

# 基于 ZigBee 技术智能家居系统的研究与设计\*

陈龙涛, 罗桂娥, 周卫, 唐玮圣

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 分析了现代智能家居的特点, 重点剖析了 ZigBee 技术及其协议, 提出了一种基于 ZigBee 技术的智能家居系统的设计与实现方案。重点阐述了该系统的组成、网络拓扑结构、主控制器以及 ZigBee 无线通信节点的软硬件设计。该系统能满足现代智能家居的要求, 具有良好的通用性和可扩展性。

**关键词:** 智能家居; ZigBee 协议; 无线网状组网; BOA 服务器; CC2430

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)20-0100-03

## Research and design of smart home system based on ZigBee technology

CHEN Long Tao, LUO Gui E, ZHOU Wei, TANG Wei Sheng

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The paper analyzes the characteristics of modern smart home, laying stress on ZigBee technology and its protocols. The design and implementation of smart home system based on ZigBee technology is proposed, focusing on the composition of the system, network topology, the hardware and software design of the main controller and ZigBee wireless communication node. The system can meet the requirements of the modern Smart Home, with good versatility and extensibility.

**Key words:** smart home; ZigBee protocol; wireless mesh network; BOA webserver; CC2430

“智能家居”通常是指以住宅为平台, 兼备家庭自动化、家庭网络、信息家电, 集系统、结构、服务、管理、控制为一体的高效、舒适、安全、便利、环保的居住环境。它利用先进的计算机技术、网络通信技术、电力自动化技术, 将与家居生活有关的各种子系统有机地结合在一起, 进行网络化的综合管理。

有线网络存在着布线困难、扩展性差等缺点, 随着现代短距离无线通信技术的迅速发展, 在智能家居系统中采用无线组网技术已经成为必然趋势。目前比较常用的短距离无线通信技术主要有蓝牙技术 (Bluetooth)、Wi-Fi、UWB、红外技术 (IrDA)、ZigBee、射频识别技术 (RFID) 等。与其他无线通信技术相比, ZigBee 技术的特点是<sup>[1]</sup>: (1) 低成本: 每块 ZigBee 芯片的价格大约为 2 美元, 且 ZigBee 协议免专利费; (2) 低功耗: 在待机模式下, 2 节 5 号干电池可支持 1 个节点工作 6~24 个月; (3) 低速率: 数据传输速率只有 20 kb/s~250 kb/s; (4) 近距离: 单个设备的有效覆盖范围在 10 m~75 m 之间, 具体取决于实际发射功率的大小和各种不同的应用模式; (5) 短

时延: 通信时延和从休眠状态激活的时延都很短。典型的设备搜索时延为 30 ms, 休眠激活时延为 15 ms, 活动设备信道接入时延为 15 ms; (6) 高可靠: 采取碰撞避免机制, 避免发送数据时的竞争和冲突; (7) 网络容量大, 组网灵活: 支持多种组网方式和大量的网络节点, 每个 ZigBee 网络理论上可容纳大约 65 000 个设备; (8) 高安全: 提供了数据完整性检查和鉴权功能, 提供三级安全性, 采用 AES-128 加密算法, 同时各个应用可以灵活确定其安全属性; (9) 工作频段灵活: 使用频段为 2.4 GHz、915 MHz (美国) 及 868 MHz (欧洲), 均为免执照频段。

智能家居网络中的各类安防报警、传感、抄表数据、灯光、门禁及家电开关控制信号传输的数据量小, 无需太大的传输速率, 但要求容量大、实时性好、可靠性高、功耗低。智能家居系统若要在未来普及, 发展趋势是低成本、安装简便、使用方便、可扩展性好、自组织以及嵌入式应用。综合这些特点, ZigBee 技术是实现智能家居比较合适的选择。

\* 基金项目: 2008 年至 2009 年国家大学生创新性实验计划项目 (LA09037)。

## 1 ZigBee 协议

ZigBee 技术是一种可靠性高、功耗低的无线通信技术,其体系结构通常由层来量化它的各个简化标准。完整的 ZigBee 协议<sup>[2]</sup>包括物理层、MAC 层、网络层、安全服务层、应用层及高级应用层规范。IEEE 802.15.4<sup>[3]</sup>定义了最下面的两层:物理层(PHY)和介质接入控制子层(MAC)。ZigBee 联盟提供了网络层、安全服务层和应用层(APL)框架的设计。应用层的结构包括应用支持子层(APS)、ZigBee 设备对象(ZDO)和用户自定义的应用服务。与其他的无线通信标准相比,ZigBee 协议组件简单紧凑,对某种具体实现的要求很低,实现相对容易。

ZigBee 协议栈结构每一层负责完成所规定的任务,并且向上层提供服务。各层之间的接口通过所定义的逻辑链路提供服务。下面的层为上面的层执行一组特定的服务:数据实体提供数据传输服务,管理实体提供管理服务。每个服务实体通过一个服务接入点 SAP 为上层提供一个接口,每个 SAP 支持多种服务原语来实现要求的功能。

## 2 基于 ZigBee 协议的组网技术

### 2.1 ZigBee 设备

ZigBee 网络中的设备通常可以划分为两种类型<sup>[4]</sup>,一种是全功能器件(FFD),它可以承担网络协调器的功能,可以与网络中的任何设备通信;另一种是简化功能器件(RFD),它不能作为网络协调者,只能与 FFD 通信,两个 RFD 之间不能直接通信。

ZigBee 网络定义了三种功能设备:网络协调器(Coordinator)、网络路由器(Router)和网络终端设备(End Device)。前两种都是 FFD,后一种是 RFD。

### 2.2 ZigBee 网络拓扑结构

ZigBee 支持三种网络拓扑结构<sup>[5]</sup>:星型网、树型网和网状网。每一个 ZigBee 网络至少需要一个 FFD 作为 Coordinator 实现网络建立和协调功能。

考虑到家庭网络的实际情况:设备可能分布在不同的房间,家具墙壁等障碍因素会使每个设备的通信范围减小的同时增大干扰;网络应该具有可扩展性,应该可以通过增加路由节点扩展覆盖范围;网络应该具有一定的可靠性和健壮性,不能由于少数设备的崩溃导致系统失效,尽量保证每次通信的成功。基于以上考虑,本智能家居系统选择了网型的网络拓扑结构。

### 2.3 ZigBee 网络的路由

ZigBee 执行用于 AODV 专用网络的路由协议,简化后用于传感器网络。ZigBee 终端节点不执行任何路由功能。终端节点要向任何一个设备传送数据包,只需简单地将数据向上发送给它的父设备,由它的父设备以自己的名义执行路由。同样地,任何一个设备要给终端节点发送数据,发起路由寻找,终端节点的父节点都以其自身名义回应。

## 3 基于 Zigbee 的智能家居系统设计

### 3.1 系统总体结构设计

系统以 ARM9 为主控制器(家庭服务器),由一个协调器节点、多个路由器节点、多路传感器节点、多路家电控制节点组成,系统总体结构框图如图 1 所示。其中各个传感器节点采集温度、湿度、光照条件等状态通过 ZigBee 协议与协调器进行数据传输。各个控制器节点由红外遥控解码和其他控制部分组成,根据协调器发送过来的指令控制相应的家用电器工作。协调器在程序设立的信道上建立 PAN 网络,并通过串口把各传感器状态显示在主控制器的 LCD 上。



图 1 系统总体结构框图

### 3.2 智能家居主控制器的功能

智能家居主控制器接收由协调器传输来的各类传感器返回的状态信息,通过事先由用户设定好的各个指标(温度、湿度、光照条件等)的阈值进行综合智能判断,采取对应的控制措施发出各类家电控制指令。同时通过在  $\mu$ Clinux 操作系统里架设基于 WEB 的 BOA 服务器,可实现远程 PC 的 Http 访问,主控制器将各种传感器和家电信息通过 BOA 服务器反馈给远程 PC,主控制器也可以通过 BOA 服务器将远程 PC 发送的各类控制信息传递给协调器。

智能家居主控制器以 ARM9 内核的 Samsung S3C2410 为核心,外扩网卡、LCD、SDRAM、Flash 等模块。软件方面,主控制器的软件开发工作包括  $\mu$ Clinux 的移植、底层驱动程序的开发、开源 BOA 服务器的配置、嵌入式 OS 上的应用程序开发。

### 3.3 Zigbee 网络微型节点

Zigbee 网络微型节点在此系统中有两个模块:FFD 与 RFD。其中 RFD 由传感器模块(家电控制模块)、处理器模块、数据传输模块和电源管理模块 4 部分组成。传感器模块和家电控制模块在每个 RFD 中只出现一种,取决于此 RFD 的用途是用于数据采集还是家电控制。两种用途的 RFD 数量也可灵活配置,有利于节省成本。传感器模块包括温度传感器、湿度传感器、光照传感器

应用奇葩 Example of Application

等各类传感器以及数据转换电路。家电控制模块包括红外遥控解码和其他控制部分,负责接收和解析从主控制器发来的控制命令,同时采取相应的措施控制家电运作。处理器模块负责控制整个节点的处理操作、ZigBee协议栈运行、同步定位、功耗管理以及任务管理等。数据传输模块负责与其他节点进行无线通信,交换控制消息和收发采集数据。由于有先进的 SoC 技术,故本设计采用集微处理器和 RF 收发芯片一体的 SoC 芯片 CC2430。

CC2430 是一颗真正的系统芯片(SoC)CMOS 解决方案。这种解决方案能够提高性能并满足以 ZigBee 为基础的 2.4 GHz ISM 波段应用对低成本、低功耗的要求。它结合一个高性能 2.4 GHz DSSS(直接序列扩频)射频收发器核心和一颗工业级小巧高效的 8051 控制器。电源管理模块选通所用到的传感器,节点电源由两节 1.5 V 碱性电池组成,采用 LM1117 稳压芯片,未来趋势将采用微型纽扣电池应用到终端节点上,以进一步减小节点体积,便于安装。FFD 与 RFD 相比,缺少了传感器模块和家电控制模块,同时增加了控制器的 RAM 和 ROM 容量以及主频,主要用于 ZigBee 网络的组建和路由。

3.4 系统软件设计

软件设计方面,Zigbee 网络微型节点在 Zigbee 网络中既充当 RFD 的角色,又充当 FFD 的角色,RFD 与 FFD 的软件设计流程如图 2 所示。

本文根据 ZigBee 技术的特点和现代智能家居系统的要求,提出了一种基于 ZigBee 技术的智能家居系统的总体构架以及软硬件设计和实现方案。采用

ARM9 芯片为主控制器,通过 ZigBee 网状网络结构实现家庭内部的通信,使家庭网络中的各种设备形成一个整体的智能家居控制体系,而非单一的变量控制体系。该系统能满足现代智能家居的要求,具有成本低、功耗低、通用性强、可扩展性好等优点,是一种有效的解决方案。

参考文献

[1] 黄磊,付菲,闵华松.基于 ZigBee 技术的智能家居方案研究[J].微计算机信息,2009,25(14):71-73.  
 [2] AKYILDIZE.Wireless sensor networks:A survey[J].Computer Networks,2002,38:392-422.  
 [3] LAN/MAN Standards Committee.Part 15.4:Wireless medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks[EB/OL].[2010-03-20].http://www.zigbee.org/.  
 [4] KINNEY P.ZigBee technology:wireless control that simply works[DB/OL].(2010-03-20)http://www.hometoys.com/hnews/oct03/articles/kinney/zigbee.htm.  
 [5] ZigBee V1.0 Architecture Overview[EB/OL].[2005-09-16].http://www.ZigBee.org Mar 2006-Open-House-Presentations/ZigBee%20Architecture2.pdf.

(收稿日期:2010-05-18)

作者简介:

陈龙涛,男,1989年生,本科在读,主要研究方向:嵌入式系统,无线传感器网络。  
 罗桂娥,女,1962年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:智能仪器仪表,数字图像压缩与双目立体视觉。

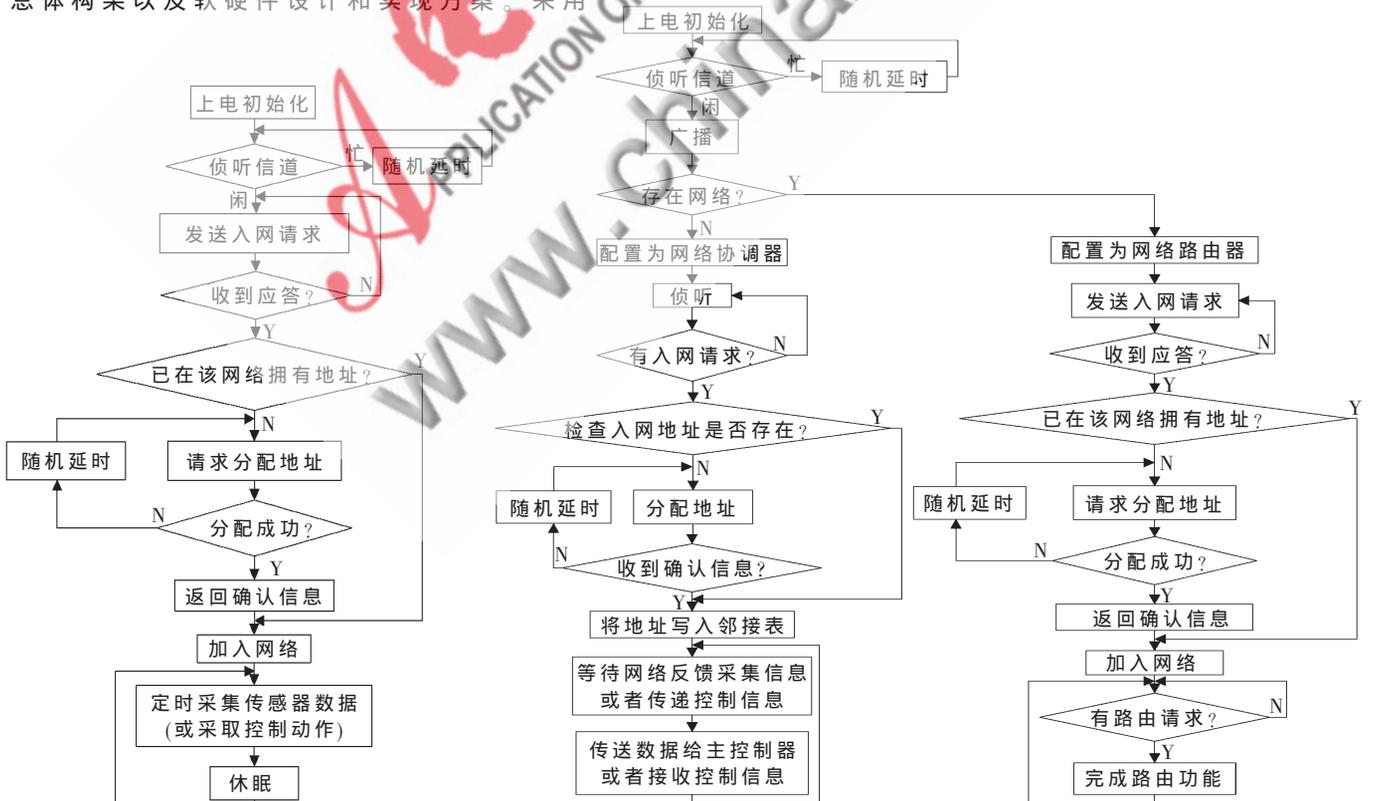


图 2 RFD 与 FFD 的流程图