

基于 ZigBee 与 WiFi 的无线智能照明系统设计

陈章进^{1,2}, 张建峰¹, 李翰超¹

(1. 上海大学 计算中心, 上海 200072; 2. 上海大学 微电子研究与开发中心, 上海 200072)

摘要: 为了提高照明系统的使用效率, 减少电能的浪费, 设计了一种以 TI 公司的 CC2530 芯片与 Ralink 公司 RT5350 芯片为核心的, 结合了 ZigBee 与 WiFi 技术的无线智能照明系统; 该系统在控制终端与各照明节点之间构建混合型无线通信网络, 并实现了将 ZigBee 网络与 UPnP 标准相结合; 控制终端可实时监测各照明节点的状态, 同时可发送控制命令到各终端节点; 分析了系统的工作原理、硬件架构、软件设计; 实验结果表明, 该系统能够可靠地完成信息的采集与发送, 误包率在 50 m 范围内可控制在 4.0% 以内, 系统具有误包率低, 稳定可靠, 成本低等优点, 实现了照明系统的网络化管理。

关键词: ZigBee; WiFi; 通用即插即用; 智能照明

Design of Wireless Intelligent Lighting System Based on ZigBee and WiFi

Chen Zhangjin^{1,2}, Zhang Jianfeng², Li Hanchao²

(1. Computer Center, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Microelectronic R&D Center, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of lighting system, and reduce the waste of energy. A wireless intelligent lighting system combined with ZigBee and WiFi technology is designed. It is based on the chip CC2530 of TI and RT5350 of Ralink company. The hybrid wireless network is built between the control terminal and the lighting node, and achieved the combination of ZigBee network and UPnP standard. The control terminal can realtime monitor the status of lighting node, and can send control command to every terminal node. The operating principle of system, hardware architecture and software design are analysed. The experiment result shows that the system can complete the acquisition and transmission of information, and packet error can be controlled with 4.0% in the range of 50 m, the system has the advantages of low packet error, stable, reliable and low cost, achieving the network management of lighting system.

Keywords: ZigBee; WiFi; UPnP; intelligent lighting

0 引言

长久以来, 人们对照明系统的控制主要是基于本地式开关, 此种传统控制方式制约了现代人快节奏的生活方式, 与当下节能环保概念相违背, 因为照明一直是城市电力消耗的大户, 随着城市的大规模扩展, 各种大型商场的建立, 公共的照明设施越来越多, 而如此众多的照明设施就需要有专门的管理人员每天来检查、控制。在大型商场中, 由于管理操作的不便性, 经常出现关灯不及时, 灯发生故障而不能及时发现等诸多不利, 这样不但消耗人力, 而且造成电能的浪费。传统的照明控制方式已满足不了现代人的使用需求, 于是智能照明控制系统应运而生。

如今很多公共照明设施出现了采用光控或声控的方式, 此种方式可及时地打开、关闭灯, 节省了不少的电能, 也有些场所采用无线控制方式, 如红外遥控, 避免了布线繁杂的困扰^[1], 然而这些方式都只能对各个点实现一对一的控制, 不能对所有设备进行统一的远程监控。无线通信技术的发展为远程监控系统提供了新的通信方式, ZigBee^[2-3]是一种基于 IEEE 802.15.4 标准的新兴的无线网络技术^[4], 具有短距离、低功耗、低成本、低复杂度等优势, 主要应用在各种电子设备之间

的无线通信中^[5], 尤其适合应用于楼宇的自动化设备中。然而支持 ZigBee 协议的硬件设备上都不具有以太网口或 WLAN 网口, 更不支持 TCP/IP 协议栈, 因此无法实现 UPnP (通用即插即用) 标准^[6], 也无法与生活中常用的手机、PC 直接相连, 这给统一远程监控带来了不便。

本文设计了一种基于 ZigBee 与 WiFi 技术的无线智能照明系统, 在 ZigBee 网络与 WiFi 网络之间架设嵌入式网关, 建立混合型无线通信网络^[7], 并将 ZigBee 网络与 UPnP 标准相结合, 实现 PC、手机端与各 ZigBee 节点之间的互联, 从而实现对所有照明节点进行统一的实时监控。

1 系统结构与工作原理

系统主要由 ZigBee 网络、嵌入式网关和 WiFi 网络三部分组成。如图 1 所示, 其中, ZigBee 网络中包含照明终端, 路由节点和协调器, 各节点之间的通信距离为 30~70 m, 可根据节点周边环境在合适的地方配置路由器, 构成网状网络, 来使 ZigBee 网络覆盖整栋大楼。协调器是 ZigBee 网络的核心设备, 通过协调器采集各照明终端的状态信息, 并实现对 ZigBee 节点的控制。通过串口将协调器与嵌入式网关相连接, 嵌入式网关中运行 UPnP 协议的设备部分, 为 ZigBee 网络的每一个节点创建一个虚拟的 UPnP 设备, 将虚拟的 UPnP 设备与实际的终端节点一一对应, 实现设备的上报与发现。最后, 通过 WiFi 网络将控制终端如电脑, 手机等与嵌入式网关相连接, 从 UPnP 网络中的控制点来看, 每个 ZigBee 节点都是实现了 UPnP 协议的设备。系统通过嵌入式网关, 将 ZigBee 网络与 WiFi 网络互连, 实现 PC、手机对各照明终端的状态监控。

收稿日期: 2015-08-19; 修回日期: 2015-08-29。

基金项目: 上海市经信委“2011 年度上海市引进技术的吸收与创新计划”资助项目(11X1-15); 国家自然科学基金资助项目(61376028); 上海市科委资助项目(13111104600)。

作者简介: 陈章进(1968-), 男, 上海人, 教授, 硕士生导师, 主要从事微电子及集成电路设计、多媒体支持下的高清晰度显示方向的研究。

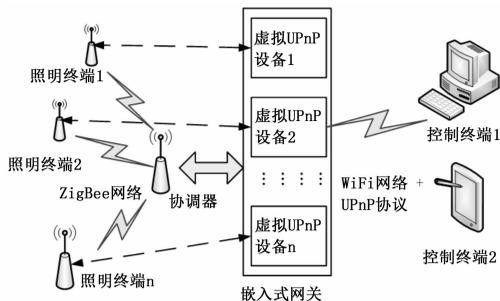


图 1 系统结构

2 硬件架构设计

无线智能照明系统的硬件架构主要包括两大部分:

- 1) 构建 ZigBee 网络的照明终端、路由节点和协调器;
- 2) 连接 ZigBee 网络与 WiFi 网络的嵌入式网关设备。

以下分别介绍这两大部分。

2.1 ZigBee 无线通信节点

ZigBee 网络主要由终端节点、路由节点与协调器节点构成, 本系统采用了 TI 公司的 CC2530 芯片作为 ZigBee 无线通信的核心, CC2530 集成了符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4 GHz 的 RF 收发器, 增强型 8051CPU 和系统内可编程闪存, 满足低成本、低功耗的要求, 并结合 TI 开发的 ZigBee 协议栈^[8], 可方便用户开发, 提供了强大完整的无线 ZigBee 解决方案。

2.2 嵌入式网关硬件设计

嵌入式网关主要负责将 ZigBee 网络与 WiFi 网络互连, 并实现 UPnP 协议, 对于嵌入式设备的要求如下:

- 1) 具有射频单元, 支持 WiFi, 以实现 PC, 手机等控制终端的接入。
- 2) 具有串口, 能够与 ZigBee 网络的核心设备协调器互连。
- 3) 具有能够支持 TCP/IP 协议栈的嵌入式操作系统。
- 4) 能运行 C 语言编写的网关程序。

本系统选用以 Ralink 公司的 RT5350 芯片为核心的嵌入式设备, 其硬件架构如图 2 所示, RT5350 内部集成了基带处理器, 射频, 射频功率放大器, 一颗高性能的 MIPS 24Kc 360 MHz 处理器, 支持 150 Mbps 无线数据带宽, 其中 SDRAM 主要用于存放系统及用户数据, Flash 则主要用于存放嵌入式操作系统、应用程序, 其中串口、MAC/基带处理器及 RF 是系统的主要通信模块, 串口一方面用于系统映像文件的下载, 另一方面主要用于与 ZigBee 网络中协调器的互联, MAC/基带处理器及射频提供系统 WiFi 网络的连接。

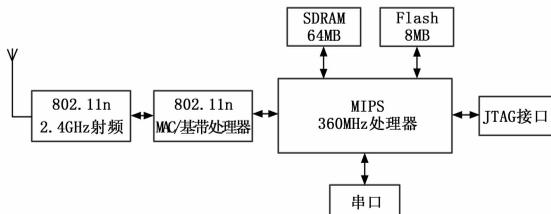


图 2 嵌入式网关硬件架构

3 系统软件设计

系统软件设计主要分为两部分, 一部分为 ZigBee 节点的软件设计, 包括协调器、路由器、照明终端节点, 各节点的软

件设计是基于 TI 公司开发的 Z-Stack2007 协议栈, 通过任务查询, 事件触发来实现任务调度机制; 另一部分为嵌入式网关中虚拟设备的实现, 主要用于实现为 ZigBee 网络中的每一个节点创建一个虚拟的 UPnP 设备, 并能通过 UPnP 协议对 ZigBee 节点进行控制。

3.1 数据传输格式设计

网关与协调器之间是通过固定的数据格式进行通讯, 数据传输格式定义如表 1 所示, 共 8 个字节, 其中:

表 1 帧格式定义

帧头 1	帧头 2	设备类型	设备序号	帧类型	变量名称	变量值	帧校验
------	------	------	------	-----	------	-----	-----

- 1) 帧头 1 和帧头 2 为固定值 0xFE 和 0xFD。
- 2) 设备类型指 ZigBee 终端节点的设备种类, 例如: 0x00 表示电灯, 0x01 表示电扇等, 在本设计中为 0x00。
- 3) 设备序号指该 ZigBee 设备在该设备类型中的序号, 取值 0x00 到 0xFF。
- 4) 帧类型表示该设备当前状态: 0x00 为不存在帧, 表示设备不可用; 0x01 为存在帧, 表示设备可用; 0x02 表示变量帧; 0x03 为准备帧, 表示设备初始信息发送完毕。
- 5) 变量名称表示此数据帧中变量值的意义, 例如 0x00 表示开关状态, 0x01 表示灯光亮度。
- 6) 变量值指变量名称所对应的值的大小。
- 7) 帧校验位由 Z-stack 协议栈自动添加。

3.2 协调器软件流程

协调器是 ZigBee 网络的核心, 主要负责 ZigBee 网络的建立与管理, 以及与嵌入式网关之间的通讯互连。由协调器向网关报告其发现的 ZigBee 设备, 网关通过给协调器发送命令帧来完成对 ZigBee 节点的控制, 其工作流程如图 3 所示。

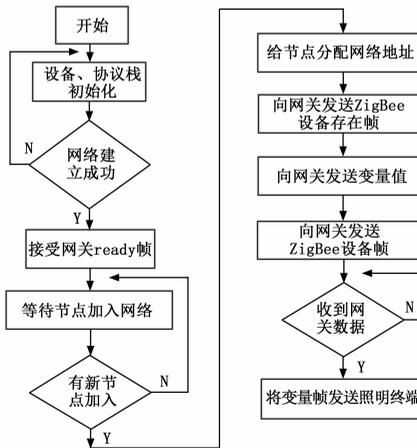


图 3 协调器软件工作流程

3.3 路由节点软件流程

路由节点主要完成数据的转发功能, 根据需要, 可设置多个路由节点使 ZigBee 网络的覆盖面更广, 可组成网状拓扑结构, 提高 ZigBee 网络的可靠性。

路由节点的软件工作流程如下:

- 1) 上电初始化, 申请加入网络, 寻找合适的父节点, 加入网络。
- 2) 搜索信号, 判断转发路径。
- 3) 将数据以 ZigBee 通信协议打包转发至下一节点。

3.4 照明终端节点软件流程

- 1) 照明终端节点首先进行初始化, 申请加入网络。
- 2) 照明终端成功加入网络后, 则向协调器发送 ZigBee 设备存在帧, 等待网关为其在虚拟设备列表中建立新的设备节点。
- 3) 照明终端通过协调器向网关发送 ZigBee 设备所具有的变量值。
- 4) 接收控制点通过网关发来的变量帧, 并完成设备中的变量值设置, 同时给控制点回复“动作完成响应”。终端节点软件工作流程如图 4 所示。

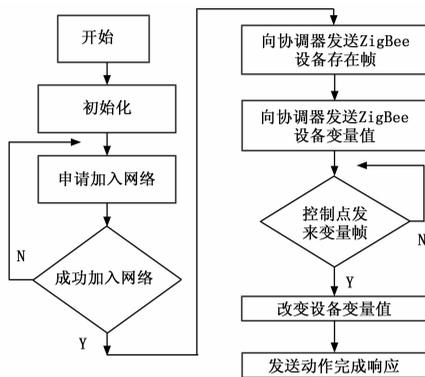


图 4 照明终端软件工作流程

3.5 网关中虚拟设备的实现

在整个嵌入式网关设计中, 控制点与虚拟设备的实现都是基于 UPnP 协议框架。UPnP 指通用即插即用^[9-10], 当任何设备只要加入网络, 所有网络上的设备就能知道有新的设备加入, 同时这些设备之间可直接获得其他设备的信息, 并且可发送控制命令。UPnP 设备体系结构包括设备之间, 控制点之间, 设备与控制点之间的通信, UPnP 协议主要由 SSDP 模块、Web Server 模块、SOAP 模块、GENA 模块组成, 分别负责设备发现、设备描述、设备控制、订阅功能。以下主要介绍在本无线智能照明系统设计中, 实现照明终端在嵌入式网关中的设备虚拟化。

3.5.1 设备寻址的设计与实现

在 UPnP 协议中, 需要为每个加入网络的设备通过 DHCP 的方式动态分配一个 IP 地址, 在本设计中, 由于加入网络的是 ZigBee 设备, 无法为其分配一个独立的 IP 地址, 因此, 在本设计中让所有设备都共用同一个 IP 地址, 同时为了区分每个加入网络的设备, 而采用设备的 UDN (唯一设备名称) 来标识每个设备。

3.5.2 设备发现的设计与实现

设备发现主要包括两种情况, 一种是当 ZigBee 设备接入网络时, 需通过广播的方式, 向 ZigBee 与 WiFi 混合网络中的所有控制点宣告“设备可用”, 而当 ZigBee 设备退出网络时, 需向控制点宣告“设备不可用”。另一种情况是控制点通过广播的方式搜索加入网络的 ZigBee 设备, 当搜索到可用设备后, 该设备通过单播响应控制点的请求。如图 5, 描述了设备宣告的实现步骤。其中设备管理模块主要是对设备描述文件进行解释, 从而获得该设备的服务信息, 并且在设备描述列表中为该设备分配一个 ID 号, 用于索引。

3.5.3 设备描述的设计与实现

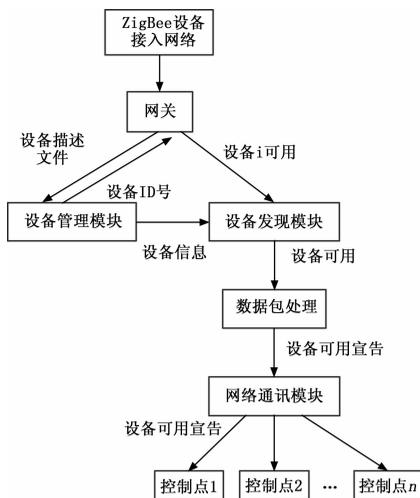


图 5 设备宣告的实现

当 PC、手机等控制点获得由 ZigBee 设备发来的“设备可用”宣告后, 为获取更多有关设备的通用信息, 如 ZigBee 设备的制造厂商名、设备序列号等, 同时为获得设备的服务描述, 如本设计中 ZigBee 终端可提供照明, 可监控灯开关状态等, 会基于 HTTP 传输机制向设备发送设备描述请求数据包, 其主要步骤为:

- 1) 控制点通过 WiFi 网络请求数据包处理模块生成“HTTP GET”数据请求包, 并通过网络通讯模块发送给 ZigBee 设备。
- 2) ZigBee 设备端接收到“HTTP GET”请求后, 将控制点所需的信息以设备描述文件名的方式发送给 Web 服务器。
- 3) Web 服务器读取虚拟目录中的设备描述文件内容, 并再次提交给数据包处理模块, 数据包处理模块将设备描述文件的内容打包发送给控制点作为请求的响应。
- 4) 控制点获得响应数据包后, 将它交给 XML 解释模块, XML 解释模块将设备相关信息再通过 WiFi 网络返回给控制点。

3.5.4 设备控制的设计与实现

设备控制主要分为两种: 一种是动作请求, 由控制点将动作请求通过 WiFi 网络发送给嵌入式网关, 再由网关发送给 ZigBee 终端, 如打开或关闭照明终端, 终端设备接收到命令后执行相应的操作; 另一种是变量查询, 由控制点向 ZigBee 设备发送变量查询请求, 如查询照明终端的开关状态, ZigBee 设备通过 ZigBee 网络, 网关, WiFi 网络将变量结果返回给控制点, 这两种控制均是基于 TCP 的 HTTP 消息传输。其中主要介绍动作请求的实现方式如图 6 所示。

4 实验结果

为检测本系统数据传输质量, 在一幢楼的不同地方放置多个带有 ZigBee 节点的照明终端进行实验测试, 实验中, 将 PC 连接上 WiFi, 两种网络通过嵌入式网关进行协议转化与数据通讯。通过 PC 端发送控制命令, 同时将 ZigBee 终端的返回信息打印出来, 实验主要通过对网络误包率及数据包的 RSSI (信号接收强度) 两个指标进行检测, 以测试该混合网络的可靠性。

为提高数据的可信度, 分别对每个测量点进行了 30 次数

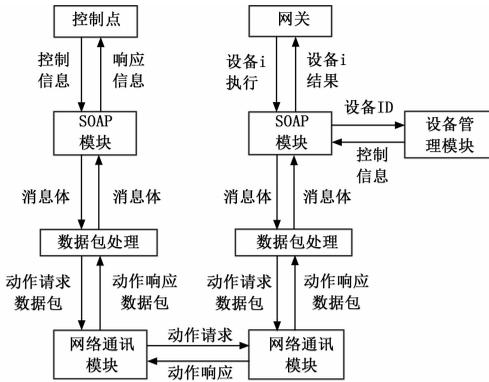


图 6 动作请求实现流程

据测量, 取这 30 组数据的平均值, 分析该点的 RSSI 及误包率。实验结果如图 7 所示, 其中图 7 (a) 显示的为误包率, 指实际接收到的数据包个数占总发送数据包个数的百分比, 图 7 (b) 为信号接收强度。从图 7 (a) 中可以看出, 当距离在 5 m 以内, 误包率为 0; 当距离在 30 m 以内时, 误包率可控制在 2%, 说明在这段距离内, 该混合网络的数据传输具有较强的可靠性; 而当距离在 30~50 m 时, 虽然误包率明显增大, 但控制在 4% 以内, 仍可以保证系统的正常运行。从图 7 (b) 中可以看出, RSSI 值强烈依赖于信号传输距离的限制, 在 5 m 范围内, RSSI 值保持在 -65~-40 dBm, 而随着距离的增大, RSSI 值有呈指数衰减的趋势。

实验结果表明, 该无线控制系统在 50 m 范围内, 具有较强的数据传输能力, 实现了 ZigBee 网络与 WiFi 网络的互联, 且具有较高的可靠性。

5 结论

本文设计了一种基于 ZigBee 与 WiFi 的无线智能照明系统, 从硬件模块的设计到软件流程的分析, 结合了 ZigBee 网络与 WiFi 网络的各自优势, 实现了将 ZigBee 与 WiFi 两种网络互连, 构成混合型无线网络, 且在软件模块中实现了 UPnP 标准, 通过虚拟设备的建立, 将 UPnP 标准与 ZigBee 网络相结合, 使得无线智能照明系统控制更加方便简单, 提高了公共

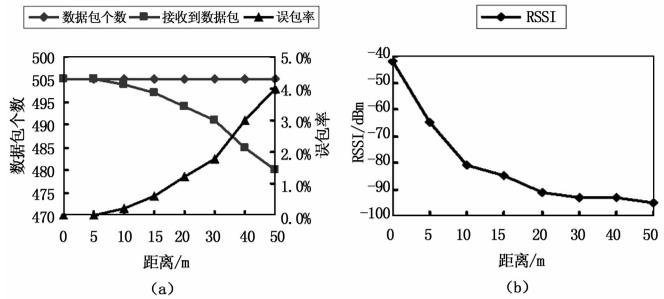


图 7 实验测试结果

照明设施的管理效率。通过实验验证, 该混合型网络运行稳定, 且具有较高的可靠性。

参考文献:

- [1] 闻涛. 红外智能照明节能控制系统在教室中的应用 [J]. 建筑节能, 2015, 07: 79-81.
- [2] 吴涛, 杨著, 张丽霞. 基于 ZigBee 和 Android 手机的无线监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (3): 809-811.
- [3] 张大伟, 陈佳品, 冯洁, 等. 面向准危重病病人的区域化无线监护系统研制 [J]. 仪器仪表学报, 2014, 01: 74-81.
- [4] Pedro C, Kafai C, Yinghoi L. A ZigBee-Based wireless sensor network node for ultraviolet detection of flame [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58 (11): 5271-5277.
- [5] 焦尚彬, 宋丹, 张青, 等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿监测系统 [J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27 (5): 436-442.
- [6] 杨威, 朱珍民, 陈援非, 等. 远程访问 UPnP 网络的方法与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2012, 05: 1691-1694, 1699.
- [7] 曾磊, 张海峰, 侯维岩. 基于 WiFi 的无线测控系统设计与实现 [J]. 电测与仪表, 2011, 48 (7): 81-83, 96.
- [8] 章伟聪, 俞新武, 李忠成. 基于 CC2530 及 ZigBee 协议栈设计无线网络传感器节点 [J]. 计算机系统应用, 2011, 07: 184-187, 120.
- [9] 吴兆立. UPnP 基本原理以及在 NAT 中的应用 [J]. 网络安全技术与应用, 2014, 11: 73-74, 76.
- [10] 苏诗荐, 章杰, 林培杰, 等. 一种即插即用的智能家居系统设计 [J]. 微型机与应用, 2014, 22: 4-7.

参考文献:

- [1] 卢艳, 黄云龙. 一种语音门禁系统的硬件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1201-1204.
- [2] 土科俊, 姚向辉. 人脸图像监测与识别方法综述 [J]. 自动化技术与应用, 2004, 23 (12): 5-9.
- [3] 公衍宇, 郭琦, 于超. Android 系统下 OPenCV 的人脸识别模块的设计 [J]. 电子设计工程, 2012, 20 (1): 52-54.
- [4] 郭松, 李凤新, 付炜. 手机业务测试平台大屏幕图像识别软件的设计与实现 [J]. 电子技术, 2009, 36 (7): 98-100.
- [5] 周勇, 张嘉林, 王桂珍, 等. Android 平台下人脸识别系统的研究与实现 [J]. 南京工程学院学报, 2013, 11 (1): 53-57.
- [6] Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of internet point detectors [J]. Int. Journal of Computer Vision, 2000, 37 (2): 151-172.
- [7] 刘建斌, 易灵芝, 王根平. 基于以太网互接口的新型门禁系统 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (3): 688-690.
- [8] 姜波, 李瑞, 何培重. 基于 VC++ 的门禁管理系统设计 [J]. 中国仪器仪表, 2012, 20 (3): 63-67.
- [9] 徐勇. 基于 ARM 门禁系统的设计与实现 [J]. 通信技术, 2010, 43 (10): 117-119.

(上接第 227 页)



图 7 系统运行效果图

设计, 包括手机端 APP 的编译, 嵌入式系统移植、图像采集程序及上传模块, 服务器人脸识别系统的搭建编译等。经多次测试结果表明, 该门禁系统识别率高, 运行稳定, 具有良好的应用前景。