学 号

密 级

哈尔滨工程大学本科生毕业论文

基于GPRS和ZigBee技术的智能家居设计

院（系）名 称：信 息 与 通 信 工 程 学 院

专 业 名 称：微 电 子 学

学 生 姓 名：盘 益 强

指 导 教 师：郜 丽 鹏 教授

**2011**年**6**月

基于GPRS和ZigBee技术的智能家居设计 盘益强 哈尔滨工程大学

哈尔滨工程大学本科生毕业论文

基于GPRS和ZigBee技术的智能家居设计

院 （系）： 信息与通信工程学院

专 业： 微电子学

学 号： 07084107

学 生 姓 名： 盘 益 强

指 导 教 师： 郜 丽 鹏 教授

2011年6月

摘 要

人类生活环境是在逐步提高和改进的，每个人都可以按自己的意愿生活。现代化的家居给了我们更舒适更方便的体验，随着计算机技术和通信技术的迅猛发展，人们对居住环境也有了更高、更具有想象力的要求。现代化的安全、舒适的生活空间成为未来家居的发展方向。很多时候，人们希望能够利用发展的技术为自己提供便捷舒适的服务，智能家居技术也应运而生。它参与家庭电气设备的监控与管理，能在符合主人的意愿下自动调整家庭环境的各种参数。智能化学习用户的生活习惯，并能在危急发生时自动报警，从而满足用户对家居环境的需求。

本文以智能家居中的环境监控，人机交互为研究对象，根据以往传统智能家居发展中的不足和利用最近时期主要应用于家居电气连接的IEEE802.15.4提出的ZigBee标准实现一个智能家居监测系统。在该系统中，ZigBee子节点对环境信息进行采集，通过无线ZigBee网络发送到智能家居平台。智能家居平台基于当前情景模式对信息进行处理，实现智能完成各项指标监测、一体化控制、自动手机短信报警等多种功能。本文的主要研究内容如下：

1. 综合分析当前智能家居采用的总线技术，根据其技术的缺点及现有的无线互联技术提出智能家居网络的互联技术实现方案。
2. 研究ZigBee发展状况，对ZigBee网络及协议做出详细的分析。
3. 设计出基于系统预期指标的电路系统，并分别从硬件与软件的角度进行对设计做详细介绍。
4. 从实际使用的角度对系统进行了优化与整合。如子节点节能设置、便于组网、一键设置或取消报警等功能。

与传统智能家居系统相比该系统具有免布线，子节点支持的电源输入方式多、维护方便、扩展性好、灵活性好等优点，可易于用于实际应用中。

**关键词：**ZigBee;GPRS;CC2531;Z-Stack;智能家居

**Abstract**

Human living environment is gradually increased and improved, and everyone can live their own lives. Gave us the modern home more comfortable and more convenient experience, with computer technology and the rapid development of communication technology, people have higher living environment, more imaginative requirements. Modern safe, comfortable living space to become the future home development. Many times, people want to take advantage of evolving technology to provide convenient and comfortable for their services, smart home technology came into being. Its participation in household electrical equipment monitoring and management, in line with the wishes of the owner to automatically adjust the various parameters of a family environment. Intelligent learning the user's living habits, and can occur in the critical alarm to meet the needs of users of the home environment.

In this paper, smart home environment monitoring, human-computer interaction as the research object, according to the development of traditional lack of intelligent home and use the most recent period is mainly used in household electrical connection of the ZigBee standard IEEE802.15.4 proposed to implement a smart home monitoring system. In this system, ZigBee child node collection of environmental information, through wireless ZigBee network to a smart home platform. Smart Home platform is based on the current profile of information processing, intelligent completion of the indicators for monitoring, integrated control, automatic phone message alarm and other functions. The main contents are as follows:

(1) Comprehensive analysis of the current home bus used in smart home technology, according to its technical shortcomings and existing wireless Internet technology made the intelligent home network interconnect technology programs.

(2) development of ZigBee, the ZigBee protocol network and make a detailed analysis.

(3) design a circuit based system is expected to target system, and separately from the point of view of hardware and software design are described in detail.

(4) from the perspective of the actual use of the system optimization and integration. Energy-saving settings such as child nodes to facilitate networking, a key set or cancel the alarm.

Compared with the traditional system of the smart home wiring system is free, child nodes, the power input to support multiple, convenient maintenance and good scalability, flexibility, etc., can be easily used in practical applications.

**Key words:**ZigBee;GPRS;CC2531;Z-Stack;Home Automation

目 录

1. **概述**

**1.1智能家居的背景**

20世纪以来电子技术取得革命性的突破，计算能力呈几何级数递增。计算机借助网络通信，实现资源共享，信息互通。

互联网主要解决人与人之间的通信，物联网则主要实现人与物、物与物之间的通信。物联网的基础设施在一定程度上与互联网重合，但从应用角度看，物联网大大扩展了互联网的应用领域。通过物联网，可以帮助实现人类社会与物理世界的有机结合，使人类可以以更加精细和动态的方式认知世界，并进行管理与控制，从而提高整个社会的信息化水平。物联网、泛在网(Ubiquitous Network)的概念出发点和侧重点不完全一致，但其目标都是突破人与人通信的模式，建立物与物、物与人之间的通信。由于物联网是继电信网和互联网实现人与人通信之后，着重连接物理世界的应用及相关产业，因此是走向泛在网的重要一步。90年代开始，微处理器嵌入到各式各样的电子设备中，使得控制无所不在。但直到如今，很多人与生活环境的控制，反馈，都是依赖于人本身作出的。现代生活要求安全、舒适、便捷的居家环境。利用日益增加的计算密度、丰富的互联网资源、低功耗的无线组网系统来实现人对环境更便捷、智能的控制，才更能体现出新时代无处不在的计算的情景。

智能家居（Home Automation）是以家庭住宅为平台，利用建筑、网络通信、设备自动化、信息家电等集合智能系统、结构、服务、管理为一体构建出高效、舒适、安全、便利、环保、卫生的家庭居住环境。随着信息技术和网络技术的高速发展及人们居住理念的变化与提升，人们越来越追求生活细节的简单化和智能化，希望在日常家居生活中都能置入智能化程序，享受“一键0K’’式的简单生活操作。

通常，智能家居被定义为一个过程或者一个系统，利用先进的计算机技术、网络通讯技术和综合布线技术，将与家居生活有关的各种子系统有机地结合在一起。与普通家居相比，智能家居不仅具有传统的居住功能，提供舒适安全、高品位且宜人的家庭生活空间并具有全方位的信息交换功能，帮助家庭与外部保持信息交流畅通，优化人们的生活方式，帮助人们有效安排时间，增强家居生活的安全性，甚至为各种能源费用节约资金。

**1.2智能家居的发展现状**

目前，已经有多款网络信息家电产品上市，虽然仍然处于市场开拓阶段，但是在业界和技术进步的不断推动之下，相信在不远的将来信息家电势必将占领家电市场，全面取代传统家电。

自世界上第一幢智能建筑于1984年在美国康涅迪格州出现后，美国、加拿大、欧洲、澳大利亚和东南亚等经济比较发达的国家和地区先后提出了各种智能家居方案。智能家居的基本功能是网络接入系统、防盗报警系统、消防报警系统、电视对讲门禁系统、煤气泄露探测系统、远程抄表(水表、电表、煤气表)系统、紧急求助系统、远程医疗诊断及护理系统、室内电器自动控制管理及开发系统、集中供冷热系统、住宅网上购物系统、语音与传真服务系统、网上教育系统、股票操作系统、视频点播系统、付费电视系统、有线电视系统等等，在美国、德国、新加坡、日本等国都有广泛应用。

目前在新加坡有近30个社区近5000户的家庭采用了“家庭智能化系统”，美国已有近四万户家庭安装了这一类的“家庭智能化系统”，现在已经有更多的住宅安装上这一类高科技智能化系统产品。三星已经开始在中、韩两国同时推出其智能家居系统，通过机顶盒和网络，将家居自动化控制、信息家电、安防设备以及娱乐和信息中心这四部分集成一个全面的，面向宽带互联网的家居控制网络。

根据美国该行业之专业顾问公司PARKS的统计资料显示:到2004年，家庭网络市场总额达57亿美元。据国际专家预测，2006年市场可达225亿美元。

在标准方面，国际市场也是各行其道，未能统一，主要包括两大集团:以索尼、英特尔、微软、飞利浦、惠普、诺基亚等17家TI巨子发起的数字家庭联盟DLNA，该组织会员企业达到160家;以及另一个由松下、索尼、NEC、东芝、三菱、三洋、日立等14家日本企业组成的UOPF组织。

在国内，智能家居相关产业链的厂商也日益增多，其产品服务日益丰富，使人们的智能家居需求一步步变为可能。目前国内主要的一些家居系统有北京博泰克的易豪思(eHouse)智能家居系统、上海奥卓电子的“智居时代”、天津瑞朗专业X一10智能家居系统等，产品主要是有线方案的应用，也有部分系统中包含了无线接口的应用。

中国境内的家居智能控制系统产品很多，据估计有数百个品种，小至三五个人的小公司，大至几千人的国企，都有人涉足家居智能化产品的研发和

生产。于是，中国就产生了几百个互不兼容的标准，至今还没有一个能够占领国内市场10%的家居智能控制系统产品。随着市场竞争的加剧，大部分中小企业会被迫退出这个市场，但他们已安装在各地的小区内的产品将变成“孤儿”，受害者当然是业主或用户。这将是一种十分可怕的情景。因此，2005年6月以联想牵头的“闪联”和以海尔为首的“e家佳”，同时被信息产业部确定为行业推荐性标准，拉开了数字家庭竞争的序幕。由此可见，在技术没有太大瓶颈的今天，推进标准化进程是家居智能化的必由之路，也是当务之急。

**1.3智能家居系统通信协议及发展状况**

国际上对于智能家居环境监测系统的研究同步于智能家居系统的研究，其主要研究问题之一是如何采用统一的技术标准来实现家庭各监测设备之间的连接与通信，从而设计出满足用户需求的环境监测系统。由于各国智能家居行业发展情况不同，家庭总线技术标准也各异，因此，实现家庭各监测设备之间的连接与通信方式也各有差别。目前，国内外主要采用的技术方案为有线方式，常用的有线技术标准，如：美国的 X-l0 和 CEBus (Consumer Electronics Bus)、欧洲的 EIB (European Installation Bus)、日本的 HBS (Home Bus System) 等。

（1）X-10

X-10 是一种国际通用的智能家居电力载波协议。采用这种协议的兼容产品可以通过电力线实现相互通信，无需重新布线。使用时，控制组件可插入室内不同的电源插座，家庭其他系统内的设备就可以执行控制命令，整个系统被控制的电器可多达 256 路。目前，许多国家已将它广泛的应用于家庭安全监控、家用电器控制、室内照明控制、背景音乐控制和住宅仪表数字读取等方面。

（2）CEBus

消费电子总线（CEBus）是美国电子工业协会（EIA）的开放标准（EIA-600），其目

标是建立一个针对家用电子产品的开放性协议，允许用户以很小的代价实现在系统中加入新的家电产品，减少家用电子产品设备功能的冗余。1997 年，CEBus 的 EIA-600 正式成为美国 ANSI 标准。消费总线使用五种类型的介质（电力线、无线、红外、双绞线和同轴电缆），鉴于家庭中电力线载波通讯的特殊性，CEBus 以电力线作为物理层的传输介质，采用扩频载波（spectrum spread carrier）通讯来实现控制流，其数据传输速率为 10Kbps。CEBus同时也得到了 IBM、Honeywell、Microsoft、Intel、Demosys、Lucent、Philips、Siemens、XLSynergy 等国际著名公司的支持。

（3）EIBEIB 标准在欧洲被称为 European Installation Bus，即欧洲安装总线。它是由 110 多个欧洲电气制造商联合成立的协会组织制定的。该该协议已被美国消费电子制造商协会（CEMA）吸收作为家庭网络 EIA-776 标准。EIB 是一个基于事件控制的分布式总线系统。系统采用串行数据通讯进行控制、监测和状态报告。其数据传输和总线装置的电源共用一条电缆 24V 的直流电源。所有总线装置均通过共享的串行传输连接（即：总线）相互交换信息。数据传输按照总线协议所确定的规则进行，总线的访问需要访问控制，EIB 采用CSMA/CA（避免碰撞的载波侦听多路访问协议）。

（4）HBS

日本提出的家庭总线系统（Home Bus System，简称 HBS）是在 HBS 标准委员会的制定下成立的智能家居总线标准。HBS 系统由一条同轴电缆和 4 对双绞线构成，前者用于传输图像信息，后者用于传输语音、数据及控制信号。各类家用设备与电气设备均按一定方式与 HBS 相连，这些电气设备既可以在室内进行控制，也可在异地通过电话进行遥控。

除了以上常用的总线技术外，其他的有线总线技术规范还有：CANBus、LonWorks、RS-485、Ethernet 等。

目前，我国的家庭智能化系统还处于从无到有的初级发展阶段。近几年来，在各大公司和媒体的强大概念宣传攻势下，我国智能家居行业逐渐形成，可用的、接近现实需求的产品不断增加，集成商、开发商以及装修公司己经积累了很多经验。另外，国内各大电器厂家也适时推出了自己的智能家居系统与标准，如科龙集团研制的“智能网络家居系统”，海信的“智能家居控制系统”，清华同方的“e-Home 数字家园”，方正“卓越 3000”等。

这些系统都可实现对家居环境的智能监测与安防监控功能。

虽然以上有线技术能够让各个监测设备彼此连接通信，实现对环境的监测与处理。但根据智能家居环境监测系统的特点，当采用有线技术方案时，它存在如下几个方面的缺点 ：

（1）系统布线麻烦。当系统监测对象个数达到一定数量时，对各个监测点分别进行

布线将是一份繁重的工作；

（2）安装与维护成本高。在系统安装时，除了需要购买安装线缆外，还需购买额外

的安装建材。当用户要增加或减少系统部分硬件功能时，需要专业施工人员才能完成；

（3）系统可扩展性差。增加或减少新的监测对象必将要求系统具有良好的软件与硬

件扩展性。硬件可扩展性是有线技术方案的主要技术难点之一。

（4）移动性差，影响美观。过多的走线必将影响系统的移动性与建筑的美观性。 针对以上缺点，选择无线网络技术实现环境监测系统的设计将是一种必然的发展趋势。无线网络不仅可以提供更大的灵活性、流动性，省去花在综合布线上的费用和精力，而且还能整合现有系统资源，充分利用系统已有的各项功能，提供更实用、易用、人性化、智能化的服务，全面提升家居智能化的水平，体现智能家居的发展方向。

**1.4当前无线网络技术状况**

无线局域网是计算机间的无线通信网络。相比有线通信的悠久历史，无线网络的历史并不长，特别是充分发挥无线通信的“可移动”特点的无线局域网则是20世纪90年代才出现的。1985年，美国联邦通信委员会(FederalCommunicationCommittees，FCC)授权普通用户可以使用ISM频段，把无线局域网推向商业化发展。FCC定义的ISM频段为902～928MHz，2.4～2.4835GHz和5.725～5.875GHz三个频段。目前世界上大部分国家的无线电管理机构也分别设置了各自的ISM频段，1996年我国无线电管理委员会开放了2.4～2.4835GH(IEEE标准)的ISM频段。ISM频段的免费开放对无线产业产生了巨大的积极影响，保证了无线局域网元器件的顺利开发。

近几年，由于数据通信需求的推动，加上半导体，计算机等相关电子技术领域的快速发展，短距离无线通信技术也经历了一个快速发展的阶段。各种新的短距离无线技术不断的被提出并取得了令人瞩目的成就。如WLAN技术、HOMERF技术、蓝牙技术、移动组织网络技术(AdHoc)、HPIERLAN、UWB以及近年兴起的ZigBee技术等。其中ZigBee的特点是近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本，符合IEEE802.15.4 协议，是 IEEE 工作组专门为家庭短距离通讯制定的新标准。

ZigBee无线通信技术与这些照明智能系统控制技术相比，具有无线传输、网络容量大、传输速率相对较高、协议和占用频段免费的优点，它与DALI标准的结合可以满足集中控制、大规模组网、近似线性调光等要求。并且，由于全球金属价格上涨、电缆回收利用率不高等原因，无线通信已经成为今后网络控制的发展方向。

**1.4.1 ZigBee 技术**

ZigBee 技术是一种新兴的短距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线网络技术，它是一组基于 IEEE 802.15.4 无线标准研制开发的有关组网、安全和应用软件方面的通信技术。它有自己的无线通信标准，可在数千个微小的节点之间相互协调实现通信。这些节点只需要很少的能量，以接力的方式通过无线电波将数据从一个节点传到另一个节点，它们的通信效率非常高。ZigBee 技术具有以下几个显著特点：

（1）节点功耗低。节点的收发距离短，所需功耗低。另外，ZigBee 技术配合芯片采用了多种节能工作模式，可以确保两节五号电池支持长达 6 个月到 1 年半左右的使用时间 ；

（2）网络的自组织强。ZigBee 具有自组织功能，网络节点工作无需人工干预，并能够感知其他节点的存在，并确定连接关系，组成结构化的网络；

（3）网络容量大。一个 ZigBee 网络可容纳多达 65,000 多个节点，每个节点可以容纳最多 254 个从设备，一个区域内可以同时存在 200 多个 ZigBee 网络；

（4）时延短。典型搜索设备时延为 30ms，休眠激活时延为 15ms，活动设备信道接入时延为 15ms；

（5）开发成本低。由于网络协议简单，开发时间成本较低，而且 ZigBee 协议免除专利费，ZigBee 的工作频率采用 ISM 频段，选择灵活。同时，各大半导体公司也设计出了适合 ZigBee 技术规范的芯片，价格较低廉。

**1.4.2 蓝牙技术**

蓝牙（Bluetooth）是由爱立信公司于 1994 年首先提出的一种短距离无线通信技术规范，这个技术规范是使用无线连接来替代已经广泛使用的有线连接。它作为一种小范围无线连接技术，能够在设备间实现方便快捷、灵活安全的数据和语音通信，是目前实现无线局域网的主流技术之一。

蓝牙无线技术采用了跳频技术，使用全球通用的 2.4GHz 频带进行通信，以确保能在世界各地广泛使用，具有较高的抗干扰能力和安全性能。蓝牙的最高速率为 1Mbps，有效通信距离一般为 10 米。然而使用蓝牙技术实现无线通信，需要专门的蓝牙芯片来实现，而且，蓝牙协议栈的大小在 60-150KB 左右，协议的复杂度大，同时对内存资源的需求也较大。

**1.4.3 Wi-Fi 技术**

Wi-Fi 是 IEEE 定义的一个无线网络通信的工业标准（IEEE 802.11x）。它定义了介质访问接入控制层（MAC 层）和物理层。物理层定义了工作在 2.4GHz 的 ISM 频段上的两种无线调频方式和一种红外传输的方式，总数据传输速率设计为 2Mb/s。两个设备之间的通信可以按自组织网络（Ad Hoc）的方式进行，也可以在基站（Base Station）或者访问点（Access Point）的协调下进行。1999 年增加了两个补充版本：802.11a 与 802.11b。802.11a 定义了一个在 5GHz 的 ISM 频段上的数据传输速率可达 54 Mb/s 的物理层；802.11b 定义了一个在 2.4GHz 的 ISM 频段上且数据传输速率达 11 Mb/s 的物理层，但 802.11a 和 802.11b 无法兼容。 Wi-Fi 的射频和基带协议比较复杂，实现成本高，同时 Wi-Fi 的硬件实现需要较大的容纳空间，它的平均功耗在 1W 左右，无法满足要求低功耗技术的应用。

**1.4.4 红外线数据通信**

红外通信技术是通过红外光进行点对点的传输数据技术。其数据传输速率已从115.2Kpbs 发展到 4Mbps、16Mbps。目前，支持该技术的软硬件技术都很成熟，在小型移动设备（如 PDA、手机、笔记本电脑）上已经被广泛使用。它具有移动通信所需的体积小、功耗低、连接方便、简单使用、成本低的特点。 由于红外光线沿直线传输、易受遮拦，通信范围短（1-3m），收发装置的光路夹角要求在一定的范围内，且只支持点对点通信，因此，该技术很少用于无线网络的设计中。

**1.4.5 超宽频技术（UWB）**

UWB（Ultra Wide Band）是一种短距离的无线通信方式。其传输距离通常在 10m 以内，使用 1 GHz 以上带宽，通信速度可以达到几百 Mbps 以上。UWB 不采用载波，而是利用纳秒至微微秒级的非正弦波窄脉冲传输数据，因此，其所占的频谱范围很宽，适用于高速、近距离的无线个人通信。FCC 规定，UWB 的工作频段范围从 3.1 GHz 到 10.6 GHz，最小工作频宽为 500MHz。其典型的技术优势在于传输速率高、发射功率低、保密性强，然而它自身也存在通信技术的不足，如 UWB 系统占用的带宽很高，系统可能会干扰现有其他无线通信系统；另外，由于其调制时脉冲持续时间很短，瞬时功率峰值可能会很大，这甚至会影响到民航等许多系统的正常工作。

**1.4.6 近距离无线传输（NFC）**

近距离通讯技术 NFC（Near Field Communication），是类似于“非接触式射频识别” （RFID）的短距离无线通信技术，与 RFID 不同，NFC 采用了双向的识别和连接，在 20cm距离内工作于 13.56MHz 频率范围。NFC 通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据，识别工作无须人工干预，任意两个设备（如移动电话）接近而不需要线缆接插，就可以实现相互间的通信，可以满足任何两个无线设备间的信息交换、内容访问、服务交换，为所有消费性电子产品提供了一个极为便利的通讯方式。然而，由于其数据收发距离短，在实现智能家居无线网络技术方面，它不能作为主要的技术手段。 根据以上对目前多个无线网络技术的介绍和分析，在智能家居系统中采用ZigBee无线网络技术是十分适当的。

**1.5课题研究的意义**

**1.5.1 传统智能家居的特点及不足**

随着电子、电气科技的升级，传统家居走向智能化。每种家居都向着智能自动化迈进，但是由于家居电气、安防的生产商的不同，致使每种家居都相互独立，互不连通。并且，人们在享受这些产品提供的服务的同时，往往束缚与电缆、数据线的前期铺设、后期维护升级的问题，并且不易进行后期扩展。另外，金属线缆的老化对人类生活有相当大的安全隐患，还会对环境造成污染。因此，无线互通技术、各种家居电气之间的协调方案及机制将成为未来家居科技发展的方向，也是传统智能家居无法实现的。

**1.5.2 智能家居设计的主要考虑因素**

与家居数据通信网络的核心目标不一样，家居控制系统需要的是低速率低成本的控制手段。音视频等大数据传输可能需要高速的通信接口来维持，而控制网络在于设备的互连和控制功能，不需要高速率、高QoS(Quality of Service)的通信技术来支撑。从实用的角度来看，控制系统需要的是能提供更为便利的低成本组网。在家居网络中，应该要考虑以下特点:

(1)低成本 家庭控制网络中控制的对象主要是大量的家电和传感器终端节点，这种较大规模的网络需要一个低成本的节点组网技术。

(2)标准化 需要各个家居组成部件之间互相通信，标准化的工作非常重要。

(3)跨平台 智能家居系统的环境形形色色，连接起不同的平台才是未来智能家居发展的方向。

（４）自组织 不能期望用户能够对系统进行复杂的配置和管理，智能家居系统应该在无线网络资源进行自组织和协同工作。

（5）可扩展性 系统能在不做大的变动情况下，能够自动地进行软件升级和功能增加。

（6）嵌入式应用 以应用为中心，以计算机嵌入式Web技术为基础，软硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。系统可以不依赖PC实现对网络、控制的操作，并且可以根据用户需求定制专门的应用。

**1.6课题研究的主要内容**

智能家居系统通过GPRS模块与ZigBee网络的结合，实现具有基本智能家居的监测、协调、控制系统。

主要的研究内容有：

1. 无线传感器网络覆盖：端点间传输距离不小于40m；
2. 人机交互：通过手机短信获取智能家居环境信息，控制响应时间小于1分钟；
3. 监控数据更新速率：每次更新时间不大于5分钟；
4. 易于组网：能实现自由配对，监控子节点加入新网络时间不大于2分钟；
5. 节能：在使用一对新AA型电池情况下的工作时间不低于1个月，响应时间小于10S。

**1.7本章小结**

介绍了智能家居的概念及特点，分析了今年来智能家居采用的技术及发展方向，在参考传统家居的局限性及新时代的主要考虑因素后提出了研究课题的主要内容。本章着重描述了当今世界无线通信技术的发展趋势，尤其是ZigBee技术的特点及其发展优势。

ZigBee无线技术可以广泛应用于照明、保安、工业控制、医疗监测、楼宇办公自动化等方面，并且以其低成本、低功耗、大容量、高灵活性的特点，在低速、近距离的场合占据了很大的市场先机，其市场将会日趋增长和扩大。

1. **智能家居系统的设计分析**

**2.1引言**

智能家居的基本目标是为人们提供一个舒适、安全、方便和高效率的生活环境。智能家居系统的硬件和软件应具有先进性，避免短期内因技术陈旧造成整个系统性能不高和过早淘汰。同时，应立足于用户对整个系统的具体需求，具有实用性。无论是系统中的设备、软件还是网络拓扑结构，都应具有良好的开放性。网络化的目的在于要实现设备资源和信息资源的共享，因此，计算机网络本身应具有开放性，并应提供标准接口。用户可根据其需求，对系统进行拓展或升级。

本系统采用GPRS模块发送短消息的方式来实现对家具环境查看控制，并且手机操控的方式来实现家居监控。在有网络的地方，主人可以通过手机短信来查看家中各设备、环境状况。同时用手机对家庭进行监控弥补了通常智能家居控制的操作距离短、地域限制等问题，本系统可以扩展应用于多种无人职守地区的监控安防等场所。

针对目前智能家居的技术状况和发展趋势，结合未来的家居生活的需求，未来的智能家居系统应该朝着个性化、人性化、简易化的方向发展，具体特性如下：

1）系统架构的灵活性：针对不同的家庭应用，系统架构可以灵活的调整，节点的加入和删除，用户在使用过程中都可灵活调整。

2）无线技术的应用：彻底摆脱了有线通信的束缚，极大的提高了系统的可扩性和方便性，代表未来智能家居的发展方向。

3）个性化的配置：系统采用模块化设计，用户根据自己不同的需求，配置不同的功能模块，实现 DIY 的功能。

4）人性化、简易化的使用：具有大屏幕的触摸操作显示屏，用户操作方便直观。

5）操作方式的多样性：除本地操作外，支持远程电脑和电话手机的远程操作方式，用户可以在各个地方都可以实时的监控家庭设备。

6）系统集成的方便性：可以简单、可靠的对接第三方的系统，或者融入其他系统中，实现更强大的功能。

针对以上的几种特性和趋势，我们设计了基于无线的智能家居控制系统，总体设计框图如图 2-1 所示。整个智能家居控制系统主要有控制器类设备（家庭主控制器（家庭网关）、家庭子控制器（房间区域控制器））、移动遥控设备、智能终端类和配置器类设备共 4 大类设备组成。

由于智能家居整个系统架构采用无线通信，我们在设计的系统架构的时候结合无线技术的特点和智能家居的用户需求，为了实现网络的实时性而又尽可能的不影响数据的传输，在网络设计的架构上采用两层网络，第一层：家庭主控制器（家庭网关）和家庭子控制器（房间区域控制器）之间；第二层：家庭子控制器和智能终端设备之间。

家庭主控制器类似 ZigBee 网络中定义的网络协调器（Coordinator），在智能家居系统中的主要的功能是对内完成组网和网络管理的功能，实现系统内设备的控制和管理，对外实现与外部设备的互联，与公共网络相连实现远程控制，与智能电网中的智能电表相连实现信息交互与互动；家庭子控制器的功能是管理自己所在区域的设备和功能实现，类似 ZigBee 网络中定义的网络协调器（Router）；而智能终端设备就类似 ZigBee 网络中定义的终端（end device），实现对负载的直接控制。数据的传输按事件触发的方式生产，也就是在无用户操作的情况下，网络中除了 ZigBee本身的动态数据外，和控制相关的数据是没有的，家庭子控制器区域内的数据交换通过家庭子控制器来完成，不需要家庭主控制器的参与，涉及到全局的控制和跨区域的控制，才需要主控制器的参与协调，减少网络数据的流量，为实时控制提供了保障。

在节点比较少的系统中，我们可以进一步简化网络架构，去除家庭子控制器这一级的设备，采用直接主控制器管理和控制终端设备的方式。

**2.2 智能家居控制系统的架构**

对于一个普及型的智能家居环境，在一个小区中，智能家居系统与周围的交互按功能可分为以下：

网络服务接口

小区物业的管理与服务的信息接入

用户控制及交互

智能家居系统

居住环境信息采集

安全防御监控系统

家电控制与管理网络接口

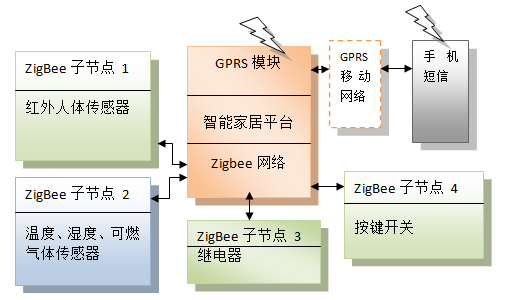
(1) 家电控制与管理网络接口:家庭内部各种家用电器(电视、冰箱、空调、洗衣机、微波炉、照明灯等)通过有线或无线连结，组成网络，交换信息。智能家电控制系统主要目的是实现家用电器的智能化控制，主要包括家用电器的智能控制和智能型插座。家用电器主要包括空调、电动窗帘及其他一些带红外通信接口的第三方设备，智能控制主要体现在通过探测室内人体状况实现对空调温度、窗帘开度的智能调节，当人体感应探头检测到房间里没有人，或者房间的窗户和房门被打开时，系统自动关闭空调系统，或者自动调节空调的设定温度，以达到节能的目的；智能插座主要功能是实现节能和增加电器的使用寿命，家庭生活中电器的数量也越来越多，由于生活习惯等问题，许多电器在不使用的情况下一般都没有被切断电源，设备一直处于待机的工作状态下，这样即浪费能源又减少电器的使用寿命。通过对墙壁插座电源的开关控制来实现，传统的耗能家电，如：浴霸、热水器、饮水机、厨房电器、电视音响、空调等等。系统通过对这些区域的插座电源进行开关控制：当系统进入夜间工作后，自动切断电源的供给，在系统进入白天工作状态时，重新恢复供电。用户离家时，按下离家按键，墙壁电源将自动切断。通过这些自动和手动的措施，避免这些电器无意义的待机耗电现象。考虑到生活上的习惯，并节省系统控制资源。冰箱电源、书房和主卧的电源，直接连接入户电，不受系统控制。

(2) 安全防御监控系统：安全是居民对智能家居的首要要求，家庭安防由此成为智能家居的首要组成部分。家庭安防报警包括门窗报警、紧急求助报警、燃气泄漏报警、火灾报警、小区周界防卫、家庭可视对讲、门禁控制、防盗报警、防灾(防火、防燃气泄漏、水溢漏等)。

(3) 网络服务接口:Internet、视频电话、小区局域网等通过网关进入家庭。

(4) 小区物业的管理与服务的信息接入: 提供全方位的信息交互功能，小区信息服务系统提供了一个小区物业与用户的交互平台，物业管理中心与家庭主控制器联网，对用户发布信息（例如小区的停水停电信息），用户也可通过家庭主控制器的交互界面选择物业管理公司提供的各种服务（水电气三表信息的上传、相关设备的报修等）小区管理中心可以对辖区内设备、环境实施监控和管理，可以对来自住户家庭的求助报警等做出相应反应。

从控制层次来分，家居控制网络一般由家庭设备节点、家庭控制网络子网、家庭网关、外部网络几部分来组成。

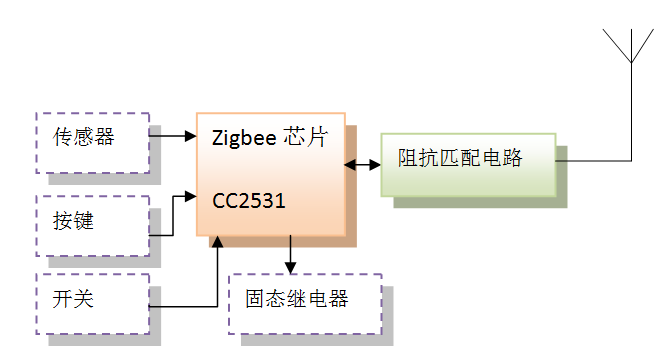


智能家居系统网络控制子网设备示意图

外部网络为家居系统提供高速Internet接入，或者提供无线广域网接口，或者是移动互联网络，使得家庭内部可以自由访问外部网络。

家庭网关是智能家庭局域网的核心部分，主要完成家庭内部网络各自不同通信协议之间的转换和信息共享，以及同外部通信网络之间的数据交换功能，同时网关一般还负责家庭智能设备的管理和控制。

家庭控制子网完成家庭内部各设备节点通过通信模块之间的互联。为实现家用电器的网络功能，每台家电都要拥有通信模块。对于不同的物理介质，需要有不同的通信模块。一般分为有线和无线两种通信方式。通信模块是传统家电升级为网络家电的接口，为保证各家电之间以及家电网络和网关之间的正确通信，必须制订一套完整的通信协议。

****

ZigBee子节点模块示意图

**2.3 智能家居系统的互联技术**

家庭网络互连是指在家庭范围内将PC、电话机、各类智能终端、家电、安防系统、照明系统与广域网相连接的一种新技术。而家庭内部组网主要是解决各种信息家电之间的数据传输，能把外部连接传入的数据传输到相应的家电上去，同时可以把内部数据传输到外部网络。

目前关于家庭内部网络有许多种解决方案，主要是有线，无线方式以及有线与无线混合。传统的有线方式包括电力线载波x一10和CEBuS、电话线的HomePNA、以太网IEEE802.3以及专用总线LonworkS和IEEE1394等。随着技术的进步，无线传输方式也很多，例如红外通讯技术、蓝牙技术、Wi一Fi技术，HIPeLrAN以及近年兴起的ZigBee技术等。有线与无线的混合网络能更好的满足家庭用户的需求及未来升级需要。

有线方式

现有的家庭网络中，比较多采用有线技术进行家庭控制网络的组建，这类方案总的特点是扩展性能差，布线繁琐，影响美观。

电力线

用电力线作网络信息的传输介质有很大的优势:现在的家居中绝大部分都己经敷设了电源线，不需要另外布设电缆，降低施工难度。但对于家庭中所使用的手持移动设备来说，就无法采用电力线来接入家庭网络，它的缺点还在于传输速率只有30OKb)sl，不能满足数字视频和音频信号的传输，保密性较差，而且没有统一的标准。目前国际上采用电力线作为联网介质推出的解决方案有x一10、CEBUS等。

电话线

它是通过在电话线上加载高频载波信号来实现信息的传递，可同时满足XDSL、电话业务、家庭内部数据传输，互相不干扰。利用家里墙上预留的电话插座，可以避免重新布线的烦恼，但是家庭中不可能随处都安装有电话插座，买来新家电时还是面临重新布线的烦恼。

以太网

采用专门铺设的线缆布网，数据传输速率相当高，可达到10Mbit/s或IOOMbit/s，能够传输电话、数据、视频和家电控制信息，主要用于基于个人电脑的有线局域网和高速因特网。它的优势在于技术己经十分成熟，以太网的组网设备在市场上可以很容易买到，以太网本身的实现成本并不高，但专门布线需要花费大量的费用。家庭中的用户可能更愿意使用家居己布好的电缆或电话线，而不愿意重新安装。因此就目前来说，以太网可能是家庭网络发展初期的首选方案，但不是家庭网络的最终选择方案。

专用总线

通过采用专用总线的形式来组建家庭控制网络并和智能小区相连，如LONWORKS、RS485总线。它的优点是抗千扰能力强，技术成熟;缺点是需要重新铺设线路。

无线方式

近距无线技术近年来迅速发展，下面将对这些技术做一个简单的分析和比较。

IrDA

IrDA红外线技术是家庭无线控制网络的一个选择，它设备简单，价格低廉，很容易推广。而且现有的家电通常具有红外线遥控接口，很容易融入到这样的网络中。但是，红外线控制方式的作用距离短，而且要求控制器与接收器之间必须具有目视接触，属于点对点的通信方式。因此，红外使用不很方便，特别是对于家庭组网方式，红外方式明显是不适合的。

WLAN无线局域网标准(1EEE802.11系列)

WLAN标准是面向高速无线组网应用的，在家庭组网中主要用来建立多台CP、Laptop和PDA之间的Ad一hoe连接。早期的802.1lb规范只有1IMbpS的速度，新的802.11a和802.119规范可达54MbPs，但速度随距离增加而下降。这是一种适用于家庭数据网络的无线传输协议。通过家庭网关的设计，可以提供整合控制网络与数据网络的两种接口，使整个家居系统能够成为一个相互联系的整体。

B1uetooth无线个人网标准(1EEE802.15.1)

蓝牙最早是作为电缆的替代的一种低功耗短距离无线接口，实现在移动电话、便携式电脑和其他电子装置之间的无缝连接，进而形成一个个域网，使得其范围内的各种信息化的移动和便携设备都能实现资源共享。

虽然用途上与红外类似，其标准中也考虑到了与红外系统的兼容性，但是由于无线电波比红外线的固有优势，Bluetooth具有更广泛的应用。但是未来的家居网络中设备节点的数量将会越来越多，蓝牙有限的网络容量将会限制其在低速控制网络中的应用。另外，蓝牙的成本始终高居不下，也就导致其无法适用于未来的大规模家居控制网络的应用。目前已经有基于蓝牙的智能家居系统，但是因为系统造价高，所以无法推广开来。

家庭射频技术的HomeRF

HomeRF工作组是由美国家用射频委员会领导、于1997年成立的，其主要工作任务是为家庭用户建立具有互操作性的话音和数据通信网。HomeRF的普及率一度高达45%，在家庭无线联网市场独占鳌头。但由于HomeRF技术标准得到的支持程度、抗干扰能力等方面的欠缺，加上市场营销策略失当、后续研发与技术升级进展迟缓，市场优势逐渐丧失，导致最终Home盯工作组不得不宣布黯然退出无线联网市场的角逐。

低速率无线个人网标准一Zigbee(IEEE802.15.4)

为了满足低功耗、低成本的无线网络要求，IEEE标准委员会在2000年12月份正式批准并成立了工EEE802.15.4工作组，任务就是开发一个低数据率的WPAN(LR一WPAN)标准。它具有复杂度低、成本极少、功耗很小的特点，能在低成本设备(固定、便携或可移动的)之间进行低数据率的传输。Hnoyewell、Invnesys、三菱电气、摩托罗拉和飞利浦半导体五家公司发起成立zigBee联盟，在802.15.4标准基础上制定网络层、安全层和应用层，开发这种技术的市场，推动产品的开发应用。

ZigBee是一种适用于自动化系统与远程控制的无线通讯技术，具有低成本、低耗电、双向传输的特性，而且朝开放性工业标准方向努力。另外，IEEE也将ZigBee收纳为工EEESO2.15.4标准，与ZigBee联盟共同推动此无线低速个人通讯标准(wPAN)。ZigBee适用于一些简单、低成本的无线局域网络，其低耗电特性，只要使用两颗AA电池，即可维持数月甚至数年间不用换电池，对于一般工业环境或家庭都很适用。产品发展初期会以工商业市场为主，透过一些感应器提供如大楼自动化、保全、照明及医疗照顾等功能，初步估计在2004年至2005年间会进入一般家庭市场。至于在家庭内可提供之应用领域则包括:(1)家庭保全系统、(2)空调系统之自动温控、(3)照明、窗帘之远程控制(4)高龄者及残障者之紧急呼叫器(5)电视与音响之万用遥控器(6)无线键盘、鼠标与摇杆(7)烟雾侦测器(8)电子宠物及玩具等等。

IEE802.15.4在提出之初就强调简单、廉价、低功耗:整个ZigBee协议栈大小约为28kbytes，而蓝牙的协议栈大小约为25Okbytes;目前支持ZigBee技术的芯片的价格可以控制在每片$5左右，大量生产后，其售价可望降低至$1左右;ZigBee非常强调低功耗，发送时最大功耗为30mw，占空比约为0.1%，用两节普通AA电池通常可工作半年到两年。尽管相对于802.11、蓝牙等技术而言，它的数据率相当低，但是对于家庭控制应用而言己经足够。本文把系统设计的网络技术建立在对这种低速率无线技术标准的研究基础上，在下一章将对这个技术标准的协议体系展开进一步的论述，以作为进行网络自组织和通信协议设计的理论参考模型。

无线通信技术标准的发展的发展趋势中我们可以看出，无线标准已经不再是只追求高QOS高速率高端应用，人们已经注意到低速率低成本应用的广阔市场前景。工EEE802.15.4是低功耗、低成本、低复杂度、低速率市场需求发展的结果。

表ZigBee与其它几种无线技术标准的比较

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准名称 | ZigBee  IEEE802.15.4 | Bluetooth  IEEE802.15.1 | WiFi  IEEE802-11b | GPRS/GSM  1xRTT/CDMA |
| 主要应用领域 | 监测与控制 | 短距离数据传输，替代电缆 | 宽带无线网络 | 移动语音、数据传输 |
| 系统占用资源 | 4KB~128KB | 256KB+ | 1MB+ | 1MB+ |
| 电池寿命（天） | 100~1000+ | 1-7 | 0.5-5 | 1-7 |
| 网络大小 | 65536 | 7 | 32 | 1 |
| 带宽（Kbps） | 20-250 | 720 | 11，000+ | 64-128 |
| 覆盖距离（米） | 1-100+ | 1-10+ | 1-100 | 1000+ |

由表 可知，ZigBee技术在智能家居网络中的无线互联方面非常合适。本设计采用的是ZigBee自组网技术，有着无线网络易于架设、扩展的优点。

**2.6 本章小结**

本章对智能家居的交互功能作了介绍，对每个不同的应用进行了分类和整理。并且由家居的交互功能提出了智能家居系统的架构，主要由4部分构成：智能家居平台、监控子节点、GPRS交互和ZigBee自组织网络。对智能家居互联技术进行分析，提出了本设计的解决方案。

智能家居系统的主要功能是实现安全、节能、舒适、高效的生活环境。同时在网络的通信架构上采用了无需布线的无线技术，使智能家居的可扩展性和实用性大大提高。

1. **ZigBee通信协议框架**

**3.1 引言**

随着市场对低成本、短距离、低复杂度、低功耗、低速率的无线通信技术的长期需求，2001 年 8 月，ZigBee 技术联盟（ZigBee Alliance）正式成立，专门从事这项技术的研究与标准的制定。于此同时，世界各大 IT 厂商纷纷投入到这种技术的研究之中。2002 年下半年，英国 Invensys 公司、日本三菱电气公司、美国摩托罗拉公司以及荷兰飞利浦半导体公司四大巨头共同宣布加入 ZigBee 联盟。如今，ZigBee 联盟已经吸引了一百多家芯片公司、无线设备公司和开发商作为其联盟成员。时至今日，该联盟还在不断的壮大中。

ZigBee 技术是一种短距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的双向无线通信技术或无线网络技术，是一组基于 IEEE 802.15.4 无线标准研制开发的有关组网、安全和应用软件方面的通信技术。它的目标市场主要是：消费电子、家庭楼宇自动化、工业控制、PC 机外围设备、医疗应用、游戏等。

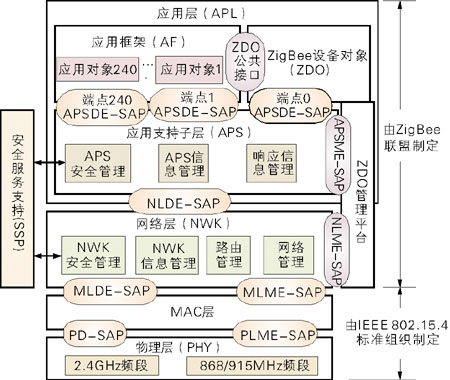
ZigBee 的名字来源于蜂群使用的赖以生存和发展的通信方式，蜜蜂通过跳 Zigzag 形状的舞蹈来通知发现的食物源的位置、距离和方向等信息，ZigBee 技术就是以此作为新一代无线通讯技术的名称。为了形象的记忆，国内有人甚至将其称之为“紫蜂”技术。

ZigBee 技术在国外发展比较迅速，目前已有大量的产品采用 ZigBee 技术作为解决方案。如：英国 PRI 公司的 Home Energy Controller 采用 ZigBee 技术实现家庭电能、天然气使用信息的监测。2004 年 11 月，ZigBee 联盟主席 Robert F. Halle 曾访问中国，以免专利费的方式吸引中国本地企业加入。国内对于 ZigBee 技术的研究主要集中在高校和研究院所，如中科院计算所的宁波分所就在专门从事无线技术的研究，主要侧重于无线网络化智能传感器，计算所自行开发了低功耗的 CPU、多点网络动态组网拓扑协议、网络节点管理软件、无线网络化智能传感器操作系统。国内的一些大学，如浙江大学、山东大学等也在进行 ZigBee 组网和应用的研究，利用国外厂商的开发平台和芯片建立 ZigBee 网络，并应用于智能家居，无线抄表，物流管理，环境监测方面。随着我国对无线技术研究的深入，将会有更多的国产 ZigBee 产品投入市场。

**3.2 ZigBee协议结构**

ZigBee 技术作为一种无线网络标准，它是在 IEEE802.15.4 标准基础上发展而来的，它旨在确定了不同应用制造商之间共享的应用纲要。在标准化方面，IEEE 802.15.4 工作组负责确定的低速率，无线个人局域网络标准，它定义了物理层（PHY layer）和介质访问控制层（MAC layer）的协议。物理层规范确定无线网络的工作频段以及该频段上传输数据的基准传输速率。介质访问控制层规范定义了在同一区域工作的多个 IEEE 802.15.4 无线信号如何共享空中信道。

ZigBee 联盟从 IEEE 802.15.4 标准着手，主要负责网络层（NWK layer）与应用层（APP layer）的协议，以及在高层应用、测试和市场推广等方面的工作。参考开放系统互连（OSI）7 层模型，ZigBee 协议的架构如图 2.1 所示，它主要包括物理层，介质访问控制层，网络层以及应用层。详细的 ZigBee 协议各层功能将在后面章节中介绍。

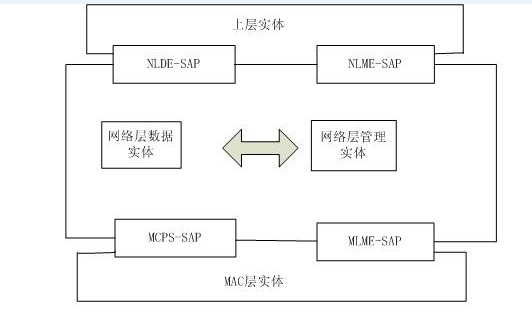


ZigBee 协议的架构

截止目前，ZigBee 联盟总共公开发布了 3 个版本的协议规范：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ZigBee版本 | 发布时间 | 指令集 | 介绍 |
| ZigBee2004 | 2005年6月 | 无 | 第一个ZigBee标准 |
| ZigBee2006 | 2006年12月 | 无 | 不兼容原来的ZigBee 2004技术规范 |
| ZigBee2007 | 2007年10月 | ZigBee | 后向兼容ZigBee2006标准 |
| ZigBeePRO | 2007年10月 | ZigBee PRO | ZigBee2007的增强型标准 |

**3.3 ZigBee 网络构成**

****

ZigBee网络层架构

网络层需要提供保证 IEEE 802.15.4-2003 MAC 层正确操作的函数，并为应用层提供合适的服务接口。网络层为应用层提供了两种服务实体：数据服务实体（Network Layer Data Entity，NLDE）和管理服务实体（Network Layer Management Entity，NLME）的接口。网络层数据实体通过网络层数据实体接入点（Network Layer Data Entity Service Access Point，NLDE-SAP）提供数据传输服务，网络层管理实体通过网络层管理实体接入点（Network Layer Management Entity，NLME-SAP）提供管理服务。同时，NLME 还会利用 NLDE 来完成一些管理任务，同时它负责维护网络信息数据库（NIB）。网络层的逻辑模型如图 所示。

**3.4 ZigBee网络拓扑结构**

ZigBee无线网络可以采用多种配置。在各种网络配置中，至少有两个主要组成部分：协调器节点、终端节点，ZigBee 协调器是全功能设备（FFD）的一种特殊形式，实现更多ZigBee 协议服务。终端设备可以是FFD，也可以是精简功能设备（RFD）。RFD 是最小最简单的ZigBee 协议节点。它仅实现最少的ZigBee 协议服务。在有些网络配置中，可能有第三个组成部分—ZigBee协议路由器。

在前面分析 ZigBee 协议的网络层时，提到了 ZigBee 协议支持三种拓扑结构：星形，簇形和网形结构，如图 3-5 所示。

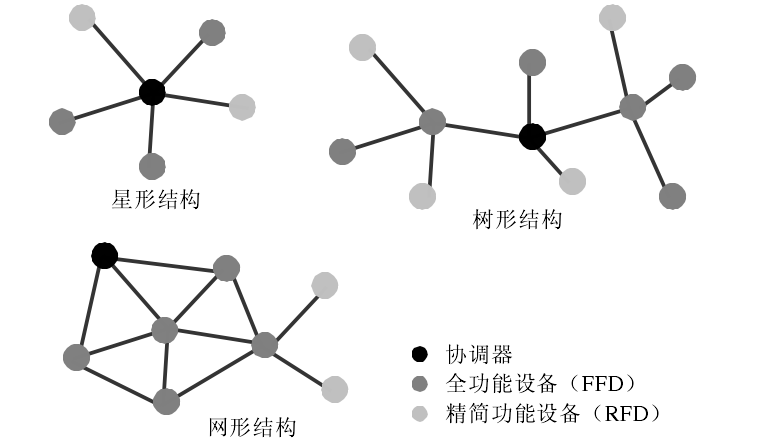


图3-几种ZigBee网络拓扑结构

星形网络是一个辐射状的结构，网络命令和数据都是通过协调器传输，终端设备之间通信也是通过协调器转发，终端设备要么是通信的起点，要么是通信的终点，而协调器也可以是通信的起点或终点。如果要使用通信模块构建星形网络，则只需要将一个模块配置成协调器，其他模块则可配置成终端节点（RFD 或 FFD）。这种拓扑结构基本上使用 64 位（8 个字节）的扩展地址，此外，协调器给加入网络的设备分配 16 位的地址以节省频宽。在这种网络中，网络协调器一般使用持续电力系统供电，而其他设备采用电池供电。

构建星形网络时，最先启动的 FFD 自任 PAN 协调器，并选定一个与其覆盖区域内的其他 PAN 不同的标识作为自身的 PAN 标识。一旦指定了 PAN 标识，网络协调器就可以把其他 FFD 和 RFD 加入到网络中作为终端节点。

星形网络的最大优点是结构简单，这种结构带来的是相对较少有上层协议需要执行、较低的设备成本、较少的上层路由信息和管理简便。在这种结构里，协调器承担了大部分的管理工作。但是这种结构也缺乏灵活性，因为需要把每个终端节点放在协调器的通信范围之内，这必然会限制无线网络的覆盖范围。此外集中的信息涌向协调器，容易导致网络拥堵、丢包、性能下降，当然这也取决与网络中的数据量。到目前为止，星形拓扑结构是最常见的网络配置结构，适合家庭自动化、个人计算机的外设以及个人健康护理等小范围的室内应用。

树形结构是在星形结构连接的基础上发展出的，主要是在星形连接的基础上，增加了若干转发节点。一个树形网络的协调器要发送信息到其他星状网络的子节点上，须通过转发节点进行转发。

树形网络最值得注意的是它保持星形网络结构的简单形：较少的上层路由信息、较低的存储需求，当然其实现成本也比较低。然而，树形网络结构也不能很好的适应外部的动态环境。从图 3-5 中可以发现，在信息的源和目的之间，有且只有一条传输路径，任何一个节点的中断或者故障，都将会使部分节点脱离网络。这种结构主要应用于稳定的无线电射频环境中。

网形结构是为了实现任意节点之间都可以传递信息的目标，在树形结构的基础上发展出来的。网状结构也称为点到点到点方式。网形结构具有很好的环境适应能力，网络中的每一个节点都是一个小的路由器，应用网形连接方式组建的网状无线网络可以提供一个多路由的网络环境，信息可以在这个网络中自由流动，自动寻找最佳途径，快速传输。网形结构与星形、树形结构相比，更加复杂，其路由拓扑是动态的，不存在一个固定的路由模式。这种结构通常应用在高度可靠，可实现的场合。

**3.5 智能家居的网络拓扑结构**

要建立一个无线网络，则必须先根据具体的应用场合选择一个合理的网络拓扑结构。网络拓扑的结构可以决定实现的成本，速度，特点和实现的功能。

在智能家居系统的应用中，内部控制网络中各节点间通信的距离通常通常比较短（小于 100 米），网络中的信息量比较小（通常是几字节到几十字节的信息）；但是由于系统中的大部分节点是嵌入到各种传感器模块中，这些传感器模块通常使用电池供电，而且工作的时间应当比较长（至少 6 个月），因此其对功耗的要求就相对高。

综合考虑各种网络拓扑结构的优缺点以及课题的具体应用背景，最终选择采用星形网络结构。在这种结构里，只需要配置一个协调器，其余设备则可以配置成比较省电的终端节点（RFD），在实际应用中，将家庭网关作为 ZigBee 网络的协调器，负责协调管理整个 ZigBee 网络。

**3.6 智能家居的网络结构特点**

ZigBee技术将主要嵌入在消费性电子设备、家庭和建筑物自动化设备、工业控制装置、电脑外设、医用传感器、玩具和游戏机等设备中，以及支持小范围的基于无线通信的控制和自动化等领域。

通常，符合如下条件之一的应用，就可以考虑采用ZigBee技术做无线传输:

\*设备成本很低，传输的数据量很小;

\*设备体积很小，不便放置较大的充电电池或者电源模块;

\*没有充足的电力支持，只能使用一次性电池;

\*频繁地更换电池或者反复地充电无法做到或者很困难;

\*需要较大范围的通信覆盖区域，网络中的设备非常多，但仅仅用于监测或控制。

根据业务流的特征，ZigBee的应用可以划分成连续性业务、周期性业务和间断性业务三种。连续性业务定义为要求低时延数据传输的业务，键盘、鼠标和游戏杆属于这种类型。周期性业务是在固定的时间间隔传输数据的低速率业务，传感器、流速计和警报系统是周期性业务的代表。而间歇性业务则以不规则的时间间隔传输数据，室内照明设施的开关和家用电器遥控器属于这种类型。

**3.7 本章小结**

本设计的智能家居系统采用的ZigBee自组网网络，本章介绍ZigBee技术演变历史，对ZigBee协议的版本进行比较。简单分析了ZigBee的网络架构，对ZigBee网络拓扑结构进行了介绍，在综合分析对比后，本设计采用了星状网络拓扑结构。对ziBgee网络技术作了完整的介绍，包括ZigBee技术的由来、ZigBee联盟、ZigBee技术的特点以及ZigBee的协议栈等。其中详细叙述了ZiBgee技术的协议栈，对其各个层的功能、作用作了全面的分析。

1. **智能家居系统的硬件设计**

**4.1引言**

在第二章中，对智能家居控制系统架构进行设计，包括了家电控制与管理网络接口，安全防御监控系统，网络服务接口，小区物业的管理与服务的信息接入等连接方式。智能家居系统的主要核心是ZigBee网络，选择合适的ZigBee模块尤为重要。

**4.2主要实现功能**

**4.2．1 智能家居平台功能定义**

1) 完成ZigBee节点之间的信息交换，能建立一个ZigBee网络并实现自组网。

2）能够通过人机交互对家居环境进行设置。

3）可以通过手机短信远程控制家居电器，获取家居环境、安全信息。

**4.2．2 整体系统功能定义**

为了实现基于 ZigBee 技术的智能家居环境监测系统的设计，本文对系统的功能作出如下定义：

（1）智能家居平台：组建 ZigBee 网络，发送与接收网络数据与指令，同时实现与管理中心的通信；

（2）ZigBee子节点：实现对环境信息的采集，并通过 ZigBee 网络发送环境数据到控制中心节点。该节点既可以在用户的指令下采集数据，也可以通过用户对其设置的周期大小自动采集环境数据。

为了实现对环境信息的全面监测，本文设计的环境监测系统主要检测家居环境中以下与人体安全、舒适相关的环境参数，从而为用户提供良好的生活环境。下面对各参数做如下介绍：

（1）温度

温度是人体对周围环境最敏感的要素之一。温度传感器节点在用户的设置下自动采集被监测区域的温度信息，并将采集到的信息发送到控制中心节点。控制中心节点将数据处理完毕后再按照一定的格式通过串口发送到智能家居管理中心。智能家居管理中心可按照用户的生活习惯等参数控制空调设备，实现室内温度的控制。每个房间可以放置一个或多个这类节点，可在同一区域多点采集温度信息，提高温度精确度。

（2）湿度

目前人们主要通过空调和加湿器保证室内的湿度调节，但是这些设备的调整和协调工作完全依赖用户手工操作，智能化与自动化程度不够，而且误差大。湿度传感器节点可以在用户的配置下自动采集被检测区域的湿度信息，并最终将采集的湿度信息按照一定的格式发送到智能家居管理中心。智能家居管理中心经过处理后，将协调控制室内房间里空调与加湿器等设备的工作，实现室内湿度的智能控制。

（3）亮度

智能家居的光线控制分为自然光控制和照明光控制两种。白天时分布在各个窗户上的传感器网络节点中的光线传感器，可以将屋子整体的采光数据传回家居管理主机。管理主机对数据进行分析后，通过特定的室内采光模型和用户的偏好设置来调整窗户的开关，玻璃的透光率以及窗帘的闭合程度，一起来提供一个良好的自然光环境。当夜晚降临后，屋内的光线传感器感应光线强弱，反馈给智能家居管理中心，管理中心将自动控制灯光照明系统，保证用户在进入该房间时提供足够的照明光线。

（4）火灾

火灾情况监测也是智能家居环境监测系统的必不可少部分。布置在每个房间里的火灾传感器节点将实时监测被监测区域的火灾信息情况。一旦监测到火灾信息，就发送紧急报警信息到管理中心，管理中心将启动报警系统，通知用户火灾信息。

（5）非法入侵

为了提高居住人员的生命财产安全，环境监测系统还包含非法入侵检测传感器。这些传感器安装在门、窗、车库、花园等隐蔽的地方，实时检测用来监测非法入侵的情况发生。当监测到非法入侵事件时，传感器信号被发送到管理中心，管理中心将启动报警系统，保障家庭财产不受损失。

**4.3系统设计要求**

根据智能家居环境监测系统的特点，本系统的设计坚持模块化的设计原则，保持各个模块功能的独立性。这样可以在系统有新的模块加入或旧模块退出时保持系统的稳定。同时，为了保证节点的长期工作，必须减少节点的功耗。为了实现系统的功能，系统设计可以分别从硬件、软件两个方面来实现。

1.硬件设计要求

（1）小型化：为了保证设备外观漂亮，应尽量保证节点的体积小型化；

（2）低功耗：由于设备需要长期在无人值守的情况下工作，所以要使用低功耗的器件以节约能源延长使用寿命；

（3）可靠性：为了保障各监测节点能够正常工作，必须提高硬件的可靠性；

（4）可扩展性：当有新的监测对象引入该系统时，不同类型的传感器模块的信号形式与大小可能制约系统的兼容性，系统的硬件设计时必须具有较高的可扩展性。

2.软件设计需求

（1）模块化结构：保证软件设计的各部分采用模块化结构设计，各模块之间的通信按照规定接口进行，任何一个模块的更新何改进都不会影响到其他模块；

（2）数据格式统一：任何两个模块在通过接口传输数据时的格式要统一，便于通信传输，提高传输性能。模块内部可根据需要对数据格式进行数据转化；

**4.4主要性能指标**

1. 无线传感器网络覆盖：端点间传输距离不小于40m；
2. 人机交互：通过手机短信获取智能家居环境信息，控制响应时间小于1分钟；
3. 监控数据更新速率：每次更新时间不大于5分钟；
4. 易于组网：能实现自由配对，监控子节点加入新网络时间不大于2分钟；
5. 节能：在使用一对新AA型电池情况下的工作时间不低于1个月，响应时间小于10S。

**4.5 ZigBee芯片的选型**

在介绍整个系统硬件设计之前，先介绍目前市场上的几款基于 ZigBee 技术的硬件平台及其各自特点。在 ZigBee 技术联盟中，Ti，Chipcon，FreeScale，Philips 等公司都是 ZigBee标准制订的先驱。在射频收发芯片方面，主要有 Chipcon 公司（2006年被TI收购）的 CC2420，CC2430，CC2530系列和FreeScale 公司的 MC13192，MC13193 所提供的两大解决方案。另外，还有 Jennic和Helicomm等公司开发的符合 ZigBee 规范的芯片和模块。

（1）Chipcon 公司推出的 CC2420，它是一款符合 IEEE802.15.4规范的 2.4GHz 射频芯片，用来开发工业无线传感及家庭组网等 PAN 网络的 ZigBee 各种产品。同时，Chipcon 公司还推出了一款专门针对 ZigBee 技术的 SoC 芯片CC2430，它包含一个 51 内核单片机与 CC2420 射频芯片。它基于 0.18um CMOS 工艺制成，只需极少外部元器件，且性能稳定且功耗极低。另外，TI 公司还提供免费的 ZigBee 协议栈 z-stack 以及配套的开发工具，方便用户在短期内开发适合于 ZigBee 的应用方案。

（2）飞思卡尔 ZigBee-Ready 芯片 MC13192，MC13192 是一款适用于 ZigBee 产品的RF 器件。MC13192 只需极少外部元器件，性能稳定、功耗极低，MC13192 的选择性和敏感性指数超过了 IEEE 802.15.4 标准的要求，可确保短距离通信的有效性和可靠性。可以灵活的嵌入到既有的产品中，轻而易举实现无线感测和监控网络的功能。

（3）英国 Jennic 公司的 JN5121 芯片是业界第一款兼容于 IEEE 802.15.4 的低功耗，低成本无线微型控制器。该模块内置一款 32 位的 RISC 处理器，配置有 2.4GHz 频段的IEEE802.15.4 标准的无线收发器，为无线传感器网络应用提供了多种多样的解决方案，同时高度集成化的设计简化了总的系统成本。JN5121 内置的硬件 MAC 地址和高度安全的AES 加密算法加速器减小了系统的功耗和处理器的负载。JN5121 支持晶振休眠和系统节能功能，同时提供了对于大量的模拟和数字外设的互操作支持，让用户可以方便的连接到自己的外部应用系统。

（4）美国赫立讯 Helicomm 公司的 ZigBee 无线收发模块 IP-Link1270，IP-link1270 是集成了射频收发器，微控制器，数字和模拟 I/O，多点多拓扑网络层功能于一体的半双工无线通讯系列模块。IP-Link1270 系列模块内嵌的 ZigBee V1.0 网络通讯协议。

以上的硬件平台都适用于 ZigBee 应用的开发。本文主要从对芯片及其开发环境的熟悉程度，系统的集成度等方面进行综合考虑来选择硬件平台方案。由于本实验室对 Chipcon公司的 CC系列芯片的使用与操作比较熟悉，且具备完善的系统开发平台，另外，CC2531卓越的性能也是本系统硬件选择的重要因素。CC2531芯片的性能如下：

* 较宽的电压范围（2.0～3.6 V）；
* 高性能和低功耗的 51 微控制器核；
* 在休眠模式时仅 0.9 μA 的流耗，在待机模式时少于 0.6 μA 的流耗；在接收和发射模式下，电流损耗分别低于 27 mA 和 25 mA；
* 集成符合 IEEE 802.15.4 标准的 2.4 GHz 的无线电收发机；
* 优良的无线接收灵敏度和强大的抗干扰性；
* 硬件支持 CSMA/CA 功能；
* 数字化的 RSSI/LQI 支持和强大的 DMA 功能；
* 具有256 KB 可编程 Flash 和 8 KB 的 RAM；
* 外部的中断或 RTC 能唤醒系统；
* 具有电池监测和温度感测功能；
* 集成了 14 位模数转换的 ADC；
* 集成 AES 安全协处理器；
* 带有 2 个强大的支持几组协议的 USART，以及 1 个符合 IEEE 802.15.4 规范的 MAC
* 计时器：1 个常规的 16 位计时器和 2 个 8 位计时器；
* 兼容 RoHS 的6 × 6mmQNF40 封装；
* 强大和灵活的开发工具。

**4.6 ZigBee节点的硬件设计**

**4.6.1 ZigBee节点的设计及成果**

1.天线匹配，最大化增加通信距离

采用的ZigBee芯片CC2531的最大发射功率为4.5dBm，最优接收灵敏度为-92dBm由公式：  [Lfs](dB)=32.44+20lgd(km)+20lgf(MHz)   （式中Lfs为传输损耗，d为传输距离，频率的单位以MHz计算）假定空气、遮挡等造成的损耗为20dB，理论通信距离为40m左右。此距离应在天线阻抗匹配良好，较为理想环境下出现。因此需要对天线的阻抗匹配进行深入设计。



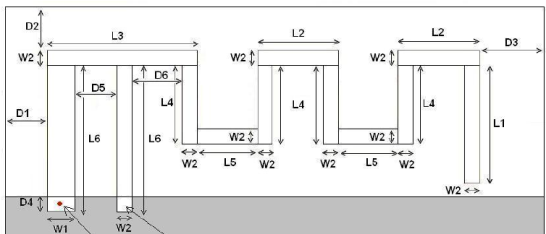
方案一 不加功率放大模块CC2591天线部分的设计



方案二 加入功率放大模块CC2591天线部分的设计

方案一中未使用射频功率放大模块CC2591，其CC2531最大输出功率可达4.5dBm。CC2591的发送功率增益为20dB,接收低噪放大为6dB。由于增加CC2591芯片使整体电路功率增加，且增加系统设计复杂度，在未采用该芯片时可以满足本系统设计要求，因此最终节点采用方案一为天线功率匹配设计。经过实测，开阔地带其通信收发距离满足设计要求。

2．印制天线设计

PCB 天线设计(参考TI公司: Small Size 2.4 GHz PCB antenna.pdf)

由TI公司: Small Size 2.4 GHz PCB antenna.pdf提供的数据表明该印制天线在各个三维平面层的平均增益为5dB。2.4GHz印制天线设计参数如表 所示。

表 2.4GHz印制天线设计参数

|  |  |
| --- | --- |
| 标示 | 值 |
| L1 | 3.94 mm |
| L2 | 2.70 mm |
| L3 | 5.00 mm |
| L4 | 2.64 mm |
| L5 | 2.00 mm |
| L6 | 4.90 mm |
| W1 | 0.90 mm |
| W2 | 0.50 mm |
| D1 | 0.50 mm |
| D2 | 0.30 mm |
| D3 | 0.30 mm |
| D4 | 0.50 mm |
| D5 | 1.40mm |
| D6 | 1.70 mm |

3.节能，减少耗电设计

由于监控子节点采用电池供电，不宜使用大功率设备，子节点的节能设计尤为重要。设计中的主要考虑：电源自动掉电、唤醒、ZigBee通信协议、传感器样本采集周期等设计。在软件设计方面，节能模式唤醒时间长度由32.768KHz的晶振提供的脉冲计数值决定，由于晶振频率小，在时间控制上不使用板载上的32MHz晶振可以极大地降低芯片功耗。

4.电源设计

ZigBee芯片通常采用低电压、宽电压设计。CC2431芯片的宽电压范围为2～3.6V。为保障电源更换方便，会采用AA型电池。普通AA型碱性电池的工作电压为1.5～0.9V。因此电源可能采用以下两种方案：

方案一：单电池供电，使用升压模块把电压升压到5V，再由3.3V稳压芯片把电压降低到芯片的供电范围。

方案二：电池供电，无升压模块。

方案一的电路设计：



图PT1301升压模块电路图



图设计完成后的PT1301升压模块 图 3.3V稳压电路图

方案一的设计使得ZigBee子节点仅使用2节AA电池能提供稳定5V电压和最大500mA的电流输出。这样，ZigBee子节点可以加载5V的传感器、固态继电器装置，而不需使用单独的电源线布线。

4.传感器、电器控制器的选型

本设计的智能家居传感器、电器控制器包括以下类型：

温度、湿度、红外人体探测、可燃气体检测、继电器。

温度传感器采用18B20芯片，测量温度范围在－55℃到＋125℃之间，精度为0.04℃与0.35℃（9位或12位分辨率）。

湿度传感器采用HF3223，测量相对湿度10%到95%。精确度为±5%。湿度表示为频率输出，范围在9530Hz（10%）到8030 Hz（95%）之间呈线性关系。

红外人体探测选用TOP\_3224模块，该模块最远检测距离为7m。延时时间：可调(0.3秒~18秒)。

可燃气体探测器采用MQ-5型气体传感器，对液化气，天然气，城市煤气有较好的灵敏度。能探测浓度范围100~10000ppm。

继电器采用LIRRD公司的LRSSR—DA型380VAC,10A固态继电器。在本设计中通过N-MOS管驱动。

5.整体电路的设计：

综合以上的设计分析，使用Altium Designer 9电路图、PCB版图绘制软件完成对本系统电路图的绘制及PCB版图的制作。设计CC2531芯片电路原理图如图所示，I/O接口电路原理图如图所示。升压电源部分电路原理图之前已给出，如图所示。ZigBee子节点硬件完成图如图所示。



CC2531芯片电路原理图

I/O接口电路原理图



ZigBee子节点硬件完成图

ZigBee子节点的PCB设计过程中使用了一个错误的CC2531封装，但在新的一版PCB中进行了更正。耗费了不少时间。最终CC2531能与仿真器进行连接，并且能够在调试软件中获取网络数据、进行节点之间的数据收发。达到了设计的要求。

**4.7 GPRS模块选择**

**4.7.1 GPRS模块要求**

1. 连接GPRS移动通信网络

能在2分钟内连接上GSM网络，并能正常收发短信。

1. 连接移动互联网

方便访问互联网，为以后设计拓展。

**4.7.2 侧重的指标及选型**

1. 开发简便程度

主要考虑以下：产品成熟度、产品应用数量、开发文档、开发工具等。

1. 节能，通用性，成本等方面

优先选用节能、可替代或采用统一AT指令集、低成本、移动通信制造商生产的模块。

目前市场上较常用的是西门子TC35的GSM模块和SIM300的GPRS模块。SIM300是小体积即插即用模组中完善的三频/四频 GSM/GPRS解决方案。使用工业标准界面，使得具备GSM/GPRS 900/1800/1900MHz功能的SIM300C以小尺寸和低功耗实现语音、SMS、数据和传真信息的高速传输。

SIM300的优良性能让它应用于许多方面，例如WLL、M2M、手持设备等等：

1. 标准的三频/四频GSM/GPRS模块，外形尺寸40x33x2.85mm；
2. 支持用户定制的MMI和键盘LCD；
3. 内嵌强大的TCP/IP协议栈；
4. 基于成熟可靠的技术平台，我们的无线通讯模块的技术支持将 为您提供从产品；
5. 定义到设计和生产的全程服务；

基本特性：

1. 三频GSM/GPRS 900/1800/ 1900 MHz
2. 四频850/900/1800/1900MHz
3. GPRS (class 10)标准
4. GPRS（class B）标准
5. 满足GSM（2/2+）标准
   * Class 4（2W@850/900MHz）
   * Class 1 (1W@1800/1900MHz)
6. 尺寸：40 mm x 33 mm x 2.85mm
7. 重量：8g
8. 通过AT命令控制

（GSM07.07，07.05和增强AT命令）

1. SIM应用工具包
2. 支持电压范围:3.4~4.5V
3. 低功耗

图 SIM300 GPRS模块

综上分析本设计采用SIM300 GPRS模块作为移动通信网络接入。

**4.8 智能家居平台硬件设计**

智能家居平台采用CC2531处理器，具备LED指示、按键功能选择、报警、短信收发、ZigBee网络组建功能。由于在设计中已把所有的硬件设计放置到ZigBee子节点设计中。硬件设计原理图如图所示。智能家居平台的硬件接口还包括一个全速USB2.0接口，可以方便以后扩展，通过计算机来实现对家庭家居电器、环境的调配。

**4.9 本章小结**

本章完成了对硬件模块的设计，包括ZigBee子节点、升压模块、GPRS模块的技术要求及选型、智能家居平台的硬件设计。考虑了第二章对智能家居系统的设计与分析，查阅了相关的技术资料，最后综合分析采用了CC2531、SIM300等芯片及模块进行智能家居系统的设计。

1. **智能家居系统的软件设计及运行结果**

**5.1 引言**

ZigBee无线网络是本设计智能家居系统的重要组成部分，其软件架构决定了系统的整体性能，包括网络建立策略、节能设置、网络拓扑选择、ZigBee网络协议选择、转发策略、网络深度等。

软件工程主要包括两个部分，一个是智能家居平台，另一个是ZigBee子节点。智能家居平台主要功能是建立网络、与GPRS模块通信、建立网络连接和人机交互。主要深入网络设置和人机交互功能。ZigBee子节点主要考虑网络连接效率与节能的平衡和工作状态指示。

**5.2 系统软件构架**

通常软件分为三层:系统物理平台层、协议层和应用层。系统平台层通过 API(Application Programming Interface)应用程序接口来给协议层提供服务。协议层则实现了基于 802.15.4 的物理层和链路层以及基于 ZigBee 的网络层协议。应用层通过 API 来调用协议层提供的服务，实现网络的管理和数据传输等任务。

接口提供上下层相邻模块之间交互的方式，一般有两种方式:基于消息的方式和直接函数调用的方式。直接函数调用就是上层模块直接调用下层模块的函数，优点是效率比较高，缺点是上下层模块的耦合性太强。基于消息的接口方式相当于间接函数调用，因为本质上还是通过调用下层模块的函数来实现服务，但是上层模块完全不知道下层模块是如何实现的，仅是发出消息要求服务，然后再从通过消息来得知服务的结果。这样的接口方式降低模块间的逻辑耦合，接口比较清晰，付出的成本是执行效率比较低。所以在模块接口方式的选择上应充分考虑硬件电路的时间要求，软件整体模块的结构性和移植性。

对于智能家居平台，经分析，采用以下软件架构。

智能家居平台软件构架如图所示，ZigBee子节点软件构架如图所示。

智能家居平台

应急系统

人机交互

与GPRS通信机制

建立ZigBee网络

智能家居系统

1. 设置情景模式
2. 智能控制
3. 人工智能学习生活习惯
4. 提高生活质量：播放背景音乐

用户制订应用

小区管理与服务信息接口

图 智能家居平台软件构架

ZigBee子节点

网络接收、转发机制

温度传感器接口

加入ZigBee网络

节能、低电压预警机制

电器、灯光控制接口

报警设置与消除

湿度传感器接口

红外人体传感器接口

图 ZigBee子节点软件构架

智能家居平台与ZigBee子节点软件构架实现了系统设计的主要功能，便于理解智能家居系统的工作运行机制，也便于对其进行功能调整、软件重组。

**5.3 智能家居软件平台及开发环境**

**5.3.1 智能家居软件平台**

ZigBee协议栈是在[IEEE 802.15.4](http://baike.baidu.com/view/1915042.htm)标准基础上建立的，每个ZigBee解决方案提供商都有独立的协议栈。如基于Ember芯片的XBee/XBeePRO 模块是一款内置协议栈的 ZigBee 模块，基于TI的CC系列的ZigBee处理器就有开发源代码的ZigBee协议栈：Z-Stack，其文件组成结构图如图所示。

图ZigBee协议栈：Z-Stack

ZigBee协议栈Z-Stack是TI推出的支持[IEEE 802.15.4](http://baike.baidu.com/view/1915042.htm)标准基础的协议，其文件目录组成结构如图所示。

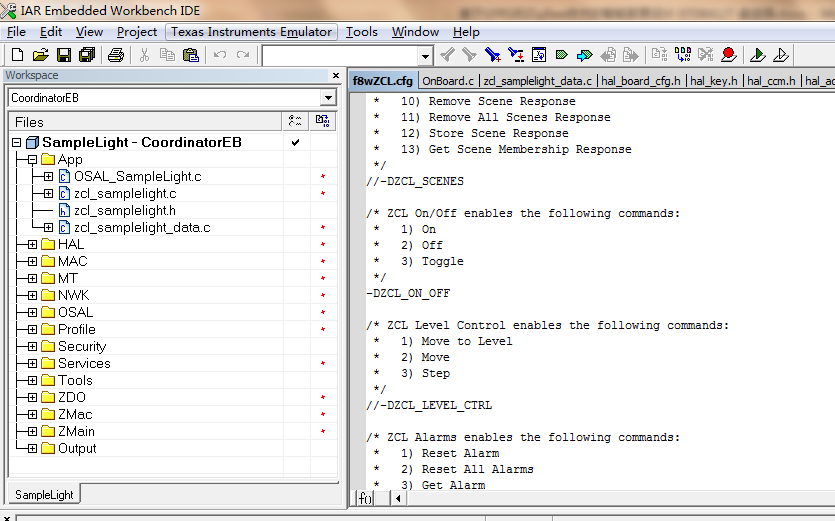
图ZigBee协议栈Z-Stack文件目录组成结构

**5.3.2 智能家居开发环境**

CC2531芯片采用的是增强型的8051内核，其基本架构与8051微处理器一致。CC2531官方采用的是IAR嵌入式系统开发工具，其示例工程及ZigBee协议栈Zstack就是基于IAR for 8051开发工具开发。

IAR是全球领先的嵌入式系统开发工具和服务的供应商。公司成立于1983年，迄今已有27年，提供的产品和服务涉及到嵌入式系统的设计、开发和测试的每一个阶段，包括：带有C/C++[编译器](http://baike.baidu.com/view/487018.htm)和调试器的[集成开发环境](http://baike.baidu.com/view/14867.htm)(IDE)、[实时操作系统](http://baike.baidu.com/view/18308.htm)和中间件、开发套件、硬件仿真器以及状态机建模工具。

公司总部在[北欧](http://baike.baidu.com/view/45417.htm)的瑞典，在美国、[日本](http://baike.baidu.com/view/1554.htm)、英国、[德国](http://baike.baidu.com/view/3762.htm)、比利时、[巴西](http://baike.baidu.com/view/5399.htm)和[中国](http://baike.baidu.com/view/61891.htm)设有分公司。它最著名的产品是C编译器-IAR Embedded Workbench, 支持众多知名半导体公司的微处理器。许多全球著名的公司都在使用IAR SYSTEMS提供的开发工具，用以开发他们的前沿产品，从消费电子、工业控制、汽车应用、医疗、航空航天到手机应用系统。IAR开发工具界面图正在进行工程开发的IAR界面。

****

图正在进行工程开发的IAR界面

SmartRF™Studio是一个Windows应用程序，用于评估和配置德州仪器(TI)的低功耗RF-IC。该应用程序将帮助射频系统的设计人员在设计过程的早期阶段轻松评估 RF-IC。它对生成配置寄存器值、实际测试射频系统和查找优化的外部组件值尤为有用。还可以用于对射频参数的仿真。在本设计中用于对硬件天线匹配的评估与网络组建的测试和网络状态判断。其硬件评估界面如图所示。

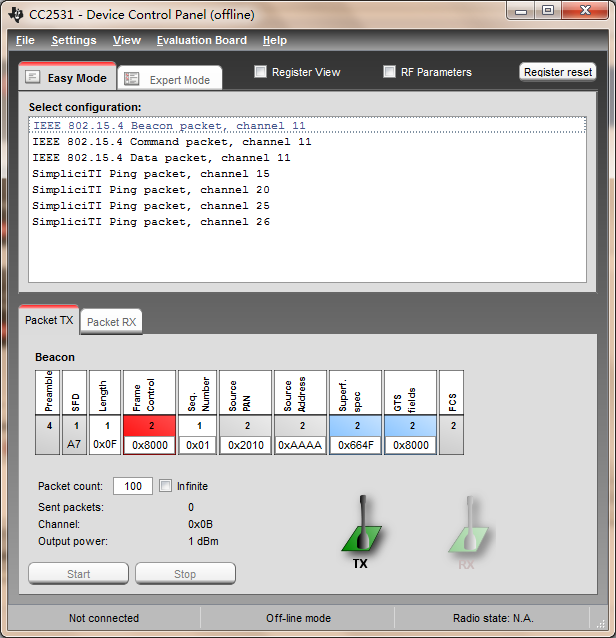
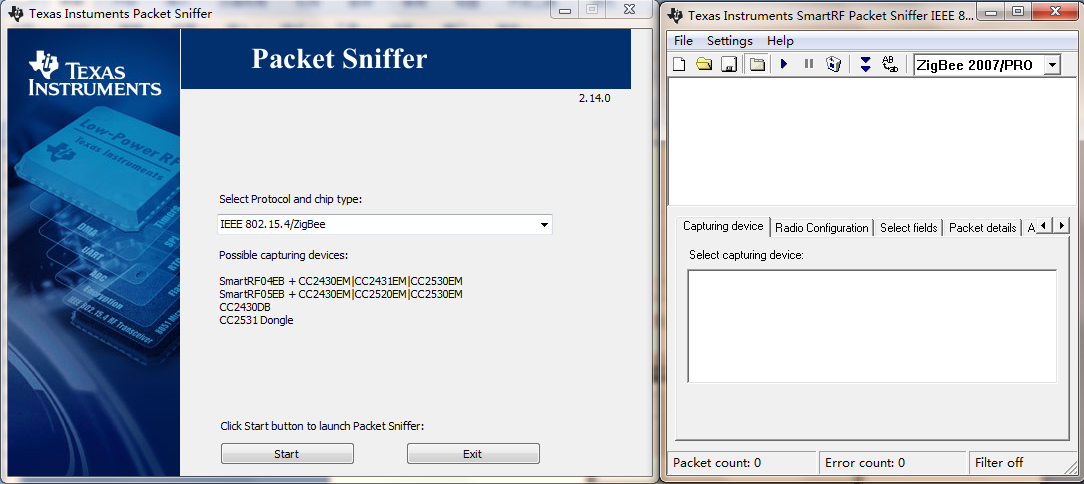


图 CC2531硬件评估界面

Packet Sniffer软件包监听器是TI推出的 PC 软件应用程序，用于显示和存储使用监听射频器件捕获的射频软件包。该射频器件通过USB仿真器与PC相连。支持各种射频协议。软件包监听器可以对软件包进行过滤和解码，并以简便的方式显示它们，同时提供用于过滤和存储为二进制文件格式的选项。基于ZigBee协议数据、命令帧分析软件Packet Sniffer界面如图所示。



图ZigBee协议数据、命令帧分析软件Packet Sniffer界面

**5.4 家庭无线网络系统的软件特点**

**5.4.1 网络的自组建**

在家居网络尚未建立起来之前，从设备上电初始化到所有设备自动加入网络而互连成为一个网络的过程。网络组建之初，各设备并不具备节点标识，但是网络自组织的过程使得所有节点最终被分配了网络中独一无二的节点号作为网络标识，同时网络中自动产生了主控制器节点设备。在实际应用中，主控制器往往是某个固定的节点。然而，在这里我们让系统自动产生主节点的设计，一方面是为了提高系统的公平性，从而提高整个系统的生命周期;另一方面是提高系统的容错性和健壮性，使得系统不会因为某一节点的故障而崩溃。这个在后续的设计中会进行进一步的说明。本章设计的具有自组织特性的无线家居控制网络将有以下特点:

1.系统安装方便:除了无线互连特性提供的设备安装的位置灵活性以外，网络自组织特性进一步提高了系统安装的自动化。人们只需要把具有标准Zigbee接口的设备上电就可以了。我们设计的自组织功能能够自动完成网络的配置。

2.扩展性好:人们可以随意加入新的网络设备，所需要做的仅仅是把设备放在主控制器射频覆盖范围内，然后打开设备的电源就可以了，节点入网过程将自动完成。

3.故障自动修复能力:如果网络中某个设备发生故障，主控制器能够自动监测到，并且命令该设备重新上电复位，并完成自动重新入网。

**5.4.2 充分发挥节能优势**

**5.4.2 可拓展的用户制定应用**

**5.4.3 充分智能化、系统可扩展**

**5.4.4 ZigBee 协议应用程序设计**

Z-Stack 协议栈是根据最新的 ZigBee 协议规范来实现的。截止目前，其最新版本为2.4.0，本文采用 1.4.2 版本进行应用程序的开发。Z-Stack 协议栈的源码总体上由三部分构成：硬件抽象层（HAL）、操作系统抽象层（OSAL）和 ZigBee 协议各层。硬件抽象层为系统提供了硬件 API 接口，例如：计时器，I/O，UART，ADC 等。操作系统抽象层提供了 Z-Stack 使用者一个易用的操作系统平台，所有 ZigBee 的应用都可以基于此系统之上以任务事件的形式完成。在这个系统平台上，系统任务和应用任务中的事件依时间片进行轮转。

根据 Z-Stack 协议栈，分别可以编写 ZigBee 网络中的协调器、路由器以及端节点设备的应用程序。在本文设计的系统中，控制中心节点、传感器节点分别充当协调器和端节点的角色。

**5.5 智能家居平台的软件设计**

智能家居平台中心节点主要实现 ZigBee 网络的建立，指令的发送，数据的接收、转发，与管理中心通信。同时，为了方便用户使用，控制中心节点也可以单独作为手持终端使用，直接通过按键与 LCD 显示屏观察监测数据。因此，控制中心节点的软件主要由以下几个模块组成：

（1）ZigBee 网络应用数据收发模块；

（2）串口通信模块；

（3）界面操作模块；

**5.5.1 ZigBee 网络应用数据收发模块**

在 ZigBee 网络中，应用层定义了两种数据服务传输格式：KVP（键值对）和 MSG（消息）。本系统选择采用消息数据服务格式来接收和发送应用层数据。ZigBee 网络应用数据收发模块分为数据发送子程序和数据接收子程序。

1. 数据发送子程序

在 Z-Stack 协议中，应用层通过调用 AF\_DataRequest( afAddrType\_t \*dstAddr, endPointDesc\_t \*srcEP, uint16 cID, uint16 len, uint8 \*buf, uint8 \*transID, uint8 options, uint8 radius)函数来发送数据。该函数实质上是调用了 APS 层的 APSDU\_DATA\_Request 原语实现数据的发送。其中，形参 dstAddr 带有目的地址的地址类型和地址信息，cID 为待发送数据的 16 位簇信息（cluster ID），len 表示待发送数据的长度大小，\*buf 为待发送数据的首指针。在 Z-Stack 中，应用程序可以通过解析接收到的消息中的簇信息，分别进行数据的处理。为了实现节点消息的统一管理，本系统利用簇信息节点间发送的消息进行分类。

**5.5.2 串口通信模块**

在 Z-Stack 中，节点的串口通信单元已经由硬件抽象层实现了接口封装，其实现文件为 hal\_uart.c/.h。设计人员在使用的过程中，只需要对该单元进行适当的配置就可以调用该单元，实现数据的收发。该模块功能函数包括串口初始化 void HalUARTInit( void )、开串口 uint8 HalUARTOpen( uint8 port, halUARTCfg\_t \*config ) 、 关 串 口 void HalUARTClose( uint8 port )以及读串口 uint16 HalUARTRead( uint8 port, uint8 \*buf, uint16 len )和写串口 uint16 HalUARTWrite( uint8 port, uint8 \*buf, uint16 len )等。本系统在硬件设计时，已选用串口 0 与管理中心的通信，对其串口 0 的配置如下所示：

uartConfig.configured = TRUE;

uartConfig.baudRate = HAL\_UART\_BR\_38400; // 比特率：38400

uartConfig.flowControl = FALSE; // 不使用流控制

uartConfig.flowControlThreshold = SERIAL\_APP\_THRESH;

uartConfig.rx.maxBufSize = SERIAL\_APP\_RX\_MAX;

uartConfig.tx.maxBufSize = SERIAL\_APP\_TX\_MAX;

uartConfig.idleTimeout = SERIAL\_APP\_IDLE;

uartConfig.intEnable = TRUE;

uartConfig.callBackFunc = rxcb; // 串口数据接收回调函数；

配置好了的串口单元，通过调用其接口函数就可以实现数据的收发。为了实现串口收发程序中的数据格式统一，本系统对串口通信格式做了规定。

用户操作界面是为了方便用户单独使用控制中心节点进行数据采集而设计的模块。该模块通过使用按键和 LCD 显示模块进行配合操作，实现指令的发送和数据的显示。另外，该模块还可以辅助设计人员进行系统程序的调试与分析。

由于本系统的 LCD 硬件结构不同于 Z-Stack 里面自带的 LCD 接口程序，本设计通过宏定义（#ifdef MY\_LCD）的方式为协议栈添加了自己的 LCD 接口程序，实现了与系统接口函数的兼容性。

本系统的按键部分有四个独立的按键，可实现菜单界面的上下翻转，菜单命令的撤销与确定。

该模块所实现的函数如下所示：

void menu\_select(void ) // 菜单界面程序；

uint8 getmykey(void ) // 获取按键值：Up、Down、Back、Enter

void HalLcdWriteScreen(char \*line1, char\* line2) // LCD 显示字符串数据

void send\_cmd(int n) // 根据菜单选择，发出命令

**5.5.1 主节点软件设计的流程**

节点在启动时，它首先执行硬件的初始化和网络的初始化。硬件的初始化包括 I/O 口的配置、中断的设置，能量的检测，外围设备的初始化。网络的初始化包括网络的配置与网络的建立。当完成了初始化工作后，控制中心节点就开始等待接收消息。消息既可以是来自管理中心的指令信息，也可以是来自其他节点发送过来的数据消息。如果是管理中心发送的指令信息，控制中心节点将解析该指令，并根据指令中包含的信息将指令发送到指定的节点。当接收到的消息是其他节点发往管理中心的消息时，控制中心节点将根据表 5.6 的格式来发送消息到管理中心。

**4.6.3 终端节点软件设计的节能机制**

设置周期采样的周期值

当传感器节点收到设置采样周期大小指令时，传感器节点收到设置采样周期指令时，将判断其消息中携带的周期值大小。如果周期值为 0，将把采样周期设置为 0 并关闭节点的周期采样功能。若周期值不为 0，传感器将按照该周期值执行周期采样。需要注意的是，设定的采样周期值应该大于执行一次采样的时间长度。

**5.7 系统运行结果及评价**

**5.7.1 ZigBee 网络性能测试**

1. 数据收发距离测试

通过测量两相邻节点 A、B 之间单跳视线通信距离来确定其数据收发距离。数据收发距离的测试方法为：节点 A 的放置地点固定不动，它每隔 1 秒周期地向节点 B 发送 123456789信息。节点 B 从节点 A 处开始逐步沿直线远离节点 A，直至最后一次接受到123456789信息时，测量节点 AB 之间的距离。

经测量，当节点 A 的发射功率为 4.5dBm 时，节点 AB 之间的最大收发距离为 40 米，并且当 AB 之间的距离小于 30 米时，其数据丢包率为 0。

2. 节点入网时间

通过测量端节点第一次进入网络的时间长度来确定其入网时间。其测试方法为：将第三方探测节点（Packet Sniffer）置于端节点与协调器节点之间，开启协调器节点，建立网络。此时第三方节点可捕获到协调器信标请求。然后再开启端节点，通过第三方节点，可捕获到端节点与协调器节点的 Packet 传输。通过分析 Packet 可计算出端节点进入网络的时间。即：端节点第一次发送信标请求与协调器节点发送连接成功数据包之间的时间差。 由于节点在加入网络的过程中，其网络信号能量受距离影响。当距离近时，网络信号强，节点能够很快完成信号能量扫描，顺利入网；当节点远离网络时，网络信号微弱，要经过多次能量扫描才能入网。因此，在本次测试过程中，端节点入网时延与距离的关系如表所示

表ZigBee端节点入网时延与距离的关系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 距离（m） | 10 | 30 | 40 |
| 延时（S） | 2.460 | 2.574 | 2.586 |

结论：当节点距离其中心节点小于 40 米时，入网时间约为 2.5 秒。

3. 数据传输时间

在本系统中，节点间的数据通信多在协调器和端节点间进行。因此，可通过测量端节点与协调器间的单跳数据传输时间，来计算该参数。其测试步骤为：协调器建立网络成功，并且端节点已成功加入网络。然后，协调器节点发送数据请求，第三方节点捕获到此数据包，此时时间作为 t1。当端节点收到协调器发送的数据请求，并立即做出相应操作后，返回数据包，第三方节点捕获到此数据包，此时时间作为 t2。因此，数据传输延时为 t2－t1。其传输时间与距离的关系如下表 6.2 所示。

表端节点－协调器单跳数据传输时间

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 距离（m） | 10 | 30 | 40 |
| 延时（mS） | 8 | 9 | 8 |

结论：当网络间无转发信息时，节点距离与单次数据传输时间影响不大。

**5.8本章小结**

本章主要介绍了智能家居环境监测系统的软件设计，分别对控制中心节点、路由器节点、传感器节点的软件设计做了详细的介绍与说明。为了保障系统的数据格式统一，本章对系统中传输的数据格式进行了详细的规定与管理，同时还为以后系统的扩展做了规划。

**第6章 总结与展望**

**6.1 本文工作总结**

随着人们对安全、舒适、便利生活居住环境的需求，本文设计了一种基于 ZigBee 无线网络技术与GPRS网络的智能家居环境监测系统。该系统主要监测家居环境中的温湿度、光线、火灾以及非法入侵信息，并通过 ZigBee 无线网络技术实现监测数据的传输以及对各个传感器节点的管理。

本文以智能家居系统中的环境监测子系统为研究对象，具体做了以下几个方面的工作：

1. 首先对智能家居领域做了介绍，并对其发展现状与趋势做了分析。根据目前市场对智能家居环境监测的需求，本文在分析和对比了国内外几种短距离无线通信技术的特点后，选择 ZigBee 无线网络技术作为智能家居环境监测子系统的解决方案；

2. 研究了 ZigBee 无线网络技术，对其协议架构和各层主要功能做了说明与介绍；

3. 根据智能家居环境监测系统的需求以及对 ZigBee 无线网络技术的了解，设计了本系统的结构，并对系统的软硬件设计提出了设计要求；

4. 根据本系统的需求以及 ZigBee 技术的应用现状，本文选择了 CC2531 作为系统的微处理器与射频收发芯片。然后，本文基于此芯片设计了各个节点的硬件电路图。另外，根据监测对象的不同，本文选择了四类不同的传感器，并分别设计了其数据采集部分的电路；

5. 按照系统功能需求与设计要求，本文针对每种传感器节点的软件设计进行了详细的介绍。同时，本文还规范了系统中数据传输的格式，定义了系统信息处理的框架，这位系统的扩展与处理做好了良好的铺垫。另外，为了方便用户直观地操作系统与获取环境信息，

6. 为了全面了解系统的性能，本文还对 ZigBee 网络中的几个重要参数做了实际测试。测试结果完全能够满足实际应用的需求。

本文将 ZigBee 无线网络技术运用到智能家居环境监测系统的设计中，实现了在同一网络中对多个环境对象的监测、数据处理与传输。该方案与传统环境监测系统相比，具有如下优势：

1.简单、可扩展性好。在本系统中，多个不同的环境对象可以在同一个网络中进行监测、传输与处理，不需要为不同的对象而专门设计独立的系统，从而在系统设计与实施时比传统方法更简单易行。另外，当增减监测对象或监测点时，系统具有良好的可扩展性好，数据的兼容性好；

2.数据的精度高。在 ZigBee 网络中，多个节点可同时对同一个对象进行监测，通过对同一时刻多个数据的分析处理，可提高数据精确度，避免了单点监测带来的误差；

3.使用方便。用户可以根据实际需求增加或减少节点数量，无需另外布线，节点可自由放置，操作灵活。 另外，本文在节点的硬件设计上采用了低功耗的处理，对数据采集部分设计了电源管理单元，降低了系统的功耗。

**6.2 工作展望**

本文主要采用 ZigBee 技术完成了智能家居环境监测系统设计，可将监测到的环境信息发送到智能家居系统的管理中心，并通过管理中心的操作界面程序执行数据采集操作和环境信息显示，从而实现对环境的监测。为了体现智能家居系统的智能化与网络化，本文还需要在今后进一步做以下几个方面的工作：

1.为了达到智能化管理的效果，本系统应提供用户对所需环境进行配置的环节。系统可在配置参数下工作，实现对环境的更合理的监测，从而提供更全面的环境信息。

2.管理中心节点需按照用户的环境配置模式，对监测到的环境信息作进一步的处理，根据处理后的信息来控制相应的执行设备运行，达到自动调节居住环境的目的。其中，管理中心如何与各执行设备通信并控制其运行还需要大量研究设计工作。

3.在本系统方案中，管理中心与控制中心节点采用串口通信的方式实现数据的传送。

为了能够将信息能够发送到多个网络中，如因特网中，还需要设计相应网络接口，实现数据在多个不同的网络中的共享与互通。

4.为了提供便利化的操作模式，系统的用户操作界面应该运行在一个可以自由移动的手持终端上。手持终端与管理中心之间采用无线连接的方式实现相互间的通信。

5.本文在硬件设计上增加了电源管理单元完成对传感器数据采集部分的能量管理，降低了硬件的能量消耗。但是本文尚未对节点的通信协议作能量节省考虑。为了进一步降低节点的能耗，本文还需要在通信协议上做大量的设计与分析工作。

**参考文献**

[1]陈淑鹃.无线智能家居控制网络设计及协议研究.大连海事大学.硕士论文.2005

[2]李楠，任苹，刘颖，智能住宅家庭网络技术及其发展[[J].沈阳大学学报.2009, 17(2).P88-90

[3]宋辉，智能家庭网络的研究[J]，沿海企业与科技.2008(9).P151

[4]张维勇，冯林等，ZigBee实现家庭组网技术的研究[[J].合肥工业大学学报:自然科学版.2005，28(7).P755-759

[5]王锐华等，浅析ZigBee技术[J]，电视技术.2004(6).P33-35

[6]Deborah Estrin. Wireless Sensor Networks Tutorial Part IV: Sensor Network Protocols. Mobicom, Sep.23-2，2007. Westin Peachtree Plaza,Atlanta,Georgia,USA.

[7] Gregory J.Pottie,William J.Kaiser. Embedding the Internet: Wireless Integrated Network Sensors.communications of the ACM, vol. 43, no.5, P51-58, May 2008.

[8]李文仲，段朝玉等，ZigBee无线网络技术入门与实践 [M]，北京航空航天大学出版社，2007.4

[9]高守玮，吴灿阳等，ZigBee技术实践教程——基于cc24430/31的无线传感器网络解决方案[M]，北京航空航天大学出版社，2009.6

[10]瞿雷，刘盛德，胡咸斌，ZigBee技术及应用[M]，北京航空航天大学出版社，2007.9

[11]张宏锋，一个基于ZigBee技术的无线传感器网络平台[D], 武汉理工大学硕士学位论文,2006.4

[12]吕桦，基于ZigBee技术的HID可调光控制系统的研究[D], 浙江大学硕士学位论文,2007.5

[13]胡晓东，基于ZigBee技术的家居智能控制系统设计[D]，湖南大学高校教师硕士学位论文，2007.8

[14]柳卫林，基于ZigBee技术的智能家居控制系统的设计与实现[D]，东华大学硕士学位论文，2010.3

[15]张亮，基于ZigBee技术的智能家居环境监控系统[D]，武汉科技大学硕士学位论文，2009.5

[15]黄向骥，基于CC2430的无线智能家居系统的设计[D]，武汉理工大学硕士学位论文，2010.5

[16]芦宁，ZigBee无线技术在智能家居中的应用[D]，哈尔滨工业大学硕士学位论文，2006.6

[17]徐方荣，无线智能家居中系统的设计[D]，上海交通大学硕士学位论文，2010.3

**致谢**

感谢郜丽鹏老师在毕业设计时期给我的指导和帮助，感谢王颖老师给予选题上的指导。感谢刘建学长提供的ZigBee CC1110开发套件及学习资料，感谢姜翰文学长给予的帮助与支持。感谢班级的每一位同学，没有大家的努力就不会成为现在的我们。

大学四年的时光转瞬即逝，回想起过去的时光，仿佛就刚发生不久，一切都历历在目。感谢我的母校——哈尔滨工程大学对我的辛勤培育，我在这里完成本科阶段的学习，也将踏入研究生阶段的学习与工作。在此，祝愿母校教学事业蒸蒸日上，桃李满天下，培育出更多的业界精英！

**附录**

1. **ZigBee硬件PCB版图**

