request 原语, 等待协调器对其验证等过程后完成加入网络。

网络创建完成, 终端节点加入网络后即可进行数据传输。数据传输过程中, 网关通过心跳信息判断终端节点与网络连接是否正常, 心跳包时间间隔为 5 s, 间隔时间大于 15 s 网关即判断节点脱离网络。如图 7 所示。

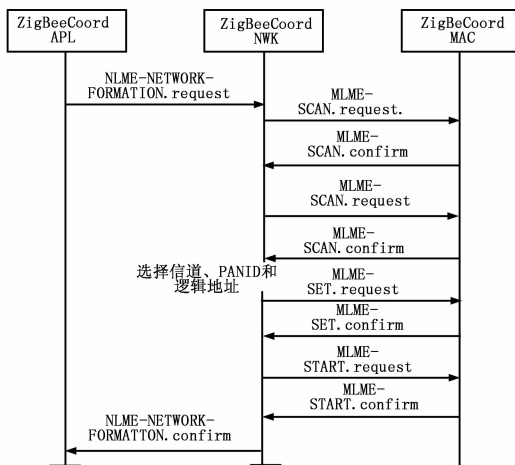


图 6 组网流程图

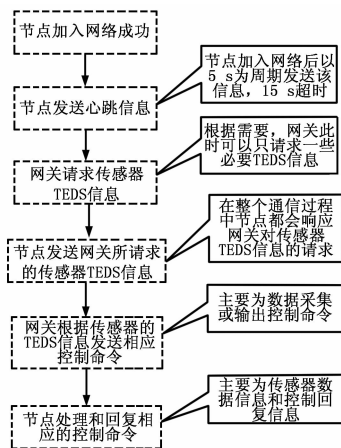


图 7 节点与网关连接过程

5 系统软件设计

软件开发工具使用 Z-Stack 协议栈通用的 IAR 软件, 系统使用的版本号是 IAR EW8051-EV-7.51A。IAR 编译器的代码优化、紧凑, 有助于节省硬件资源, 降低产品成本, 从而大大提高系统产品竞争力。

5.1 数据通信

系统中的通信包括 CC2530 模块 ZNP 协议, 有 UART 接口和 SPI 接口两种通信格式; 智能传感器使用 SR-9 协议及物理握手控制层; 协调器与网关通信采用心跳信息; 网关与

PC 间通信使用 UDP 方式, 并使用心跳包来保持通信过程。例如 CC2530 模块 ZNP 协议的 UART 接口, 配置如表 1 所示。

表 1 UART 配置

波特率	115 200
校验位	NONE
数据位	8
停止位	1
硬件流控(RTS/CTS)	有

通信格式如表 2 所示。

表 2 ZNP 协议中 UART 接口通信格式

Bytes:1	3-253	1
SOF	General format frame	FCS

其中 SOF 有固定值 0XFE。General format frame 所包含内容的格式如表 3 所示。

表 3 General format frame 格式

Bytes:1	2	0-250
Length	Command(Cmd0,Cmd1)	Data

Length 为 Data 内容的字节数, 不包括 Command 的字节数, 范围为 0~250。Command 为该数据包的命令, 其中长度为 2 个字节 (Cmd0 Cmd1)。Data 为该数据包的数据信息, 它根据 Command 的不同而不同。

FCS 为校验字节, 为 General format frame 中所有字节的异或, C 代码如下:

```

Unsigned char calcFCS(unsigned char * pBuf, unsigned char len)
{
    Unsigned char rtn=0;
    While(len-->0)
    {
        rtn ^= * pBuf++;
    }
    Return rtn;
}
    
```

5.2 系统终端软件设计

客户端软件采用 C/S 架构, 网关监控画面使用 Niagara Ax 软件。网关界面上每个节点的图标背景是 CC2530 芯片, 点击节点可以看到温度值等传感器数据。手机端软件建立在 Android2.3 平台上。

测试环境设在实验室内, 实验室长 6 m, 宽 3 m, 实验设备包括温湿度 2 个节点, 挂装在室内墙壁上; 光敏传感器节点 1 个, 安装在日光灯管附近; 摄像头 1 个, 安置在入口处; 网关 1 个; PC 机一台; 服务器 1 台。系统运行后, 在网关界面点击节点图标, 能显示实时温度。经过多次测试, 系统运行稳定, 掉电重新上电后能够正常显示温湿度等数据。而且整个系统功耗低, 人机界面友好^[6-8]。

6 结束语

本文分析了 ZigBee 技术特点, 以 CC2530 节点及网关为硬件基础, 设计开发智能家居系统, 包括终端软件设计, 节点网

(下转第 1445 页)

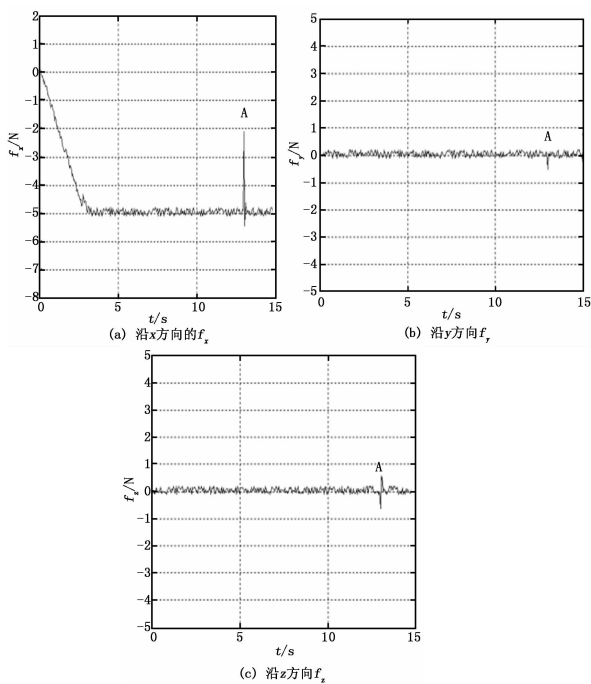


图 5 软性材料实验结果

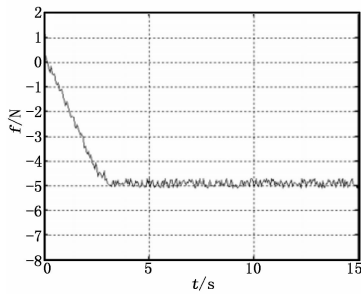


图 6 硬性材料实验结果

完成机器人手抓取物体的任务。

(上接第 1441 页)

网络的创建与运行，详细阐述硬件设计及 ZigBee 网络组建运行过程。接下来需进一步改善网络的低功耗特性。

参考文献：

[1] 宋冬, 廖杰, 陈星, 等. 基于 ZigBee 和 GPRS 的智能家居系统设计 [J]. 计算机工程, 2012, 38 (23): 243-246.
 [2] 戴敏, 王宜怀, 潘启勇. 基于 ZigBee 技术的智能家居系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (3): 706-708.
 [3] 李文仲, 段朝玉, 等. ZigBee2007/PRO 协议栈实验与实践 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.

参考文献：

[1] 吴玉香, 周东霞, 胡跃明. 一类不确定非线性系统的鲁棒自适应控制 [J]. 控制理论与应用, 2008, 25 (6): 1053-1058.
 [2] 冯占国, 孙玉山, 张磊, 等. 基于混合学习算法的水下机器人神经网络辨识 [J]. 船舶工程, 2009, 31 (4): 59-62.
 [3] Ott C, Albc-Schaer A, Kugi A, et al. On the passivity-based impedance control of flexible Joint robots [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2008, 24 (2): 416-429.
 [4] 贾鹤鸣, 宋文龙, 郭靖. 基于神经网络滑模的采摘机械臂控制设计 [J]. 吉林大学学报, 2012, 42 (3): 709-713.
 [5] 袁伟杰, 刘贵杰, 朱绍锋. 基于遗传算法的自治水下机器人水动力参数辨识方法 [J]. 机械工程学报, 2010, 46 (11): 96-100.
 [6] 党进, 倪风雷, 刘业超, 等. 一种前馈补偿和模糊滑模相结合的柔性机械臂控制 [J]. 西安交通大学学报, 2011, 45 (31): 75-80.
 [7] 张代兵, 谢海斌, 林龙信, 等. 柔性长鳍仿生水下推进器测控系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (2): 205-207.
 [8] Lic H, Meusel P, Hirzinger G, et al. The modular multi-sensory DLR-HIT-Hand: hardware and software architecture [J]. IEEE/ASML Transactions on Mechatronics, 2008, 13 (4): 461-469.
 [9] Bekiroglu Y, Laaksonen J, Jorgensen J A, et al. Assessing grasp stability based on learning and haptic data [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2011, 27 (3): 616-629.
 [10] 田彪, 李宇, 黄海宁. 水下无人潜航器探测与控制单元数据交互及其实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (8): 127-129.
 [11] Lorinc M, Bela L. Control of robotic systems with unknown friction and payload [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2011, 19 (6): 1534-1539.
 [12] 陈华, 张可, 曹建蜀. 基于 PSO-BP 算法的目标威胁评估 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (3): 900-901.
 [13] Shafiqul I, Liu X P. Robust sliding mode control for robot manipulators [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58 (6): 2444-2453.

[4] 周佩颖, 邬贺铨. 智能家居是物联网技术很好的应用 [J]. 物联网技术, 2012, (5): 1-2.
 [5] 李元元. 基于 Android 平台的智能家居安防系统设计 [J]. 制造业自动化, 2012, 34 (6): 138-140.
 [6] 严萍, 张兴敢, 柏业超, 等. 基于物联网技术的智能家居系统 [J]. 南京大学学报 (自然科学), 2012, 48 (1): 26-32.
 [7] 袁敏. 基于物联网的远程智能家居控制系统的设计 [J]. 制造业自动化, 2012, 34 (11): 32-34, 102.
 [8] 卢晓慧. 基于物联网技术架构下智能家居系统的研究 [J]. 科技通报, 2013, 29 (5): 76-78, 121.