

摘要

随着人们生活水平的提高，人们对生活品质的要求也越来越高，针对照明的控制，人们希望使用方便甚至是随心所欲，传统的照明系统已经满足不了现代人的需要，于是无线智能照明系统应运而生。近年来无线传感器网络的研发为灯光控制带来了新的控制方案。

ZigBee 协议是一种新兴的短距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的无线网络技术，主要应用于工业控制，家庭自动化，汽车自动化，农业自动化等领域。目前正逐步走向成熟并逐渐成为了无线传感器网络的首选网络协议。随着各大设备供应商新一代射频 SoC 的诞生，特别是德州仪器 CC2430 的出现，使 ZigBee 的实际应用进入了一个新的时代。

论文首先介绍了智能灯光控制系统的发展概况，并简要介绍了 ZigBee 协议。本论文立足于 CC2430，以德州仪器提供的协议栈为基础，结合实际的灯光控制网络，对于未来无线可控荧光灯照明系统进行了初步的设计，包括荧光灯和遥控器内部元器件的选型，设计及 PCB 板的制作，荧光灯和遥控器端底层驱动和应用层程序的编写，及系统整合和调试。初步设计了一个包含分组，调光，场景设置及恢复等功能的照明控制系统原型。并对灯光控制网络中 ZigBee 和 WiFi 共存的问题进行了分析和研究，提出了一种信道冲突避免机制。

论文对 ZigBee 灯光控制系统进行了测试和应用性试验，能够满足灯光控制系统的基本需求，对进一步开发更成熟的无线灯光控制系统具有借鉴意义。

关键词：智能照明系统，ZigBee，CC2430，系统设计

ABSTRACT

With the increase of illuminance business, and with the development of people's life, industry needs a new type of lamp to fit the day to day requirement of customers. The traditional lighting system can not satisfy the demands of people, so the smart lighting system comes forth. Recently, the research on wireless sensor network brings new control ideas to lighting control.


The development of wireless communication technology changes quickly, many kinds of wireless communication technology have come out . Compared with other communication technology , ZigBee technology possesses the advantages with low-cost, convenience, route-fixing, especially ,meets the application 's needs of communication of hand-holding devices. Equipment powered by battery, remote control system, remote measure, small scale of wireless networks, wireless meter reading, guard monitor system, industrial data collection system, environment and weather supervision.

The article introduces the project's background ,technology standard, and is based on the development kit CC2430ZDK. The emphasis is the research about the wireless lighting control system., including the software design,hardware design and realization.

Key Words: lighting control system, ZigBee, CC2430, system design

学位论文版权使用授权书

本人完全了解同济大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，同意如下各项内容：按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版；学校有权保存学位论文的印刷本和电子版，并采用影印、缩印、扫描、数字化或其他手段保存论文；学校有权提供目录检索以及提供本学位论文全文或者部分的阅览服务；学校有权按有关规定向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版；在不以赢利为目的的前提下，学校可以适当复制论文的部分或全部内容用于学术活动。

学位论文作者签名： 

2008 年 3 月 18 日

经指导教师同意，本学位论文属于保密，在 年解密后适用本授权书。

指导教师签名：

学位论文作者签名：

年 月 日

年 月 日

同济大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

签名：

刘霄

2008年3月18日

第1章 绪论

1.1 引言

随着人们生活水平的提高，人们对生活品质的要求也越来越高，针对照明的控制，人们希望使用方便甚至是随心所欲，传统的照明系统已经远远满足不了现代人的需要，于是智能照明系统应运而生。建筑物内的灯光控制一直是楼宇自动化控制中的重要问题。传统的控制方法通常是用有线的方法实现这一弱电控制强电的。另一种使用的较多的方法是电力线载波控制，这种方案虽丢弃了控制导线，但其复杂程度较高且需对电力线作特殊处理，不方便。近年来无线传感器网络的研发为灯光控制带来了新的控制方案，即采用 ZigBee 无线网络来实现这一控制。

ZigBee 无线灯光控制解决方案具有以下特色。

标准 — ZigBee 灯光控制解决方案定义了灯开关、调光器、感测设备的规范，保证各个厂商的相同产品之间混用或互换，从而保障生产商和用户的利益和成本投入。

网络 — ZigBee 网络的最大特点就是布网和建网灵活。原则上说：无论是灯光开关、调光器、遥控器，甚至感测器都可以作为网络的协调器或路由器。

自由 — 通过 ZigBee 网络协调器，用户可以在任何时候方便地添加、删除照明设备，任意组合各类控制器与照明设备的对应关系，最大限度地展现无线控制的优势特点。

延伸 — ZigBee 网络技术是短程无线控制网络的发展趋势。无论是智能楼宇还是今后的民用住宅，安防、家电控制、老人及儿童保全都会用到 ZigBee 无线控制网络。ZigBee 灯光控制网络非常容易地延伸到这个大网络之中。

使用 Zigbee 无线家居网络协议可以方便的实现诸如软启，调光，全开全关等基本的功能，而且能实现具有如场景设置，与其它智能系统连动而产生的各种高级功能。随着 Zigbee 协议的提出，智能照明系统有了一个规范化的无线通信平台，对于其真正投入家庭生活有着十分重要的作用。

因此，本文立足于此，将针对基于 Zigbee 的照明系统进行研究。

1.2 智能灯光控制系统发展概况

目前对于智能灯光控制系统主要有以下这些定义，本文中的系统将参照这些定义致力于基于 Zigbee 协议实现其中某些功能。

(1) 时钟控制，通过时钟管理等电气元件，实现对各区域内用于正常工作状态的照明灯具时间上的不同控制。

(2) 照度自动调节控制，通过每个调光模块和照度动态检测器等电气元件，实现在正常状态下对各区域内用于正常工作状态的照明灯具的自动调光控制，使该区域内的照度不会随日照等外界因素的变化而改变，始终维持在照度预设值左右。

(3) 区域场景控制，通过每个调光模块和控制面板等电气元件，实现在正常状态下对各区域内用于正常工作状态的照明灯具的场景切换控制。

(4) 运动探测控制，通过每个调光模块和运动探测器等电气元件，实现在正常状态下对各区域内用于正常工作状态的照明灯具的自动开关控制。

(5) 应急状态减量控制，通过对调光模块等电气元件的控制，实现在应急状态下对各区内用于正常工作状态的照明灯具减免数量和放弃调光等控制。

(6) 手动遥控器控制，通过遥控器，实现在正常状态下对各区域内用于正常工作状态的照明灯具的手动控制和区域场景控制。

(7) 应急照明的控制，这里的控制主要是指智能照明控制系统对特殊区域内的应急照明所执行的控制，包含在正常状态下的自动调节照度和区域场景控制，与调节正常工作照明灯具的控制方式相同，以及在应急状态下的自动解除调光控制，通过对应急照明调光模块等电气元件的控制，实现在应急状态下对各区域内用于应急工作状态的照明灯具放弃调光等控制，使处于事故状态的应急照明达到 100%这两个方面。

1.3 基于 ZigBee 技术的无线传感器网络

长期以来，低成本、低传输率、低功耗、短距离的无线通讯市场一直存在。蓝牙 (Bluetooth) 的出现，曾让工业控制、家用自动控制、玩具制造商等业者雀跃不已，但其售价一直居高不下，严重影响了这些厂商的使用意愿。然而，无线传感器网络的研究与发展，催生了许多新的网络协议与标准。2001 年 8 月，

ZigBee 联盟成立。ZigBee 技术具有以下的特点：

(1) 低功耗：由于 ZigBee 的传输速率低，发射功率仅为 1mW，而且采用了休眠模式。据估算，ZigBee 设备仅靠两节 5 号电池就可以维持长达 6 个月到 2 年左右的使用时间，这是其它无线设备望尘莫及的。

(2) 成本低：ZigBee 模块的初始成本在 6 美元左右，估计很快就能降到 1.5~2.5 美元。

(3) 时延短：通信时延和从休眠状态激活的时延都非常短，典型的搜索设备时延为 30ms，休眠激活的时延是 15ms，活动设备信道接入的时延为 15ms。

(4) 网络容量大：根据 ZigBee 协议的 16 位短地址定义，一个 ZigBee 网络最多可以容纳 65535 个节点，而且还可以通过 64 位的 IEEE 地址进行扩展。

(5) 可靠：采取了免冲撞机制，同时为需要固定带宽的通信业务预留了专用时隙，避开了发送数据的竞争和冲突。媒体接入控制子层采用了完全确认的数据传输模式，每个发送的数据包都必须等待接收方的确认信息。如果传输过程中出现问题可以进行重发。

(6) 安全：ZigBee 提供了基于循环冗余校验的数据包完整性检查功能，支持鉴权和认证，采用高级加密标准（Advanced Encryption Standard, AES）进行加密，各个应用可以灵活确定其安全属性。

1.4 论文内容和结构安排

本课题以工程应用为目标，在深入研究 IEEE802.15.4 标准和 ZigBee 协议规范的基础之上，以 TI 公司的 CC2430ZDK 开发套件为设计基础，对基于 ZigBee 协议的灯光控制系统进行了初步的设计，对 ZigBee 技术的应用提供了一种行之有效的思路和解决方案。

本设计包括遥控器，终端灯节点在内的一些灯控网络组成器件的软件和硬件实现，并对现有的协议栈进行分析和研究。具体内容如下。

第 1 章：阐述课题的研究背景、智能灯光控制系统发展概况和基于 ZigBee 技术的无线传感器网络。

第 2 章：从 ZigBee 网络组成和协议结构两个方面入手，对 IEEE802.15.4 标准和 ZigBee 技术进行了概述。

第 3 章：对基于 ZigBee 的无线灯光控制系统进行了总体设计，详细论述了

硬件和软件开发平台的选择。

第 4 章: ZigBee 灯光控制网络的硬件设计, 包括 CC2430 模块及其外围设备, RC 滤波网络原理和设计, L6574 电子镇流器原理及应用, 供电电源的设计和遥控器的硬件设计。

第 5 章: ZigBee 灯光控制网络的软件设计, 对 ZigBee 与 WiFi 共存的问题提出了解决方案。

第 6 章: 对整个系统进行调试和测试, 并对相关实验数据进行分析 and 总结。

第 7 章: 对本灯光控制系统的设计进行了总结, 并对其进一步的发展做出展望。

第 2 章 IEEE 802.15.4 标准和 ZigBee 技术

2.1 ZigBee 网络结构

2.1.1 ZigBee 网络设备组成

在一个 LR-WPAN (Low Rate-Wireless Personal Area Network) 网络里, 可同时存在两种不同类型的设备。一种是全功能设备, 一种是简化功能设备。一个全功能设备可以同时和多个简化功能设备通信, 而对于一个简化功能设备来说, 它只能和一个全功能设备进行通信。简化功能设备的应用非常简单, 容易实现, 例如一个灯的开关或者一个红外传感器。

ZigBee 标准在此基础上定义了三种设备: 协调器、路由器和终端设备。

ZigBee 协调器, 即 IEEE 802.15.4 定义的个人域网协调器, 可以看作是一个无线传感器网络的汇聚节点, 是建立网络的发起者, 负责 ZigBee 网络的初始化, 确定整个网络的个人域网标识符和网络工作的物理信道, 并给其他节点分配网络短地址。ZigBee 协调器必须是全功能设备, 并且一个 ZigBee 网络只有一个协调器。

ZigBee 路由器是一个全功能设备, 类似于 IEEE802.15.4 定义的协调器, 在接入网路后, 它能获得一定的 16 位短地址。在其通信范围内, 它能允许其他节点加入或者离开网络, 分配及收回短地址, 路由和转发数据。

ZigBee 终端设备, 既可以是全功能设备也可以是简化功能设备, 它只能与其父节点通信, 从其父节点处获得网络标识符、短地址等相关信息。

2.1.2 ZigBee 网络拓扑结构

IEEE 802.15.4 和 ZigBee 协议中明确定义了三种拓扑结构: 星型结构、网状结构和树状结构, 如图 2.1 所示。

在星型网络结构中, ZigBee 协调器负责整个网络的控制, 无其它路由节点, ZigBee 终端设备直接与 ZigBee 协调器通信, 终端设备间的通信则需通过协调器

转发。

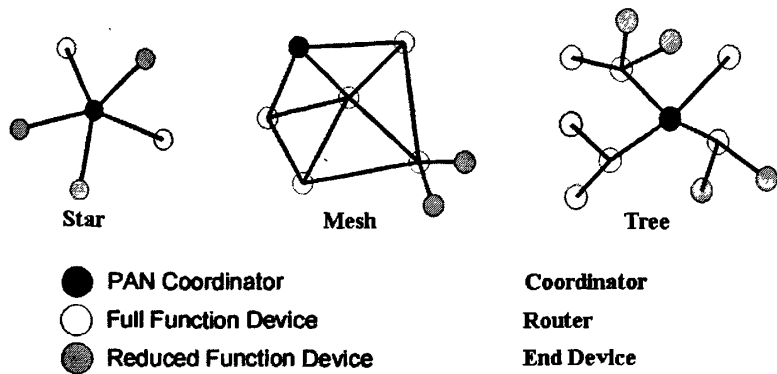


图 2.1 ZigBee 网络拓扑结构

在网状网络和树状网络中，ZigBee 协调器负责网络的建立和初始参数设定，网络都可以通过 ZigBee 路由器进行扩展。但是，在树状网络中，路由器采用分级路由策略传送数据和控制信息，并且通常是基于信标（Beacon）的通信模式。而在网状网中则是完全对等的点对点通信，路由器不会定期发送信标，仅在网内设备要求时对其单播信标。对于树状网络，其通信路由相对单一，骨干网络中一旦有路由节点瘫痪，则相应区域就进入通信瘫痪状态，要等待该部分网络重组后，才能恢复通信。但是，树状网定期发送信标，使网内节点能做到很好的同步，便于节点定期进入休眠状态，降低功耗，延长网络寿命。在网状网中情况则恰好相反，完全的点对点通信使路由有多种选择，提高了网络的容错性，但是不定期发送信标使网络中节点很难达到同步，必须采取别的手段来实现，如广播。因此，网状结构与簇树结构的层次融合，必定是 ZigBee 网络拓扑结构的一个发展方向。

2.1.3 ZigBee 网络协议栈框架

ZigBee 协议栈采用分层结构。每一层都为其上一层提供一套明确的服务：数据实体提供数据传输服务，管理实体则提供其他所有的服务。每个服务实体都通过服务接入点为上层提供一个接口，每个服务接入点都支持一定数量的服

务原语来实现所需功能。

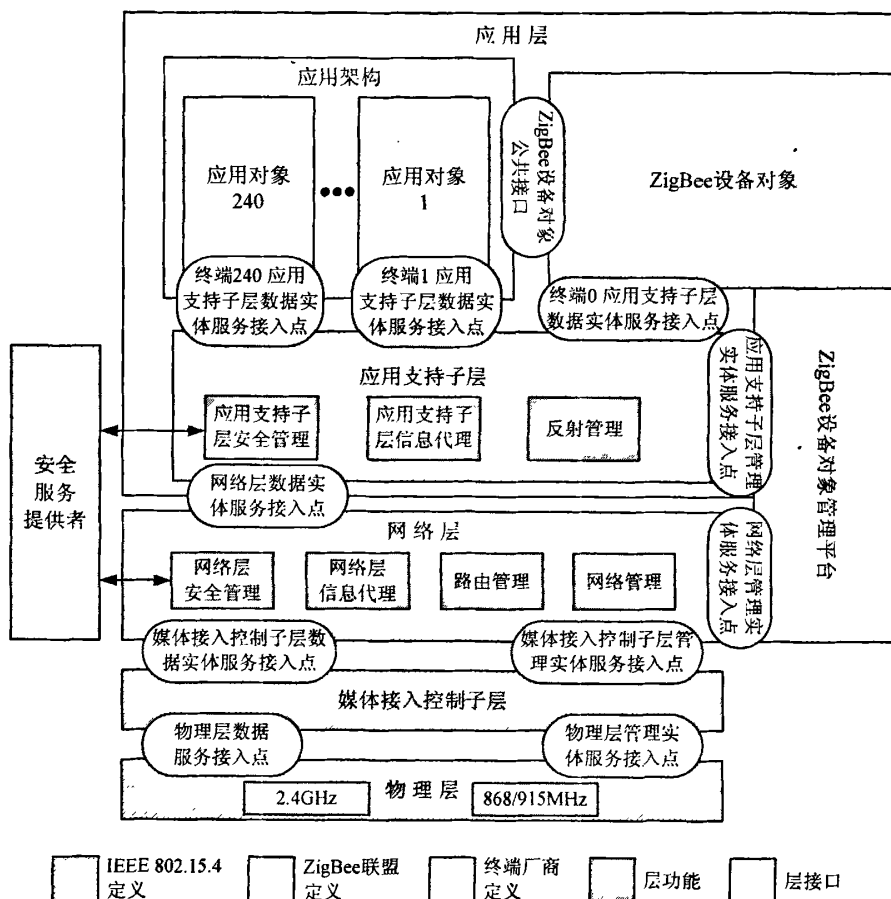


图 2.2 ZigBee 协议栈框架

如图 2.2 所示，IEEE 802.15.4 标准定义了两个底层协议：物理层和媒体接入控制子层。在此基础上，ZigBee 联盟定义了网络层和应用层架构。应用层包含应用支持子层、应用架构，ZigBee 设备对象和厂商定义的应用对象。

2.2 ZigBee 协议栈介绍

2.2.1 IEEE 802.15.4 物理层

IEEE 802.15.4 定义的物理层参考模型如图 2.3 所示。通过射频固件和射频硬件，物理层定义了 MAC 子层和物理信道间的接口，并提供两种服务：物理层数据服务和物理层管理服务。物理层数据服务实现了物理层协议数据单元在物理信道上的发送和接收。物理层管理实体提供了物理层管理功能得以执行的一些接口，同时，还负责维护物理层的个域网信息库（PAN Information Base, PIB）。

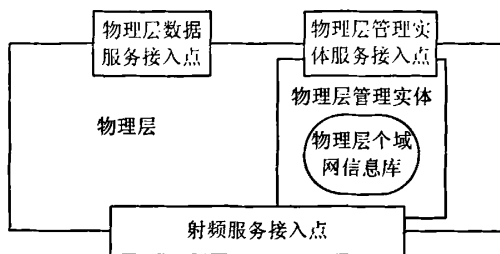


图 2.3 IEEE 802.15.4 物理层参考模型

根据 IEEE 802.15.4 定义，物理层主要实现如下功能：

- (1) 激活和关闭射频收发器；
- (2) 当前信道能量检测；
- (3) 为接收数据包提供链路质量指示；
- (4) 为载波侦听多路访问免冲撞机制，提供空闲信道评估；
- (5) 选择工作信道；
- (6) 发送和接收数据。

根据 IEEE 802.15.4 标准，ZigBee 网络可以工作在 3 个频段的 27 个信道上，如表 2.1 所示。

每个信道的中心频率由公式 (2.1) 给出，单位是 MHz。

$$\begin{cases} F_c = 868.3 & k = 0 \\ F_c = 906 + 2(k-1) & k = 1, 2, \dots, 10 \\ F_c = 2405 + 5(k-11) & k = 11, 12, \dots, 26 \end{cases} \quad (2.1)$$

2.2.2 IEEE 802.15.4 MAC 子层

图 2.4 给出了 IEEE 802.15.4 定义的 MAC 子层参考模型。MAC 子层定义了特定服务汇聚子层和物理层之间的接口，同样提供两种服务：MAC 子层数据服

务和 MAC 子层管理服务。MAC 层数据服务实现了媒体接入控制协议数据单元在物理层数据服务上的发送和接收。MAC 子层同样在概念上包含一个管理实体，叫做 MLME。这个实体提供了 MAC 子层管理功能得以执行的一些接口，同时，还负责维护 MAC 子层的 PIB。

表 2.1 ZigBee 网络的物理信道

物理层 (MHz)	频段 (MHz)	信道数	扩频参数		数据参数		
			片速率 (kchip/s)	调制 方式	比特率 (kbps)	符号率 (ksymbol/s)	符号
868/915	868~868.6	1	300	BPSK	20	20	二进制
	902~928	10	600	BPSK	40	40	二进制
2450	2400~2483.5	16	2000	O-QPSK	250	62.5	十六进制

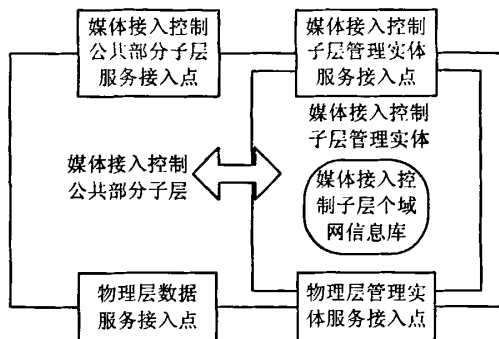


图 2.4 IEEE 802.15.4 媒体接入控制子层参考模型

MAC 子层的两种服务也分别通过两个接入点实现：媒体接入控制公共部分子层数据服务接入点和媒体接入控制子层管理实体服务接入点（MLME-SAP）。MCPS-SAP 实现了通信双方 SSCS 实体间特定服务汇聚子层协议数据单元的传输。MLME-SAP 则实现了 MLME 与上一层间的管理命令的传输。

根据 IEEE 802.15.4 标准，MAC 子层具有如下功能：

- (1) 让协调器产生网络信标；
- (2) 与信标同步；
- (3) 支持 PAN 网络的关联和解除关联操作；
- (4) 支持设备安全机制；
- (5) 使用 CSMA-CA 机制共享物理信道；

(6) 处理和维持保证时隙机制;

(7) 为两个对等的 MAC 实体提供可靠的链路。

关联操作是设备加入 ZigBee 网络的途径之一。在这一过程中, 设备从协调器或路由器处获取网络基本参数和网内 16 位短地址。而当设备离开网络或进行网络切换时, 就执行解除关联操作。

2.2.3 ZigBee 协议网络层

图 2.5 是 ZigBee 协议提供的网络层参考模型。网络层为 IEEE 802.15.4 MAC 子层的正确操作提供保障, 同时也为 ZigBee 协议应用层提供合适的服务接口。网络层提供了两个概念上的实体来作为应用层的接口: 网络层数据实体和网络层管理实体。NLDE 通过其服务接入点, 即 NLDE-SAP, 提供数据传输服务。NLME 则通过其服务接入点, 即 NLME-SAP, 提供管理服务。这两个实体间还存在一个隐藏的接口, 使 NLME 能使用 NLDE 的数据传输服务来实现它的一些管理任务。此外, NLME 还负责维护网络信息库。

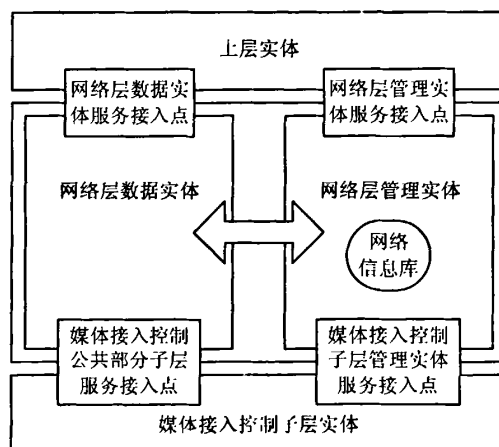


图 2.5 ZigBee 协议网络层参考模型

ZigBee 协议网络层通过必要的机制实现如下功能:

- (1) 加入和离开网络;
- (2) 对帧信息采取安全机制;
- (3) 路由帧信息到它们的目标地址;
- (4) 发现和维护设备间的路由;

- (5) 发现单跳邻居；
- (6) 存储相关的邻居信息。

2.2.4 ZigBee 协议应用层

1. 应用层结构

如图 2.2 ZigBee 协议栈框架，应用层由四部分组成：应用支持子层（APS）、应用架构（AF），ZigBee 设备对象（ZDO）和厂商定义的应用对象。

2. 应用支持子层结构及功能

应用支持子层的参考模型如图 2.6 所示。应用支持子层通过一系列常规服务提供了网络层和应用层之间的接口。这些服务是通过应用支持子层数据实体和应用支持子层管理实体来提供的，它们同时也被 ZigBee 设备对象和生产商定义的应用对象使用。

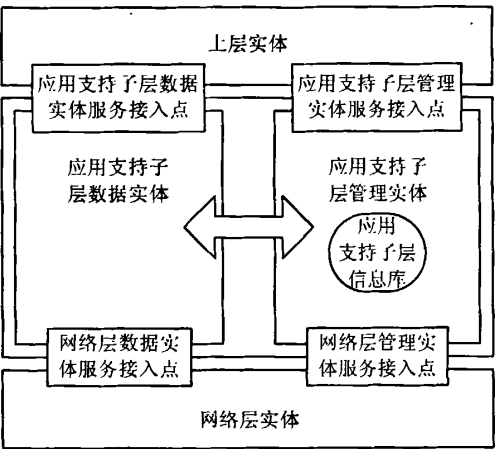


图 2.6 ZigBee 协议应用支持子层的参考模型

应用支持子层的功能如下：

- (1) 维护绑定表，绑定是指根据服务需求将两个设备匹配工作的能力；
- (2) 在绑定设备间传送信息；
- (3) 群地址定义，移除和过滤群寻址信息；
- (4) 64 位 IEEE 地址与网络层 16 位地址间的映射；
- (5) 拆分、重组数据包，确保可靠的数据传输。

3. 应用架构

ZigBee 应用架构是 ZigBee 设备应用对象的工作环境。在应用架构内，应用对象间通过 APSDE-SAP 发送和接收数据。应用对象通过 ZigBee 设备对象公共接口来实现如下功能：

- (1) 控制和管理 ZigBee 设备的协议层；
- (2) 初始化标准的网络功能。

4. ZigBee 设备对象

ZigBee 设备对象代表了一个基础功能类。这一功能类提供了应用对象、设备描述和应用支持子层间的接口。ZigBee 设备对象的主要功能如下：

- (1) 初始化应用支持子层，网络层和安全服务提供者；
- (2) 从终端应用收集各种配置信息来确定和执行发现、安全管理、网络管理，和绑定管理；
- (3) 定义设备在网内的角色（如 ZigBee 协调器、路由或终端设备）；
- (4) 在网内发现设备并确定其提供的应用服务种类；
- (5) 初始化和/或响应绑定请求；
- (6) 在网内设备间建立安全可靠的关系。

第3章 ZigBee 灯光控制系统总体设计

3.1 系统的功能

对一个基于无线通信网络的照明控制系统的基本要求主要有：可以通过手中的遥控器实现对灯的开、关，调节灯的亮度，将灯分组并设置各种不同的灯光场景，可以方便地使灯设备加入或离开网络等。具体功能如下所述：

- 用户辨识网络内的每一盏灯，将灯按照分组放入不同房间。
- 使用遥控器对任意一盏灯进行开/关，调节任意一盏灯的亮度。
- 对网络中的灯进行调节并设置各种场景，如休息场景、娱乐场景、学习场景等。
- 设置各个场景后，可以根据场景名称，使用遥控器来打开和关闭任意一个场景。
- 当用户想改变场景时，可以清除设置的场景，重新进行设置。
- 网络还应该有检错的功能，如果网络中有灯设备出现故障时，可以被检测并对它进行相应的处理，重新加入网络或退出网络。
- 灯节点具有一定的存储记忆功能，可以保存已设的场景，不需要重新确认灯设备或重新设置就可以正常使用。

以上都是从用户角度考虑的要求，对无线灯光控制系统来说还应该要求灯节点电路在体积上足够小，能够集成在荧光灯内部，遥控器也尽量简单便于用户操作。在软件方面，要求所有模块的软件部分都尽量精简，没有冗余代码。同时应该缩减灯节点和遥控器节点的成本。

3.2 系统开发环境

3.2.1 系统硬件开发环境

基于对 ZigBee 通讯模块和开发平台的研究，不少厂商推出了 ZigBee 的产品

和全套解决方案。目前市场上主要 ZigBee 芯片提供商（2.4GHZ）有：TI/CHIPCON, EMBER(ST), FREESCALE, MICROCHIP。

下表是 2007 年 IEEE 802.15.4 的网络射频芯片生产商排名：

表 3.1 2006 - 2007 ZigBee 芯片生产商排名

1	Chipcon (TI)	6	ZMD
2	Ember	7	RadioPulse
3	Oki Semiconductor	8	Freescale Semiconductor
4	Atmel	9	Integration Associates
5	Uniband Electro.	10	Jennic

目前 ZigBee 技术提供方式主要有两种：

1) 符合 802.15.4 标准的射频模块加单片机模块，即双芯片。

例如：Ti CC2420+MSP430、Freescale MC13XX+GT60、Microchip MJ2440+PIC 系列 MCU。

2) 单芯片集成 SoC (System On Chip)，其将射频模块和单片机模块集成在一块芯片上。

例如：Ti 的 CC2430, FREESCALE 的 MC1321X, Ember 的 EM250。

以下是 Ti, Freescale, Ember, Microchip 四家 ZigBee 芯片供应商提供的 ZigBee 方案竞争能力比较。

1. 微处理器

CC2430 有一个增强型 8051 内核，具有 8 倍的标准 8051 内核的性能。而且在低功耗、高速度、低噪声等方面，有了质的飞跃。CC2430 的 8051 内核经过特别设计，可以和 2.4GHZ 的 ZigBee 无线收发电路完美的配合工作，不会因为其 8051 内核的高速运行而对高频无线通讯有任何影响。

2. 协议栈

TI 的 Z-Stack 协议栈现在已经免费，且功能强大，适合开发者快速掌握开发流程开发新产品。Freescale 的 BEE KIT 协议栈在使用 3 个月后自动失效，需要 1200 美元购买正版，才能使用。Ember 的协议栈报价 10000 美元。Microchip 协议栈提供免费源代码，但只支持 PIC 和 MJ2440 芯片。

3. 芯片成本

CC2430 是全部方案中，唯一一个包括 FLASH 存储器，MCU，无线射频

模块全部集成，真正的单芯片解决方案。

JENNIC 的单片机只有 ROM(只读存储器)，芯片内部没有存放用户程序的地方，系统必须要外加一个 EEPROM。

FREESCALE 的单芯片是采用两个硅片和 SIP 技术共同包装，在大量生产情况下，不能和单芯片方案竞争。

4 开发工具的方便性和价格

CC2430 原产开发工具 CC2430ZDK 报价原来 10000 美元，目前下降到 2000 美元。与其他解决方案比较，CC2430ZDK 内包含很多实用的无线开发软件，Z-Tool, Z-Network, RF Studio, Sniffer 等，容易使用。全免费 2006 协议栈包括全新 ZigBee PRO 指令集等全新高级功能。

综合考虑协议栈的集成度和质量，芯片价格和开发工具的方便性以及价格等诸多因素的情况下，尤其是 CC2430 在单个芯片上集成了 ZigBee RF 前端、内存和微控制器，为无线通信模块与灯的集成提供了可能，成为开发无线照明控制系统的最佳选择。

3.2.2 系统软件开发环境

该系统程序开发调试环境为 IAR Embedded WorkBench for MCS-51,它是一个用于编译和调试嵌入式应用程序的集成开发环境，其提供一整套的嵌入式开发环境，包括编辑，编译，链接，调试软件，主要支持 8 到 16 位处理器。IAR 的 8051 编译器支持 C/C++。C-SPY 调试器支持在硬件或者模拟器上的 RTOS 调试。其主要产品特征为：完全兼容标准 C 语言，内建对应芯片的程序大小和速度优化器，良好便捷的中断处理和模拟，高效浮点支持，内存模式选择，工程中相对路径支持。

IAR for 8051 开发套件包括完成大多数嵌入式开发项目所需要的所有工具，集成开发环境包括以下几个功能模块：编译器，源码浏览器，调试器，工程管理器。编辑器，编译器，连接器和调试器对应开发过程的四个主要阶段，其他模块用以支持代码浏览和构造控制，工程管理器控制整个过程。

3.3 系统的组成

本无线灯光控制系统的研制是基于 IEEE802.15.4 标准的无线传感器网络，在此网络中有一个称为网络协调器的全功能设备，是 LR-WPAN 网络中的主控制器。网络协调器除了直接参与应用以外，还要完成成员身份管理，链路状态信息管理以及分组转发等任务。其他的灯节点或者遥控器可以设置为路由器或者终端设备。

本网络可以根据应用的需要组织成星型网络，树状网络或者网状网络。在构造简单的建筑中可以使用星型网络。在构造较复杂的建筑中可以使用网状结构和树状结构结合的网络。

本无线灯光控制系统由无线终端灯节点和无线遥控器组成。系统结构见图 3.1，每个灯节点和遥控器内部都集成了无线收发的功能模块。其中一号灯节点为网络协调器，其他节点可以为路由器或者是终端设备。

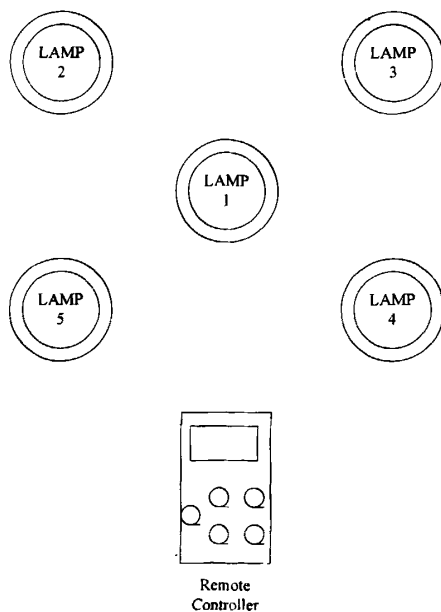


图 3.1 系统结构

其中灯节点的结构见图 3.2，灯节点由 PCB 天线模块，CC2430 模块，荧光灯驱动电路模块，荧光灯电路模块，电源模块组成。PCB 天线模块及 CC2430 内部的无线收发器负责与其他的节点进行无线通信。CC2430 模块负责接收，处理其他节点发送过来的数据，并且发送给其他节点包含自身节点信息的数据，荧光灯驱动模块负责驱动荧光灯模块，实现荧光灯的亮灭调光等功能。电源模

块负责给 CC2430 模块, 荧光灯驱动电路模块和荧光灯电路模块供电。

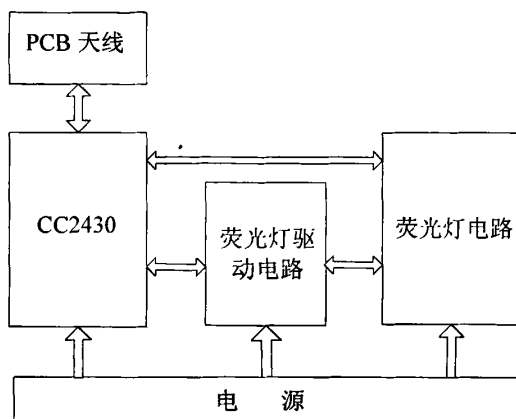


图 3.2 灯节点结构

遥控器结构见图 3.3, 遥控器由 PCB 天线模块, CC2430 模块, 液晶显示器模块, 键盘模块, 电源模块组成。PCB 天线模块及 CC2430 内部的无线收发模块负责与其他的节点进行无线通信。CC2430 模块负责接收, 处理其他节点发送过来的数据, 并且向其他节点发送命令信号。显示器模块作为人机交互界面, 向用户显示操作信息, 键盘模块作为用户输入数据的接口。电源模块负责给 CC2430 模块和液晶显示器模块供电。

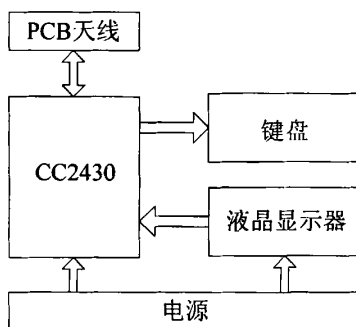


图 3.3 遥控器结构

第4章 ZigBee 灯光控制系统的硬件设计

4.1 无线灯节点的硬件设计

4.1.1 处理器模块

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 2.4GHz ISM 波段应用对低成本,低功耗的要求。它结合一个高性能 2.4GHz 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。

CC2430 的设计结合了 8Kbyte 的 RAM 及强大的外围模块,并且有 3 种不同的版本,他们是根据不同的闪存空间 32, 64 和 128kByte 来优化复杂度与成本的组合。本课题选用的是 128KBflash 空间的版本。CC2430 的尺寸只有 $7 \times 7\text{mm}$ 48-pin 的封装,采用具有内嵌闪存的 $0.18\mu\text{m}$ CMOS 标准技术。这可实现数字基带处理器,射频模块,模拟电路及存储器整合在同一个硅晶片上。

针对协议栈,网络和应用软件的执行对 MCU 处理能力的要求,CC2430 包含一个增强型工业标准的 8 位 8051 微控制器内核,运行时钟 32MHz。由于更快的执行时间和通过除去被浪费掉的总线状态的方式,使得使用标准 8051 指令集的 CC2430 增强型 8051 内核,具有 8 倍的标准 8051 内核的性能。一个 AES 协处理器被集成在 CC2430,以支持 IEEE802.15.4 MAC 安全所需的(128 位关键字) AES 的运行,以实现尽可能少的占用微控制器。CC2430 包括四个定时器:一个 16 位 MAC 定时器,用来为 IEEE802.15.4 的 CSMA-CA 算法提供定时以及为 IEEE802.15.4 的 MAC 层提供定时。一个一般的 16 位定时器和两个 8 位定时器,支持典型的定时/计数功能,输入捕捉、比较输出和 PWM 功能。CC2430 内集成的其他外设:实时时钟;上电复位;8 通道,8—14 位 ADC;可编程看门狗;两个可编程 USART,用于主/从 SPI 或 UART 操作,DMA 控制器,4 个振荡器用于系统时钟和定时操作。

为了更好的处理网络和应用操作的带宽,CC2430 集成了大多数对定时要求严格的一系列 IEEE802.15.4 MAC 协议,以减轻微控制器的负担。这包括:自动前

导帧发生器, 同步字插入/检测, CRC-16 校验, 信号强度检测/数字 RSSI, 链路质量指示(LQI), CSMA/CA 协处理器。

4.1.2 无线通信模块设计

射频电路的设计是整个硬件设计最复杂, 最耗时的部分。由于许多电容电感的参数跟PCB板的制作材料, 厚度有密切关系, 其实际值一般都是经验参数, 需要动态的调整其大小, 来满足性能的要求。

(1) CC2430外围电路

CC2430的外围电路包括电源电路, 滤波电路和晶振电路, 如图4.1所示。AVDD_SOC, AVDD_RREG为模拟电路连接2.0~3.6V的电压, 分别接100nF和220nF的滤波电容。DVDD为数字电源输入引脚, 为IO口提供2.0~3.6V的电源, 须旁接一个100nF的滤波电容。AVDD_DREG为数字电源输入引脚, 向电压调节器核心提供2.0~3.6V的电压, 须旁接一个220nF的滤波电容。DCOUP提供1.8V去耦电压, 此电压不为外电路所使用, 须旁接一个220nF的去耦电容。RREG_OUT为经过内部电压稳压器的1.8V输出电源, 旁接220nF去耦电容。X1为外接32MHz的专用于2.4GHz射频电路的晶振, 其旁路电容为22pF。RBIAS1和RBIAS2接偏置电阻, 用来为32M晶振提供一个合适的工作电流。

(2) 天线电路

用于2.4GHz射频电路的天线有3种类型: 外置直立天线, PCB天线和片式天线。外置直立天线的性能最好, 但体积过大, 只能用于对体积无要求的场合; 片式天线采用集成电路来实现, 性能一般, 而且很难根据实际情况调整性能; PCB天线具有体积优势, 对设计和PCB布线要求较高, 在无线传感器网络的硬件平台上应用最多。

CC2430的接收器是基于低, 中频结构之上的, 从天线接收的RF信号经低噪声放大器放大并经下变频变为2MHz的中频信号。中频信号经滤波、放大, 在通过A/D转换器变为数字信号。自动增益控制, 信道过滤, 解调在数字域完成以获

得高精度度及空间利用率。集成的模拟通道滤波器可以使工作在2.4GHz波段的不同系统良好的共存。

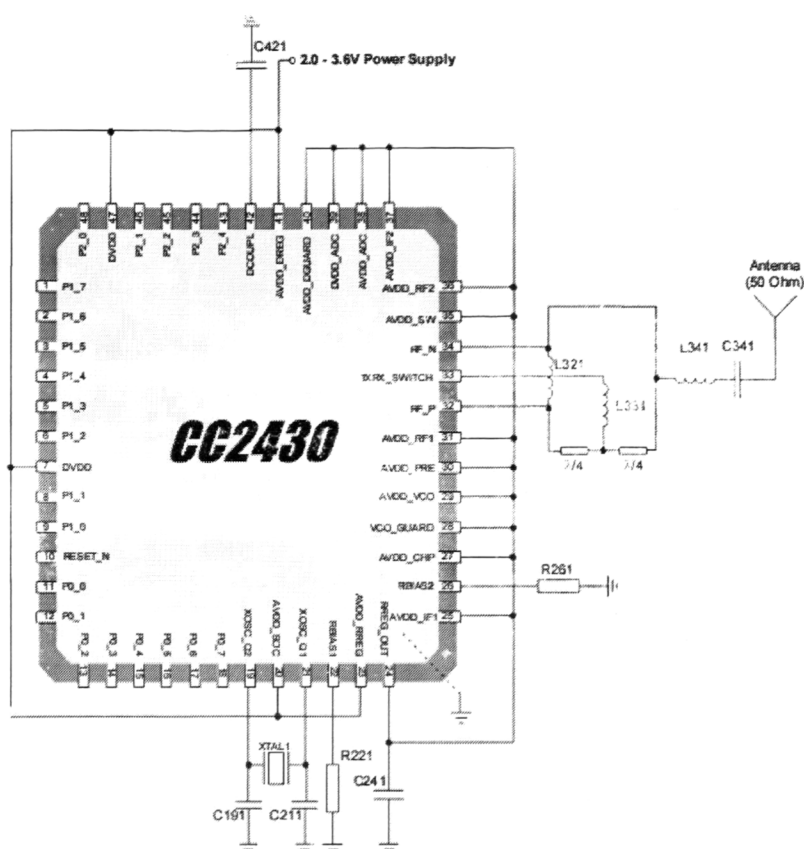


图 4.1 CC2430 典型应用电路

在发射模式下，位映射和调制是根据 IEEE 802.15.4 的规范来完成的。调制和扩频通过数字方式完成。被调制的基带信号经过 D/A 转换器再由单边带调制器进行低通滤波和直接上变频变为射频信号。

射频的输入输出端口是独立的，他们分享两个普通的 PIN 引脚，RF_P 和 RF_N。RF_P 和 RF_N 分别为正负 RF 信号输入接口。CC2430 不需要外部 TX，RX 开关，其开关已集成在芯片内部。芯片至天线之间电路的构架是由平衡非平衡器与少量电容与电感所组成。集成在内部的频率合成器可以省去环路滤波器和外部被动式压控振荡器。

由于 CC2430 要集成在荧光灯内，而且考虑到荧光灯的美观效果，因此决定选择 PCB 板载天线。本 PCB 板载天线的设计参考 TI 公司提供的原理图，其具有结构紧凑，成本低，性能高等特点。由于 F 型的 PCB 天线的阻抗为 50 欧姆，因此不再需要外加的匹配阻抗。其中 PCB 的厚度将会影响板载天线的性能，本设计所采用 PCB 板材的厚度为 1mm。天线原理图见图 4.2 所示。

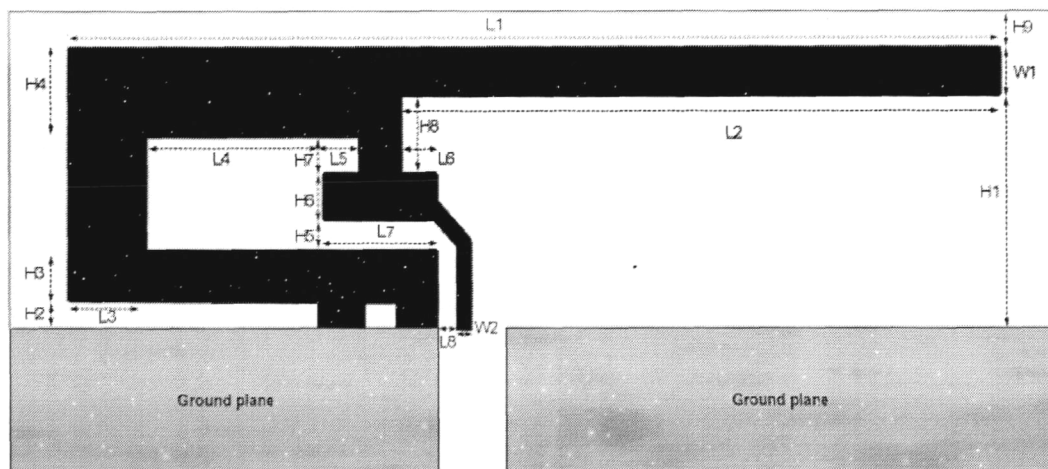


图 4.2 PCB 天线原理图

4.1.3 荧光灯驱动电路的设计

具有无线通信功能的灯是这个系统的大部分设备，考虑到用户对照明系统的多种需求，打开，关闭和调光已成为必不可少的功能，因此选取用镇流器驱动的荧光灯。常用的镇流器有电阻式镇流器，电容式镇流器，电感式镇流器和电子镇流器。电子镇流器与其他的镇流器相比有如下的优点：灯和系统的光效高，光无闪烁现象，能瞬时启动，且无需外加启辉器，灯的寿命延长，有杰出的调光性能，无需进行功率因子校正，温升小，无噪音，体积小，重量轻，能工作于直流电源，因此本设计采用电子式镇流器。

L6574是意法半导体公司推出的一款工作于模拟调频调光应用场合的可调光电子镇流器控制集成电路，结构如图4.3。

L6574内部有一个灯电路工作状态检测用的运算放大器，它可以用于灯电路的闭环控制。如图4.4所示电路，可以在它的同相信号输入端7加一个基准电压，而将一个和灯电流成正比的信号加到他的反向输入端6，通过一只二极管VD1和

电阻R3将L6574的第4, 5引脚连接。这样如果灯负载的电流变化超过同相端7所定的基准电压值时, 二极管VD1导通, 这样流出L6574引脚4的电流又加大了一部分, 致使电容C1的充电电流加大, 即半桥驱动电路的频率上升, 由于镇流电感的作用, 从而使灯负载的电流下降。所以如果改变L6574引脚7的基准电压值就可以达到改变灯电流, 达到调光的目的。

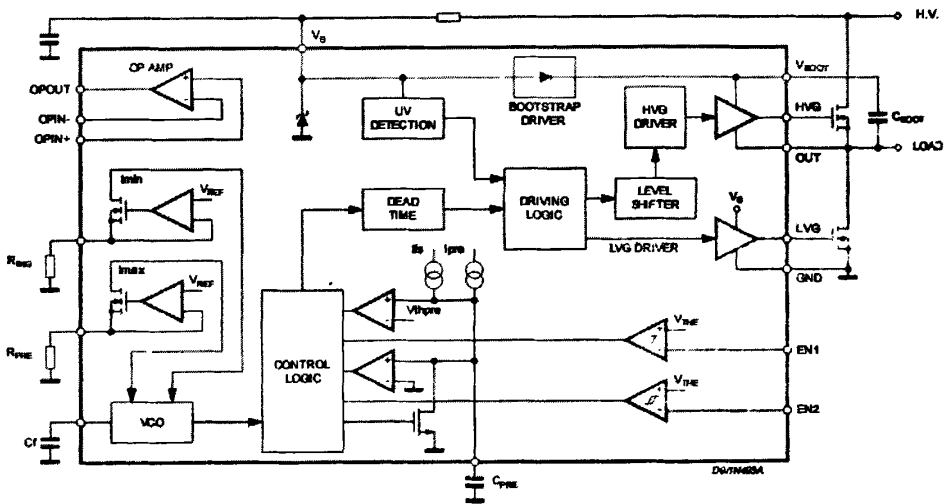


图 4.3 L6574 结构图

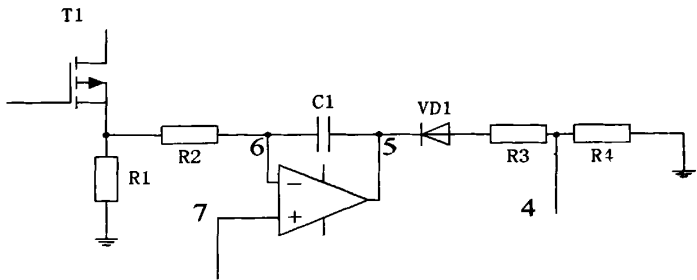


图 4.4 闭环控制电路

将荧光灯电路输出的I_SENSE信号作为与灯电流成正比的信号加到L6574的内部运算放大器的反向输入引脚, 然后对CC2430编程实现输出可调频率的方波 (PWM), 此PWM经过RC滤波网络, 如图4.5所示, 产生幅值可变的模拟电压信号, 加至L6574的内部运算放大器的正向输入引脚, 即实现由CC2430控制荧光灯亮度的数字调光。

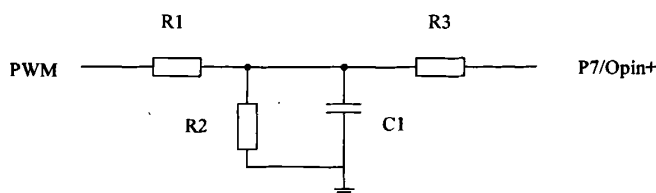


图 4.5 RC 滤波网络

如图4.3所示，EN1和EN2是两个CMOS比较器，利用这两个比较器可以用于电子镇流器电路故障的保护。只要在这两个比较器的输入端有大于200ns的触发脉冲信号输入，就可以触发比较器电路，即高电平有效。当EN2的输入为高电平信号时迫使电路按重新预热->点火->工作的循环开始工作，而当EN1引脚为高电平时则关断L6574。我们充分利用EN1和EN2所起的作用，将EN2和EN1分别连接到开和关的信号，也就是CC2430的两个IO引脚EN1，EN2分别接L6574的EN1和EN2输入端，起到CC2430编程控制荧光灯亮灭的效果。

L6574中的高低端驱动电路引脚分别接至高低端的半桥功率晶体管的栅极，为外接的二只半桥功率晶体管提供驱动信号，如图4.6所示。荧光灯的两端有灯丝，灯丝上粘有具有很强电子发射能力的物质，灯管内充有少量的汞和惰性气体，灯管内壁涂有荧光粉。当灯管内气体电离产生弧光放电时，汞蒸汽受激发而发射大量的紫外线，灯管内壁的荧光粉在紫外线的激发下辐射荧光。

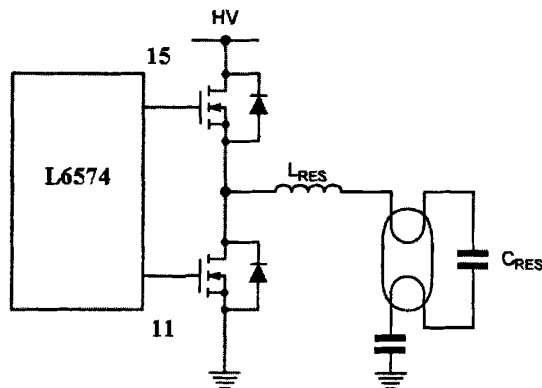


图 4.6 L6574 驱动两支 MOSFET 晶体管

集成了 CC2430, L6574 的荧光灯如图 4.7 所示, CC2430 引出三根引脚, PWM

引脚经过 RC 滤波网络接到 L6574 内部运算放大器的正向输入端。EN1 和 EN2

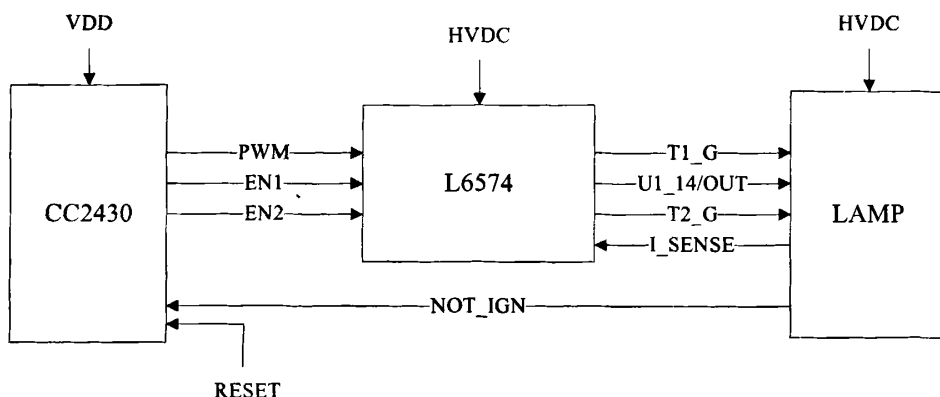


图 4.7 荧光灯内部结构

分别接 L6574 的 EN1 和 EN2 引脚。L6574 的高低端驱动输出引脚（15 号和 11 号引脚）分别接至高端和低端的半桥功率晶体管的栅极。L6574 的高端驱动器浮动基准电位点（14 号引脚）引脚接至荧光灯高端半桥晶体管的源级。荧光灯电路输出的 I_SENSE 信号接至 L6574 的内部运算放大器的负向输入引脚（6 号引脚）。CC2430 的 NOT_IGN 引脚接至荧光灯的采样电压信号引脚。

4.1.4 RC 滤波网络的设计

CC2430 的 IO 引脚的输出电压范围为 0~3.3V，而接至 L6574 的 P7 引脚的输入电压范围为 0.1~1.1V。其电压比值为 3.3/1.1=3，为了留有一点余量，我们取其比值为 2.5。

也就是说 $R1/R2=1.5$ (1)

为了获得由 ST 公司数据手册上提供的 RC 常数和输出匹配阻抗值，我们取

$R1/R2=1.5K$ (2)

电容 $C1=100nF$ ，由 (1) 和 (2)，我们得到

$R2=2.5K \approx 2.4K$

最终的衰减常数为 $(3.8+2.4)/2.4=2.58$ ，截止频率为

$f_c=1/2\pi(R1//R2)C1=1.08KHz$

如果取 $R1=3.8K$ ， $R2=2.4K$ ， $C1=100nF$ 。

我们可以得到最大的直流电压值（PWM 占空比 100%）： $3.3/2.58=1.28V$ 。

最小的直流电压值（PWM 占空比 0%）： $0/2.58=0V$ 。

最终输出的电压值 $V_o=3.3*\delta/2.58$

为了得到最终输出电压值的范围为 $0.1-1.1V$,

$$\delta*3.3/2.58=1.1 \Rightarrow \delta=0.86$$

$$\delta*3.3/2.58=0.1 \Rightarrow \delta=0.08$$

因此算得 PWM 占空比范围为 8%-86%

最大平均电流为 $3.3*0.86/(3.8+2.4)=0.46mA$

PWM 输出频率 $f_0 \geq 5f_c$ ，即 $f_0 \geq 5*1.08K=5.4KHz$ 。

4.1.5 供电电源的设计

本无线照明控制系统主要由 CC2430 模块，L6574 模块，荧光灯电路模块构成。

用于室内照明的荧光灯的电压源采用市电交流 220V。L6574 电子镇流器控制集成电路可应用于高达 600V 供电电压的电子镇流器电路应用场合，为了确保 L6574 集成电路可靠工作，其 VS 引脚的内部电路中添加了稳压箝位二极管，典型稳压值为 15.6V。因此 L6574 可以直接采用市电交流 220V 作为其供电电源。但实际中一般采取市电交流 220V 经桥式整流后再经过稳压管降到较低的电压值作为 L6574 的供电电源。

CC2430 供电电源的获得与 L6574 类似，取自市电交流 220V，经过桥式整流后再经过稳压二极管降低到较低的电压值，由于 CC2430 需要稳定的工作电压值，因此选择 LP2985AIM-3.3V 这款具有稳定输出的电压整流器产生 3.3V 的稳定电压。灯中 CC2430 的电源设计如图 4.8 所示。

4.2 无线遥控器的硬件设计

在 ZigBee 灯光控制系统的设计中遥控器的设计起着重要的作用，遥控器作为一个网络中的控制单元，要具备简单易用的功能。遥控器的硬件设计结构如图 4.9。

引脚经过 RC 滤波网络接到 L6574 内部运算放大器的正向输入端。EN1 和 EN2

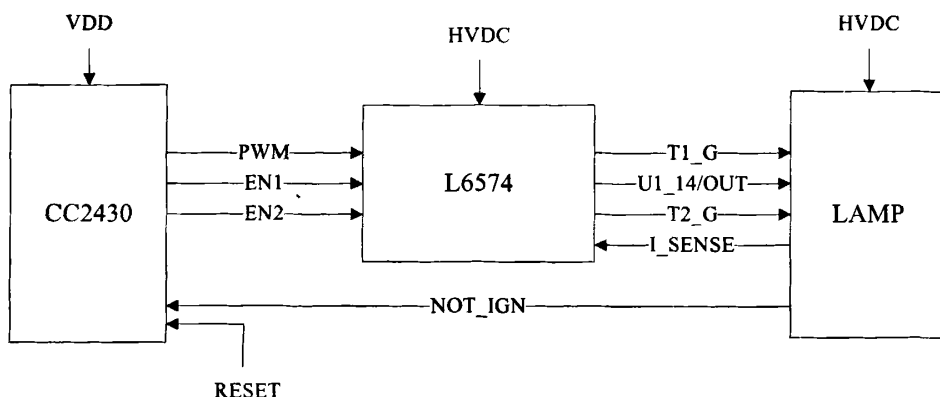


图 4.7 荧光灯内部结构

分别接 L6574 的 EN1 和 EN2 引脚。L6574 的高低端驱动输出引脚（15 号和 11 号引脚）分别接至高端和低端的半桥功率晶体管的栅极。L6574 的高端驱动器浮动基准电位点（14 号引脚）引脚接至荧光灯高端半桥晶体管的源级。荧光灯电路输出的 I_SENSE 信号接至 L6574 的内部运算放大器的负向输入引脚（6 号引脚）。CC2430 的 NOT_IGN 引脚接至荧光灯的采样电压信号引脚。

4.1.4 RC 滤波网络的设计

CC2430 的 IO 引脚的输出电压范围为 0~3.3V，而接至 L6574 的 P7 引脚的输入电压范围为 0.1~1.1V。其电压比值为 3.3/1.1=3，为了留有一点余量，我们取其比值为 2.5。

也就是说 $R1/R2=1.5$ (1)

为了获得由 ST 公司数据手册上提供的 RC 常数和输出匹配阻抗值，我们取

$R1/R2=1.5K$ (2)

电容 $C1=100nF$ ，由 (1) 和 (2)，我们得到

$R2=2.5K \approx 2.4K$

最终的衰减常数为 $(3.8+2.4)/2.4=2.58$ ，截止频率为

$f_c=1/2\pi(R1//R2)C1=1.08KHz$

如果取 $R1=3.8K$ ， $R2=2.4K$ ， $C1=100nF$ 。

我们可以得到最大的直流电压值（PWM 占空比 100%）： $3.3/2.58=1.28V$ 。

最小的直流电压值（PWM 占空比 0%）： $0/2.58=0V$ 。

最终输出的电压值 $V_o=3.3*\delta/2.58$

为了得到最终输出电压值的范围为 $0.1-1.1V$,

$$\delta*3.3/2.58=1.1 \Rightarrow \delta=0.86$$

$$\delta*3.3/2.58=0.1 \Rightarrow \delta=0.08$$

因此算得 PWM 占空比范围为 8%-86%

最大平均电流为 $3.3*0.86/(3.8+2.4)=0.46mA$

PWM 输出频率 $f_0 \geq 5f_c$ ，即 $f_0 \geq 5*1.08K=5.4KHz$ 。

4.1.5 供电电源的设计

本无线照明控制系统主要由 CC2430 模块，L6574 模块，荧光灯电路模块构成。

用于室内照明的荧光灯的电压源采用市电交流 220V。L6574 电子镇流器控制集成电路可应用于高达 600V 供电电压的电子镇流器电路应用场合，为了确保 L6574 集成电路可靠工作，其 VS 引脚的内部电路中添加了稳压箝位二极管，典型稳压值为 15.6V。因此 L6574 可以直接采用市电交流 220V 作为其供电电源。但实际中一般采取市电交流 220V 经桥式整流后再经过稳压管降到较低的电压值作为 L6574 的供电电源。

CC2430 供电电源的获得与 L6574 类似，取自市电交流 220V，经过桥式整流后再经过稳压二极管降低到较低的电压值，由于 CC2430 需要稳定的工作电压值，因此选择 LP2985AIM-3.3V 这款具有稳定输出的电压整流器产生 3.3V 的稳定电压。灯中 CC2430 的电源设计如图 4.8 所示。

4.2 无线遥控器的硬件设计

在 ZigBee 灯光控制系统的设计中遥控器的设计起着重要的作用，遥控器作为一个网络中的控制单元，要具备简单易用的功能。遥控器的硬件设计结构如图 4.9。

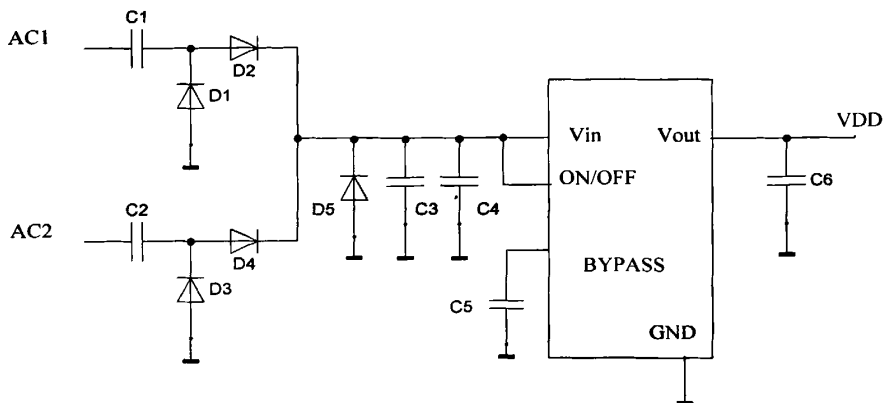


图 4.8 灯中 CC2430 的供电设计

遥控器主要由 CC2430 模块，PCB 天线模块，液晶显示模块，按键模块和电源模块组成。

由于液晶显示模块具有显示信息多，体积小，重量轻，功耗低，寿命长，价格低，接口控制方便等优点，在控制领域被广泛的推广和使用，液晶显示器按其功能可分为笔段式和点阵式两种。点阵式又分字符点阵式和图形点阵式，图形点阵式液晶显示器不仅可以显示数字字符等内容，还能显示汉字和任意图形。本遥控器节点采用型号为 HF12232F 的液晶显示模块，采用 I2C 接口直接与 CC2430 的引脚相连，一根数据线 SDA 加一根地址线 SCL 即可完成对液晶屏的读写，可以节省 CC2430 的端口开销。

遥控器按键使用 SKRHABE010 五方向按键，该器件设计紧凑，使用寿命长，适用于集成度比较高的场合。

考虑到遥控器的便携性要求，决定使用干电池给遥控器供电。由于液晶显示器的工作电压范围在 3.0~5.5V，所以选择 3 节 5 号电池串联给遥控器供电，即 4.5V 的直流电。而 CC2430 需要稳定的 3.3V 工作电压值，于是选取 LP2985AIM-3.3V 这款具有稳定输出的电压调节器产生 3.3V 的稳定电压给 CC2430 供电。LP2985 外围电路原理图如图 4.10，其输入端电容必须大于 1 μ F，本设计采用 3.3 μ F，并且必须在距离输入引脚少于 1cm 处布线。ON/OFF 引脚起到开关 LP2985 的作用，如果这种开关特性不使用的話，可以将 ON/OFF 引脚和输入引脚相连，保持 LP2985 一直处于开状态，本设计将 ON/OFF 引脚和输入引脚相连。LP2985 的电压输出端需要接一个大于 2.2 μ F 的电容，本设计采用

3.3uF。在 BYPASS 端和地端接一个 10nF 的去噪电容可以显著减少电压调节器的输出电压噪声。

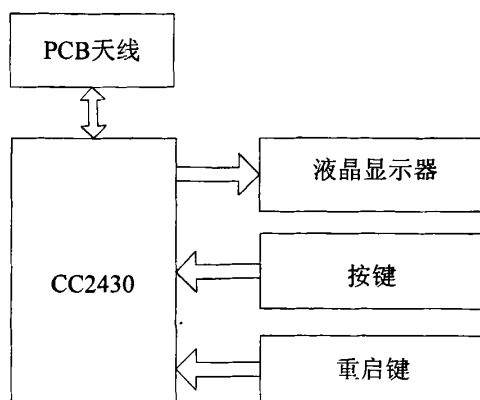


图 4.9 遥控器总体结构

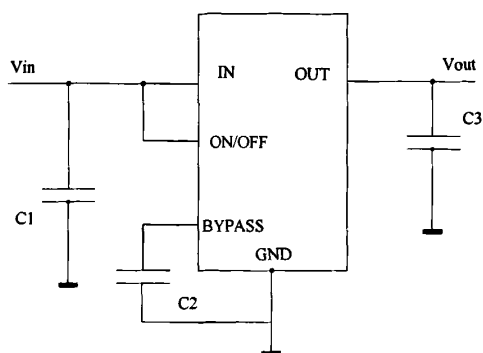


图 4.10 遥控器节点供电电路原理图

第 5 章 ZigBee 灯光控制系统的软件设计

5.1 软件总体设计结构

本项目软件分 3 部分组成，硬件驱动，Z-Stack 协议栈，应用程序。整体结构如图 5.1 所示。

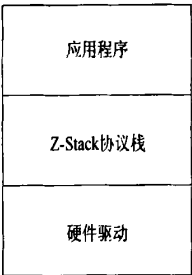


图 5.1 系统软件结构示意图

其中硬件驱动层包括数字-模拟转换器（ADC），按键（KEYBOARD），液晶显示器（LCD），定时计数器（TIMER）等硬件的驱动程序。

Z-Stack 协议栈层是 TI 公司提供的针对 CC2430 进行操作的范例代码，包括 ZigBee 规范中 MAC 层，Network 层中定义的一些通信原语，这些原语被封装成接口函数供用户调用。

应用层完成用户特定的应用功能，可以利用 Z-Stack 协议栈的通信原语来编写具有特定功能的应用程序。

5.2 遥控器的软件设计

面向用户的遥控器设计要求界面简洁、直观，方便用户操作，并且具备 3.1 节提出的一些基本功能，遥控器的基本流程见图 5.2。

当完成了系统的初始化后，遥控器节点将以路由器的身份选择协调器所在的信道加入到已经存在的网络中，然后就进入低功耗状态，准备其他灯节点发

送过来的数据事件的触发和按键事件的触发，如果有新的事件触发，遥控器节点就进入相应的事件处理函数。

5.2.1 按键的程序设计

本设计采用了五方向的按键，其体积小，集成度较高，适合作为遥控器等设备的输入使用。在任务队列的最底层，即硬件抽象层加入按键的初始化函数和按键事件处理函数。本遥控器的设计参考 TI 公司提供的原理图，使用 AD 采样按键产生的电压值，将电压值分为 5 个区间，分别代表上，下，左，右，中五个方向按键，并且在硬件抽象层每隔 100ms 去轮训一次按键值看是否有新的采样值，如果有新的采样值就执行相应方向的功能，按键默认状态为方向“中”。上，下，左，右，中五个方向分别被定义成“+”，“-”，“CANCEL”，“OK”，“MODE”功能。五个按键如果每个按键都定义成一种功能，则无法满足 3.1 节提出的灯光控制系统的基本功能。因此本遥控器设计成有多级菜单的形式，并有友好提示的功能，每个按键在不同的模式中起到不同的作用。

由于使用了房间的概念，因此当第一次使用此遥控器的时候，先要将不同的灯分配到不同的房间中去，即选择 Lamp Select 选项，然后按“+”或者“-”按键选择需要分配到某一房间的灯，按“OK”键表示确认，此过程可以选择多盏灯，只有当选择了灯后才能进入下一级菜单，如果没有灯被选中就进入下一级菜单（即按了 OK 键），系统会出现友好提示“No Lamp Selected”并且返回一级菜单。当正确选择好灯后将会进入二级菜单，在二级菜单中可以对刚才选择好的灯进行 On/Off，Dim/Bright，Room Select，Lamp Reset 等操作。如果想将选中的灯分配到某一房间中去，可以选择 Room Select 选项，并且按“OK”键确认。同样，如果没有房间被选中就按了“OK”键，系统会提示用户“No Room Selected”，然后返回二级菜单。

同理，一级菜单中的 Room Select 选项将针对一个房间内所有的灯进行 On/Off，Dim/Bright，Lamp Reset 等操作，前提是已经按上述方法将灯放入房间内。场景设置即针对一个或者几个房间内灯的现有状态进行记录，将灯的状态值保存到 EEPROM 里，每次系统重启后都会将与状态值相关的一些变量从 EEPROM 里读出来，实现了掉电保护功能。

考虑到遥控器是由电池供电的，如果将灯的状态信息都保存到遥控器端，

将会频繁的读写遥控器端 CC2430 的 EEPROM，而且遥控器的功耗将增加，因此选择将灯的状态信息保存到每个灯节点，这样就减少了遥控器的负担。并且一个网络中可以存在不止一个遥控器，这些遥控器都可以定义自己的场景，并且可以对网络内所有的灯进行操作。

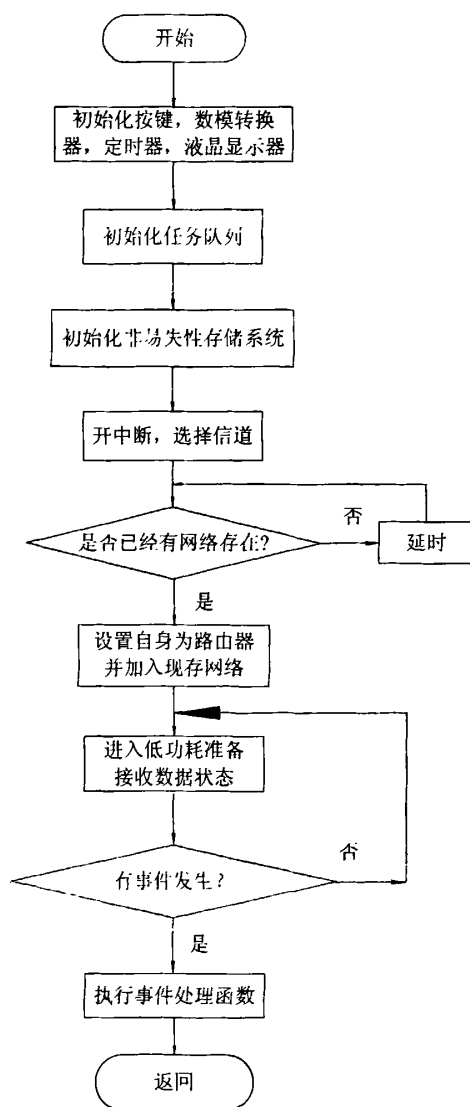


图 5.2 遥控器的程序流程图

菜单系统分为两级，如表 5.1 所示：

表 5.1 遥控器菜单

一级菜单	二级菜单
Lamp Select	On/Off
	Dim/Bright
	Room Select
	Lamp Reset
Room Select	On/Off
	Dim/Bright
	Scene Select
	Lamp Reset
Scene Select	Scene Awake
	Scene Clear

5. 2. 2 液晶驱动的设计

遥控器采用液晶显示器可以向用户显示友好界面，便于用户操作。

本设计选用型号为 HF12232F 的液晶显示器，HF12232F 是一种内置 8192 个 16*16 点汉字库和 128 个 16*8 点 ASCII 字符集图形点阵液晶显示器，它主要由行驱动器，列驱动器及 128*32 全点阵液晶显示器组成。可完成图形显示，也可以显示 7.5*2(16*16 点阵)汉字。与外部 CPU 采用并行或串行方式连接。

主要技术参数和性能：

- 1.电源：VDD:+3.0V~+5.5V。（电源低于 4.0V 时 LED 背光需另外供电）
- 2.显示内容：122（列）*32（行）点。
- 3.全屏幕点阵。
- 4.2M ROM（CGROM）总共提供 8192 个汉字（16*16 点阵）。
- 5.16K ROM（HCGROM）总共提供 128 个字符（16*8 点阵）。
- 6.工作温度：0° C ~+60° C,存储温度：-20° C ~+70° C。

由于遥控器的紧凑设计，本设计采用串口方式，以下是串口接口管脚信号。

表 5.2 串口接口管脚信号

管脚号	名称	LEVEL	功能
1	VSS	0V	电源地
2	VDD	+5V	电源正
3	VEE	-	对比度调整
4	CLK	H/L	串行时钟同步
5	SID	H/L	串行数据输入端
6	CS	H/L	模组片选端，高电平有效
7	BL+	VDD	背光源电压+4.2~+5V
8	BL-	VSS	背光源公共端

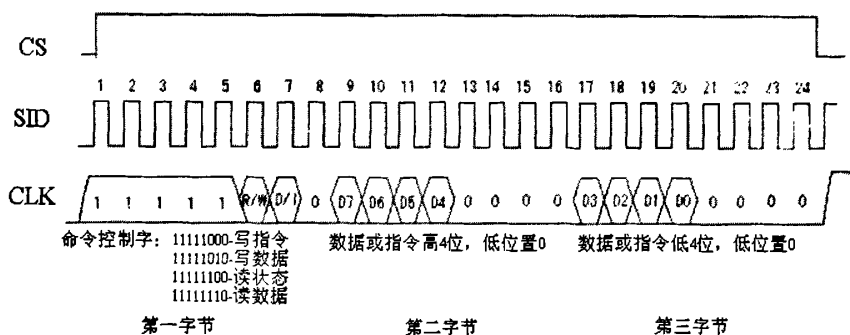


图 5.3 串口时序图

图 5.3 为串口读数据，写数据，写命令和查询状态的时序图。

设计 LCD 驱动程序，其主要工作是对 LCD 控制器的操作，HF12232F 的 LCD 控制器是集成在 HF12232F 内部，CC2430 通过 SDA 线和 SCLK 线来与 LCD 控制器进行通讯，CC2430 对 LCD 控制器的操作见表 5.3。

5.3 荧光灯的软件设计

荧光灯端的程序主要涉及到底层驱动和应用层应用程序的编写。

ZigBee 协议定义了两种帧的格式：KVP 关键值对和 MSG 消息帧。其中 KVP

表 5.3 芯片控制器的基本指令

指令	指令码								功能
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
清楚显示	0	0	0	0	0	0	0	1	将 DDRAM 填满 20H, 并且设定 DDRAM 的地址计数器为 00H
地址归位	0	0	0	0	0	0	1	X	DDRAM 的地址计数器置 0, 游标移到开头原点位置
显示状态开关	0	0	0	0	1	D	C	B	D=1: 整体显示 ON C=1: 游标 ON B=1: 游标位置反白允许
进入点设定	0	0	0	0	0	1	I/D	S	指定在数据的读取与写入时, 设定游标的移动方向
游标或显示移位控制	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X	设定游标的移动与显示的移位控制位, 不改变 DDRAM 的内容
功能设定	0	0	1	DL	X	RE	X	X	DL=0/1:4/8 位数据 RE=1:扩充指令操作 RE=0:基本指令操作
设定 CGRAM 地址	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	设定 CGRAM 地址
设定 DDRAM 地址	1	0	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	设定 DDRAM 地址 第一行: 80H-87H 第二行: 90H-87H
读取忙标志和地址	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	读取忙标志可以确认内部动作是否完成, 同时可以读出地址计数器的值

帧是 ZigBee 规范定义的特殊数据传输机制,采用键值对的形式,通过一种规定来标准化数据传输格式和内容,主要用于传输较简单的变量格式。MSG 格式在数据传输格式和内容上并不作更多规定,主要用于专用的数据流或文件数据等数据量较大的传输。

在荧光灯端的应用层程序设计中采用 MSG 帧的格式,是因为数据传输的过程中有开关,调光,房间号,场景号,地址等大量信息,主要用于传输较简单的数据的 KVP 格式显然不合适。

作为无线灯光控制系统,最重要的功能是将遥控器的命令以无线形式正确发送给荧光灯节点,荧光灯节点收到信息后能根据不同的命令做出相应的动作。因此本设计在应用层定义了一种数据帧的格式,见表 5.4,遥控器节点和荧光灯节点均以这种数据帧的格式为标准进行通信。

表 5.4 应用层帧结构

1byte	1byte	1byte	1byte	1byte
CMD	IEEEADDR	ROOM	SCENE	SETUP

关于帧结构中各个子域及其作用的介绍:

(1) CMD

命令的类型用来指明该帧的具体作用,0x00 表示遥控器发送的设定荧光灯节点房间号的命令,0x01 表示遥控器发送的使荧光灯保存现有场景的命令,0x02 表示荧光灯节点打开遥控器发送过来的某一场景的命令,0x03 表示根据具体的 IEEE 地址进行开,关,调光命令。0x04 表示根据具体的房间号进行开,关,调光命令。0x05 表示荧光灯节点场景和状态的清零重置。

(2) IEEEADDR

每盏灯都有且只有一个 IEEE 地址值,此地址与网络地址不同,在节点重启后和加入新的网络后都不会改变,此地址可以用来进行节点的标识和定位,使该节点区别于其他节点。此地址可以由用户使用特定的应用程序改变。

(3) ROOM

在使用遥控器的时候可以对每盏灯进行房间号的设置,为了使用方便规定每盏灯只有一个与其对应的房间号,房间号的设定方便用户对一个房间的灯进行整体操作,比如开或者关一个房间内所有的灯。

(4) SCENE

场景设置可以使用户可以将不同房间,不同灯的不同状态组合(开,关,不同亮度)设置成不同的场景,比如休息场景,学习场景,娱乐场景。

(5) SETUP

SETUP 主要指对灯的开,关,调亮和调暗的操作。

荧光灯端应用层程序设计流程图如图 5.4 所示。

IEEE 地址是一个节点区别于其他节点的网络标识,IEEE 地址为 64 位,在正常情况下是不会改变的;另外每个节点还有一个网络地址,即节点加入网络后协调器会为每个节点分配一个 16 位的网络地址,协调器本身的网络地址为 0x00。

由于 CC2430 的 flash 存储器的不稳定性,可能节点重新上电后 IEEE 地址会丢失,因此在程序的设计过程中加入了 IEEE 地址丢失的检测。即节点每次上电后都自检。程序流程如图 5.5 所示。

荧光灯处于灭的状态时 CC2430 处于休眠状态,当遥控器发送各种命令时,荧光灯节点内的 CC2430 则从休眠状态被唤醒,处于正常的等待命令接收状态。当荧光灯节点收到具体的各种命令时,其先判断该命令是 KVP 格式或者是 MSG 格式。如果是 KVP 格式则转入 KVP 格式命令处理函数;如果是 MSG 格式,则对 MSG 格式每帧数据的第一个 byte 进行判断,按照不同的命令再转入到相应的命令处理函数。程序流程如图 5.6。

ZigBee 网络支持 3 种网络拓扑结构:星形网络,树状网络,网状网络。星形网络中协调器处于网络的中心点,能耗较多,且当灯节点过多时星形网络的拓扑已不能满足要求。网状网络拓扑结构比较复杂,适合于路由器的路由表需要随时更新,不断有新的节点加入和离开网络的大面积的传感器网络。而树状网络适合于网络拓扑结构不是很复杂,且网络中各节点位置相对固定,不会频繁改变网络拓扑结构的情况。本设计中有 20 盏灯节点,且位置处于几个固定的房间中,网络拓扑结构不会频繁的变化,因此选择树状网络比较适合。

考虑到无线灯光控制系统的稳定性和易用性,并且考虑到用户使用遥控器一般只会在初次使用时会用到房间分组,场景设置等功能,因此本设计将房间分组,场景设置,状态值等变量都保存在灯节点内,这种方案的好处是一个 ZigBee 灯光控制系统中可以存在不止一个遥控器,即可以实现每个房间中都会有一个遥控器,更方便用户的操作。并且在用户每次执行房间分组,场景设

置, 状态值等操作时都将房间分组, 场景设置, 状态值等信息存储到EEPROM

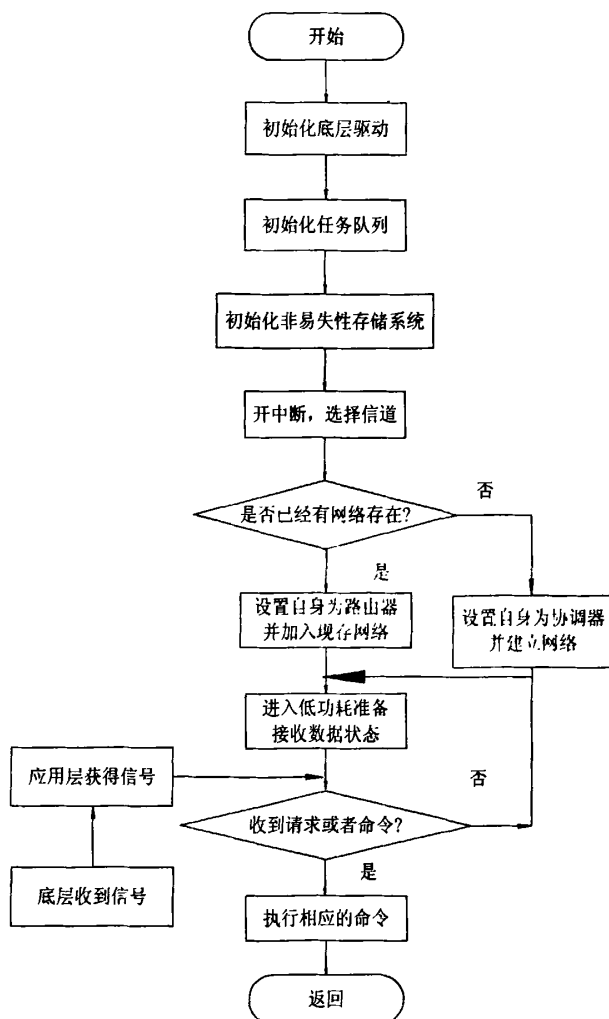


图 5.4 灯端应用程序总体流程图

里, 每次系统重启后都会读取这些变量, 实现掉电后网络分组等信息自动恢复。灯节点的软件设计中还可以设置系统重启命令, 在系统调试中使用, 即在应用层的帧结构中 CMD 项加入 0x06 项, 先关断所有中断, 然后开启看门狗而不去喂狗, 即实现了系统软重启的功能。

灯端的软件设计还加入了故障检测功能, 即荧光灯正常开启后开启 CC2430 的 Timer3, 使能 Timer3 的中断, 并开启 AD 转换器, 每隔 1 分钟去读取荧光灯

电路的一处电压采样点的电压值，当采样电压值连续 10 次即 10 分钟都测得电

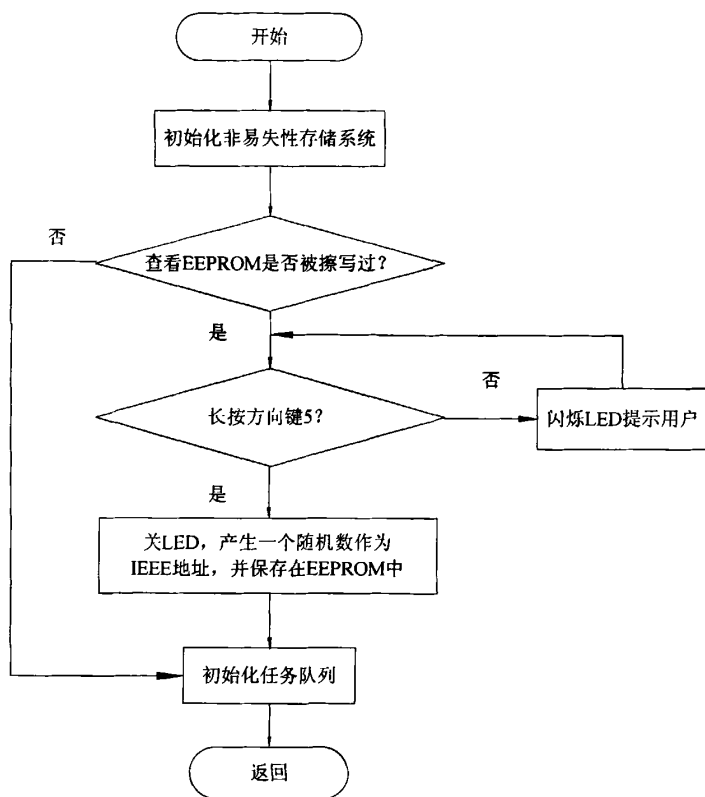


图 5.5 IEEE 地址丢失检测流程图

压值低于 2V 的时候，灯节点将触发事件 A，在事件 A 的处理函数中，灯节点将自身的 IEEE 地址以 MSG 格式的形式发送回遥控器节点，当遥控器节点收到灯节点发送过来的故障信号后将会显示某个 IEEE 地址的灯节点已经出现故障的信息，提示用户检查灯节点工作状态或者更换新的灯节点。由于遥控器节点的 IEEE 地址未知，因此此发送信息是以广播的形式发送出去，即网络中的每个节点都会收到相同的信息，但遥控器节点和灯节点的 Endpoint 不同，因此只有遥控器节点才会接受灯节点发送过来的数据。流程图见图 5.7 和图 5.8。

当灯节点收到关灯信号后，将关断 IO 口，关断 Timer3 和 AD，进入低功耗准备接收数据的状态。

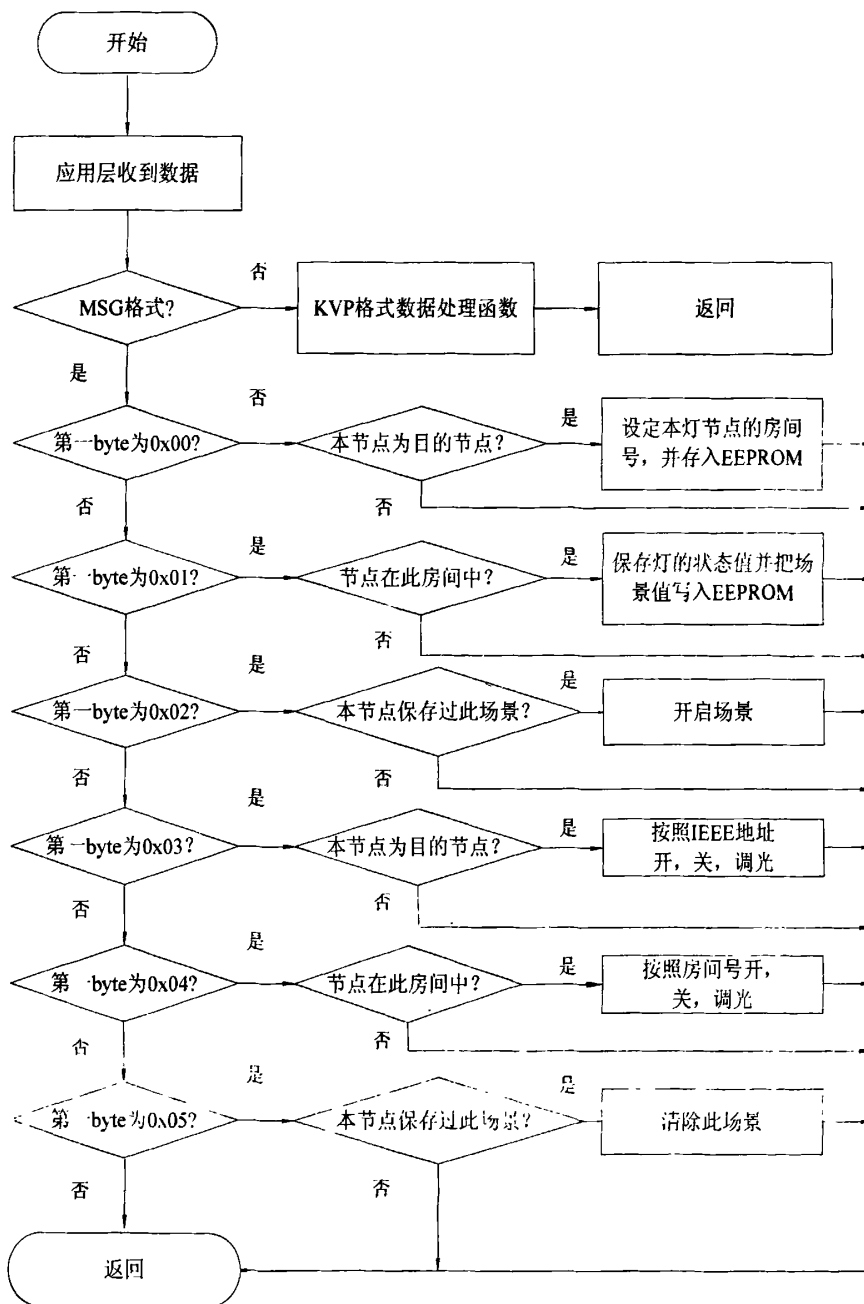


图 5.6 灯节点接收命令并处理命令流程图

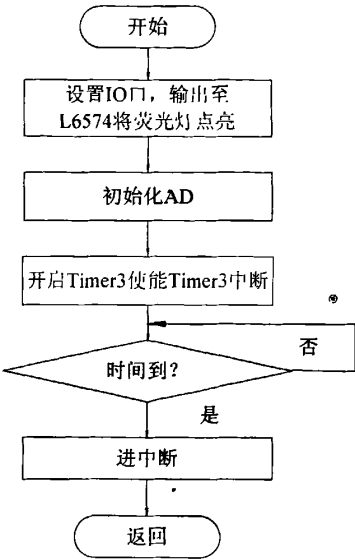


图 5.7 灯节点处理灯亮信号流程图

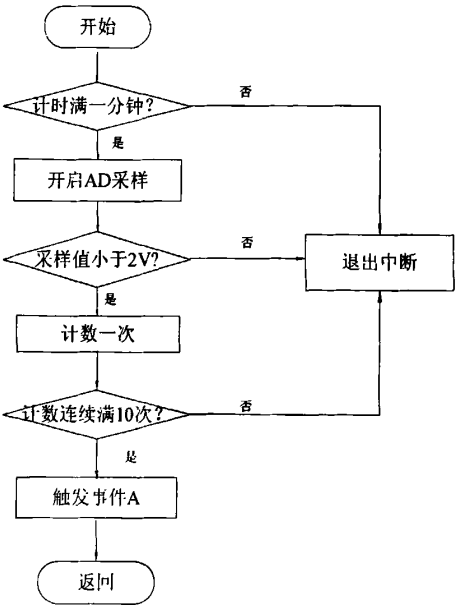


图 5.8 定时器中断流程图

5.4 灯控网络中 ZigBee 和 WiFi 共存的问题

ZigBee 的底层标准把 2.4GHz 的 ISM（工业科学医疗）频段划分为 16 个信道，每个信道带宽为 2MHz。WiFi 将该频段划分为 11 个直扩信道，系统可选定其中任一信道进行通信，信道带宽为 22MHz，如图 5.9。显而易见，当 Zigbee 和 WiFi 同时使用相同频段通信时，会产生带内有色噪声干扰，导致传输分组冲突。

ZigBee 的 16 个 2.4GHz 信道从第 11 信道开始(2.405GHz)，每 5MHz 有一个新的信道，信道带宽 2MHz。WiFi 网由于也工作在 2.4GHz，其带宽 22MHz，一共有 11 个信道完全重叠，而不重叠的信道一共 4 个。具体分布可参看图 5.9。

在 CC2430 开发套件提供的协议栈里有一个默认的信道，在 ZMain.c 里可以看到信道的设置：

```
nwkDefaultChannelList=DEFAULT_CHANLIST;
osal_nv_item_init(ZDO_NV_CHANLIST,sizeof(nwkDefaultChannelList),&nwkDefaultChannelList );
```

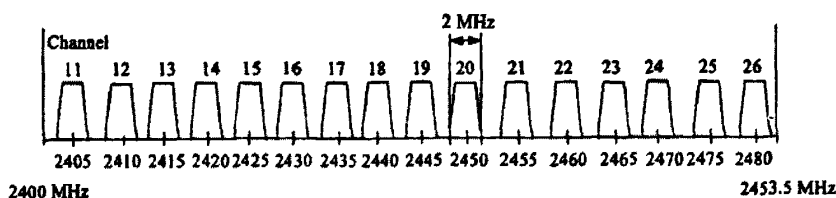
协议栈将信道的默认值保存在非易失性的存储器（NV）中，每次系统重启都会自动将新设定的信道保存在非易失性存储器中或者将保存在非易失性存储器中的信道读取出来作为默认的信道。

已知 15，20，25，26 信道与 WiFi 不重叠，因此可以设置协调器的信道选择算法是在协调器读取 EEPROM 里保存的默认信道之前生成一个随机数，由它随机决定到底使用哪个信道，而这个随机产生的数里面，15，20，25，26 信道的权重将高于其他信道，以尽量避免和 WiFi 的信道有冲突。在 TI 公司提供的协议栈里默认的信道只有一个，而且只打开了一个，但信道是按照位来选择的，因此可以在 f8wConfig.cfg 文件里将 ZigBee 定义的所有 16 个信道都打开。当某个空间中要共存多个 ZigBee 网络时，不同的协调器上电时可以选择不同的信道建立网络。

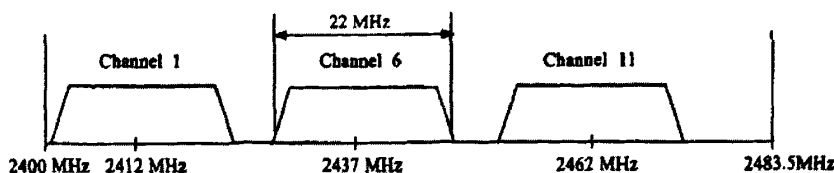
假设给每个信道的权重为 $P(n)$ ，可以定义 16 个信道权重关系如下：

$$A=P(15)=P(20)=P(25)=P(26)>B=P(21)=P(24)>C=P(11)=P(14)=P(16)>D=P(12)=P(13)=P(17)=P(18)=P(19)=P(20)=P(23)。$$

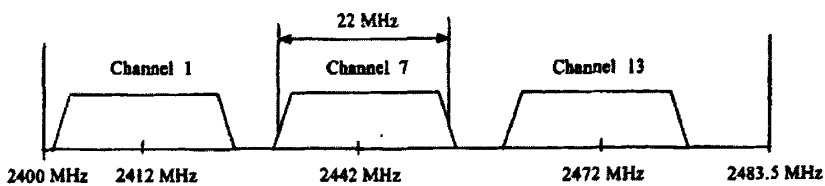
默认 15 信道作为起始信道，那么 15 信道作为通信信道的概率为 $A/(4A+2B+3C+7D)$ ，当发现不是 15 信道时，以概率 $R(A)=A/(4A+2B+3C+7D)$



Zigbee 信道在 2.4 GHz 频段上分布



Wi-Fi 信道在 2.4 GHz 频段上分布(无重叠, 北美)



Wi-Fi 信道在 2.4 GHz 频段上分布(无重叠, 欧洲)

图 5.9 ZigBee 和 Wi-Fi 的干扰和共存

转为 20, 25 和 26 信道, 以概率 $R(B)=B/(4A+2B+3C+7D)$ 转为 21 或 24 信道, $R(C)=C/(4A+2B+3C+7D)$ 转为 11, 14, 16 信道。第 N 次检索中检索到信道 n 的概率 PNR 如公式 5.1:

$$PNR = \frac{P(n)}{4A + 2B + 3C + 7D - \sum_{i=1}^{N-1} P_i} \quad (5.1)$$

其中 $\sum_{i=1}^{N-1} P_i$ 为前 $N-1$ 次检索中被排除的信道权值之和。

那么对于协调器选择 n 信道情况下而言, 在 N 次搜索中被搜索到的概率 PN 如公式 5.2:

同时协调器有 $P(n)/(4A+2B+3C+7D)$ 的概率选择 n 信道。

那么相对于整体而言, 本算法第 N 次检索成功率 PN 如公式 5.3:

$$PNV = 1 - \prod_{j=1}^N \left[1 - \frac{P(n)}{4A + 2B + 3C + 7D - \sum_{i=1}^{j-1} P_i} \right] \quad (5.2)$$

$$PN = \sum \left\{ \left\{ 1 - \prod_{j=1}^N \left[1 - \frac{P(n)}{4A + 2B + 3C + 7D - \sum_{i=1}^{j-1} P_i} \right] \right\} \times \frac{P(n)}{4A + 2B + 3C + 7D} \right\} \quad (5.3)$$

由上式可见，相对于普通的按序信道检索模式 $P(n)/(3A+2B+4C+7D)$ 的概率而言，本算法在第 N 次搜索具有较高的检索成功率。

第6章 系统整合及性能测试

本系统的测试是按功能模块各自先独立调试运行成功后再系统联调，以达到较高的测试效率和结果。

6.1 系统调试

当硬件 PCB 加工完成后，在进行软件编程之前，必须对硬件进行全面的测试，不稳定的硬件会给软件调试带来种种错误而且难以调试。硬件测试又分为电路测试和逻辑测试，即分别对电路的物理连接和逻辑功能进行测试。

电路测试

测试的第一步是看电路的物理连接是否符合原理图，主要是测试电路板的制作以及焊接，测试流程如下：

在给电路板上电之前，必须先把电源电路和工作电路断开，用万用表先测试电源电路是否正常工作，否则，可能由于电源电路存在故障而把后面的工作电路烧坏。

逻辑测试

逻辑测试是看各逻辑电路的功能是否符合实际的需要，一般的错误原因有原理图设计错误及 PCB 布局走线不符合要求。这类错误比较难以发现，而且难以排除，需要丰富的硬件调试经验。

在实际的测试过程中，如果 CPU 能正常工作了，就可以把预先写好的测试程序写入 CPU，观察运行的实际效果，然后对各模块进行检测。

6.2 实验

6.2.1 PWM 占空比和灯的亮度之间关系的测量

人的肉眼所感受到的亮度变化与灯的功耗之间的关系是非线性的，本设计使用灯的实际功耗来代表灯的不同亮度分级，表 6.1 是测得的实验数据。本实验采用 PLER (Philips Lighting Electronics R) 型 15W 标称功率的荧光灯，灯的实

实际功耗和 PWM 占空比之间呈线性关系，如图 6.1 所示。

表 6.1 PWM 占空比与灯的功率的测量

灯的实际功率(W)	灯的输入功率(W)	PWM 占空比
1.55	6.17	0.0075
1.77	6.35	0.0100
1.93	6.49	0.0125
2.25	6.83	0.0175
2.47	6.98	0.0200
2.60	7.12	0.0225
2.83	7.27	0.0250
3.10	7.60	0.0300
3.25	7.73	0.0325
3.57	8.00	0.0375
3.88	8.30	0.0425
4.04	8.52	0.0450
4.20	8.60	0.0475
4.30	8.60	0.0500
4.60	8.86	0.0550
4.70	9.00	0.0575
4.83	9.19	0.0600
5.04	9.32	0.0625
5.24	9.55	0.0675
5.40	9.69	0.0700

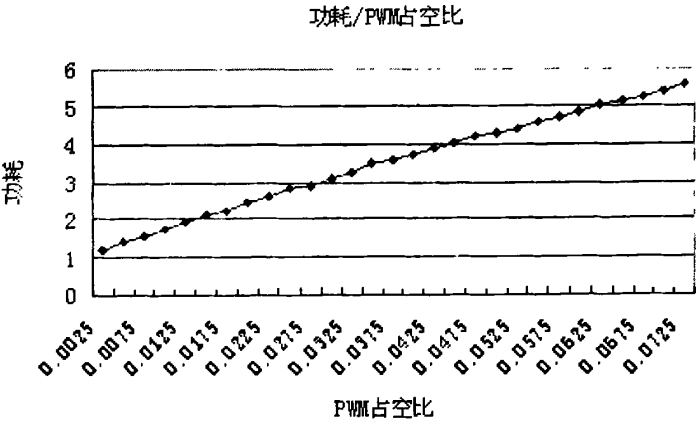


图 6.1 灯的功耗和 PWM 占空比之间的关系

灯的实际功率与灯的输入功率之间的差值为 CC2430 和 L6574 等灯的外围电路所消耗的能量。其值稳定在 4.2W 和 5.4W 之间。

6.2.2 系统功耗测定

荧光灯端的功耗主要是指荧光灯驱动电路和荧光灯灯管的功耗。内部集成了 CC2430 的 PLER15W 型的荧光灯其电压电流功率和频率的关系如表 6.2 所示。

测试仪器 YOKOGAWA WT2030 功率计, Tektronix TCPA300 电压电流探头

测试对象 15WPLER 荧光灯, 主电感 2.2mH

表 6.2 PLER15W 荧光灯的电压, 电流, 功率和频率的测量

功率 (W)	电压 (V)	电流 (A)	频率 (Khz)
16.28	82.91	0.2020	48.410
16.00	83.24	0.1943	48.892
15.33	85.70	0.1800	53.810
14.26	88.40	0.1640	57.980
13.33	90.40	0.1500	61.960
12.40	92.20	0.1365	65.691
11.30	94.21	0.1222	69.635
10.26	96.38	0.1082	73.208
9.39	98.24	0.0974	75.807
8.23	100.64	0.0837	78.634
7.25	102.85	0.0723	80.527
6.29	104.83	0.0621	81.896
5.42	106.58	0.0529	82.437

与其他的气体放电灯一样, 荧光灯的伏安特性是负阻性的, 测量的伏安特性曲线如图 6.2 所示。

当电子镇流器的开关工作频率增加时, 镇流电感的阻抗将增加, 这样流过镇流电感的电流就会下降, 导致流过灯负载的电流下降, 即荧光灯的功率将下降, 测量的频率功率曲线如图 6.3 所示。

遥控器端 CC2430 消耗的能量主要取决于其收发数据的频率和轮询协调器的速率。其中轮询协调器是指遥控器周期性的去询问协调器是否可以发送数据,

以便维持网络的存在。在两次连续的轮询期间节点处于休眠模式，能量消耗较

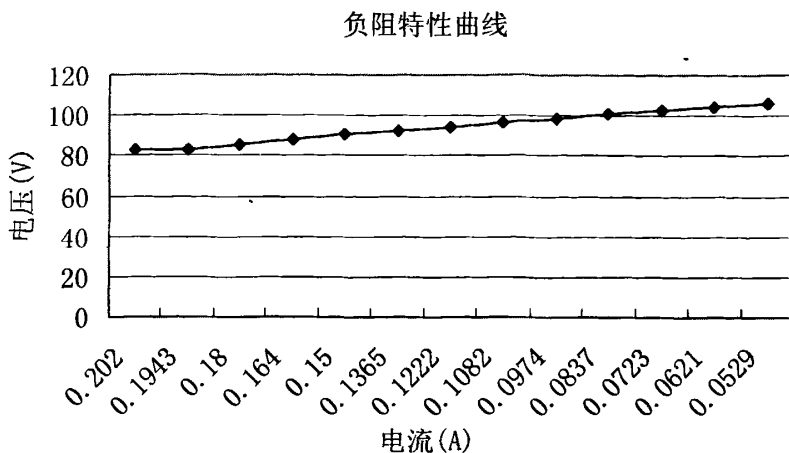


图 6.2 15wPLER 荧光灯的负阻特性曲线

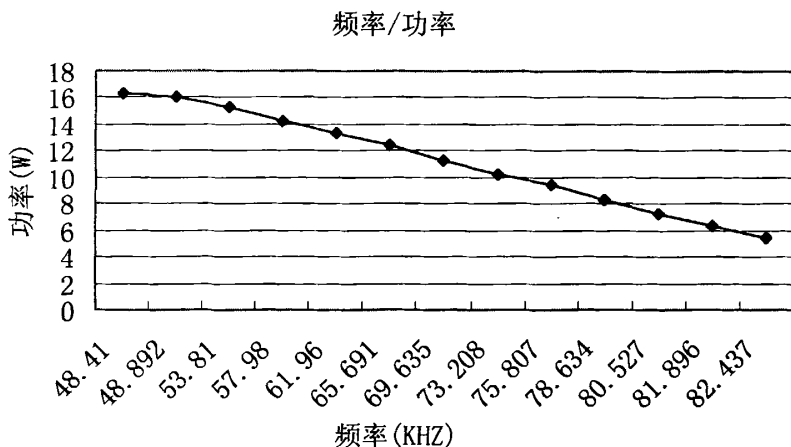


图 6.3 15wPLER 荧光灯的功率频率曲线

低。协议栈默认的轮询速率为 1S/次。

经测得没有数据传输时的轮询电流消耗为 128.7mAms，持续时间为 7.05ms；有数据传输时的轮询电流消耗为 431.1mAms，持续时间为 20.23ms；节点处于休眠状态时的电流消耗为 0.5uA。

假设遥控器一天传输数据 20 次，则一天总共消耗的电流如下：

没有数据传输时的轮询：

$$128.7\text{mAms} \times (60 \times 60 \times 24 - 20) / (1000\text{ms/s}) / (3600\text{s/H}) \approx 3.0881\text{mAH/day}$$

+

有数据传输时的轮询:

$$431.1\text{mAms} \times 20 / (1000\text{ms/s}) / 3600\text{s/H} \approx 0.0023\text{mAH/day}$$

+

在休眠状态时的电流消耗:

$$0.0005\text{mA} \times (1000\text{ms} - 7.05\text{ms}) \times (60 \times 60 \times 24 - 20) / (1000\text{ms/s}) / (3600\text{s/H})$$

+

$$0.0005\text{mA} \times (1000\text{ms} - 20.23\text{ms}) \times 20 / (1000\text{ms/s}) / (3600\text{s/H}) \approx 0.0119\text{mAH/day}$$

以上所有的电流消耗加起来为 3.1mAH/day。

如果使用730mAH的3节5号电池的话, 可以使用约 $730 \times 3 / 3.1 \approx 365 \times 2 \text{天} = 2 \text{年}$ 。

6.2.3 组网实验

智能灯光控制系统一般结构较简单, 星型网络或者树状网络即可满足照明系统的要求, 实验中使用TI公司提供的软件Z-Network查看网络的拓扑结构如图6.4和图6.5。

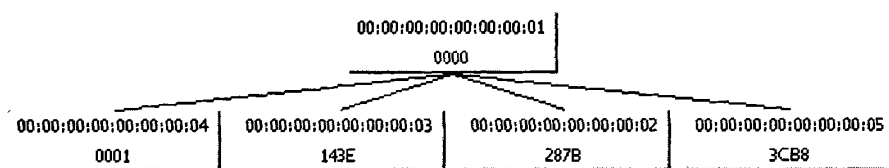


图 6.4 星型网络



图 6.5 树状网络

第7章 结论与展望

7.1 结论

针对目前智能灯光控制系统中主要存在的布线难, 费用高等问题, 本文对基于 ZigBee 的无线智能灯光控制系统进行了研究和开发, 设计并实现了无线灯光控制系统的主要部分, 为其进一步的开发打下了一定的基础。本文的主要工作如下:

(1) 首先对智能灯光控制系统进行了充分的研究, ZigBee 以其协议简单, 成本低, 组网容易等特点, 适合应用于无线灯光控制系统。

(2) 本文根据 ZigBee 灯光控制系统的设计要求, 研究了 ZigBee 相关技术及其在灯光控制系统中的应用。针对紧凑型 PLER 荧光灯的结构特点选择 CC2430 作为无线收发芯片, 对荧光灯内部的硬件模块进行了合理的设计, 包括硬件的选型和接口电路的设计。在软件的实现上主要工作是底层驱动的开发和应用层应用程序的开发。并且针对灯光控制系统的控制要求, 对遥控器模块进行了硬件的设计和开发, 软件实现包括底层驱动和应用层人机界面多级菜单程序的开发。初步实现了一个具有开, 关, 调光, 分组, 场景设置及恢复等功能的无线灯光控制系统原型。

(3) 针对灯光控制网络中 ZigBee 和 WiFi 共存的问题进行了研究, 提出了一种信道冲突避免机制。

实验结果表明 ZigBee 技术适合无线灯光控制系统中的数据通讯, 基本达到了预期的设计目标, 能为基于 ZigBee 技术的灯光控制系统提供一个基本的解决方案。

7.2 进一步工作的方向

本文对基于 ZigBee 技术的灯光控制系统进行了设计和研究, 取得了一定的成果, 达到了最初的设计要求, 但仍然存在着一些问题有待进一步的探索。

ZigBee 无线通信技术作为一门新兴的技术, 其本身还在不断的完善中, ZigBee 联盟负责物理层和 MAC 层协议以上的部分, 其标准也在不断改进更新

中，今后协议栈方面还需紧跟 ZigBee 联盟公布的标准加以实现。

为扩大应用功能，在遥控器端可以引入嵌入式操作系统和触摸式的液晶显示屏幕，使用户操作更加方便。在荧光灯端可以加装亮度传感器和温度传感器，以实现光照强度和温度的检测，利用检测到的数据可以进行场景的切换。但要作为一个产品，还需要投入大量的人力，物力进行产品外观，功能，性能等方面的设计。现有的 ZigBee 灯光控制系统可以为智能家居系统的设计提供一定的参考。

致谢

随着毕业论文的完成，硕士研究生生活也渐入尾声，回想起两年半的学习和生活，一切都还历历在目。

首先感谢我的母亲，李秀敏女士。感谢她对我二十多年的辛勤抚育，感谢她对我的谆谆教诲，感谢她对我逆境中的鼓励，感谢她为我所做的一切的一切，她对我的恩情是我这一生也难以回馈的。

感谢我的导师，孙懋珩副教授，他严谨细致、一丝不苟的作风一直是我工作、学习中的榜样，他的开阔思路给予我无尽的启迪。

我还要感谢所有教授我知识关心过我帮助过我的老师，他们为我知识体系的建立，人格的形成起了非常重要的作用。

感谢与我并肩作战的同学和同事们，蒋敏、陈秉舟、张国平、孙凯健、苏枫、徐敏、李欣等，感谢他们的帮助和鼓励，让我克服了一个又一个的难题。与他们共同探讨、相互促进，结下了深厚的友谊。

惟此之际，感谢所有帮助我、关心我的人，向他们表示最诚挚的谢意！

2008年3月

参考文献

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Std 802.15.4™-2003, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). New York: IEEE Press, 2003
- [2] ZigBee Standards Organization, ZigBee Document: ZigBee Specification, ZigBee Alliance, 2005
- [3] ZigBee Standards Organization, ZigBee Document: ZigBee Specification, ZigBee Alliance, 2006
- [4] Jianliang Zheng and Myung J.Lee, A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4. The City College of New York, 2003
- [5] Jianliang Zheng and Myung J.Lee, Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality: A Discussion on a Potential Low Power, Low Bit Rate Standard. IEEE Communications Magazine, 2004
- [6] Korhonen, J.Parkka and M.Van GILS, Health monitoring in the home of the future. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, May 2003: 66-73
- [7] Dennis Cox, Emil Jovanov, Aleksander Milenkovic, Time Synchronization for ZigBee Networks. The University of Alabama in Huntsville, 2005
- [8] Lin Shizhuang, Liu Jingyu, Fang Yanjun. ZigBee Based Wireless Sensor Networks and Its Applications in Industrial. Automation and Logistics, 2007 IEEE International Conference Aug:1979-1983
- [9] Sun Jinsheng, Wang Ning, Liu Liping. Using ZigBee Wireless Network to Transfer Water-Sludge Interface Date. Information Acquisition,2006 IEEE International Conference Aug:473-477
- [10] Wan-Ki Park, Intark Han, Kwang-Roh Park. ZigBee based Dynamic Cnontrol Scheme for Multiple Legacy IR Controllable Digital Consumer Devices. Consumer Electronics,IEEE Transactions 2007.Vol .53:172-177
- [11] Park Wan-Ki, Choi Chang-Sic, Han Jinsoo, Han Intark. Design and Implementation of ZigBee based URC Applicable to Legacy Home Appliances. Consumer Electronics, June.2007:1-6
- [12] Il-Kyu Hwang, Jin-Wook Baek. Wireless Acsss Monitoring and Control System based on Digital Door Lock.Consumer Electronics,Nov .2007:1724-1730
- [13] Shuaib, Boulmaif, Sallabi, Lakas.Co-existence of Zigbee and WLAN, A Performance Study. Wireless Telecommunications Symposium, April.2006:1-6

- [14] Huang Mao-Cheng, Huang Jyun-Ciang, You Jing-Cyun, Jong Gwo-Jia. The Wireless Sensor Network for Home-Care System Using ZigBee. *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, Nov.2007:643-646
- [15] 金纯. ZigBee 技术基础及案例分析. 北京: 国防工业出版社, 2008
- [16] 蒋挺, 赵成林. 紫蜂技术及其应用. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006
- [17] 瞿雷, 刘盛德, 胡咸斌. ZigBee 技术及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007
- [18] 陆秋生, 赵红. 采用 L6574 的可调光电子镇流器的工作原理与应用. *灯与照明*, 2006
- [19] 孙利民, 李建中, 陈渝, 朱红松. 无线传感器网络. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [20] 方旭明, 何蓉等. 短距离无线与移动通信网络. 北京: 人民邮电出版社, 2004
- [21] 汪衣冰, 龚永平. GSM 数字移动通信网. 北京: 人民邮电出版社, 1998
- [22] 张禄林, 雷春娟, 郎晓虹. 蓝牙协议及其实现. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- [23] 钱能. C++程序设计教程. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [24] 樊雅平, 蓝海江. 荧光灯原理及相关问题的讨论. *柳州师专学报*, 2004. 04
- [25] 马祖长, 孙怡宁, 梅涛. 无线传感器网络综述. *通信学报*, 2004, Vol. 25 (4): 114-124
- [26] 王权平, 王莉. ZigBee 技术及其应用. *现代电信科技*, 2004, Vol. 1 (1): 33-37
- [27] 周云正. 电子镇流器半桥逆变输入电路分析与设计. *电源技术应用*, 2006
- [28] 王守志, 毛兴武. 荧光灯电子镇流器数字调光方案研究. *电源技术应用*. 2006
- [29] 金纯, 陈林星, 杨吉云. IEEE 802.11 无线局域网. 北京: 电子工业出版社, 2004
- [30] 李文仲, 段朝玉等. ZigBee 无线网络技术入门与实践. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007
- [31] 于暄, 傅家祥, 肇云波. 基于 GPRS 与 ZigBee 的智能家居设计. *单片机与嵌入式系统应用*, 2007. 01: 50-55
- [32] 王锐华, 益晓新, 于全. ZigBee 与 Bluetooth 的比较及共存分析. *测控技术*, 2005, Vol. 24 (6): 50-52
- [33] 刘小伟, 刘宇, 温培和. Altium Designer 6.0 电路设计实用教程. 北京: 电子工业出版社, 2007
- [34] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇. 无线传感器网络研究进展. *计算机研究与发展*, 2005, Vol. 42 (1): 163-174
- [35] 施承, 宋铁成, 叶芝慧等. 基于 ZigBee 协议的无线传感器网络节点的研制. *广东通信技术*, 2006. 01: 9-12

个人简历 在读期间发表的学术论文与研究成果

个人简历:

刘骞, 男, 1982 年 6 月生。

2005 年 7 月毕业于同济大学 电子与信息工程专业 获学士学位。

2005 年 9 月入同济大学读硕士研究生。

已发表论文:

- [1] 刘骞, 孙懋珩. ZigBee 网络移动节点接入与切换机制仿真分析. 计算机与现代化, 2008. 01