

A decorative graphic on the right side of the page. It features three concentric blue circles of varying sizes. Two thin blue lines originate from the top left and extend diagonally towards the circles. The bottom right corner is partially obscured by a large blue shape.

基于 Zigbee 协议的无线 家居环境控制网络

生医 6 沈丽 徐亮

结题报告
2009-9-25

目录

基于 Zigbee 协议的无线家居环境控制网络	3
1 立项背景	3
1.1 zigbee 协议	3
1.2 智能家居系统	3
1.3 设计目的及意义	3
2 项目基本内容	4
2.1 总体思路	4
2.2 核心器件选型	5
2.3 硬件设计	6
2.4 软件设计	8
3 调试过程:	12
4 最终实现的功能:	13
5 成员分工与合作	13
6 元器件及其费用清单	13
7 实验总结	13
8 参考文献	13

基于 Zigbee 协议的无线家居环境控制网络

生医 6 沈丽 徐亮

1 立项背景

1.1 zigbee 协议

“ZigBee”是一个基于 IEEE 802.15.4 标准的高可靠无线数传网络协议，类似于 CDMA 和 GSM 网络，ZigBee 数传模块类似于移动网络基站，通讯距离从标准的 75 米到几百米、几公里，并且支持无线扩展。

Zigbee 系统的研发目的是为了适用于低功耗，无线连接的监测和控制系统。该系统采用高的抗干扰性能的直序扩频通信方式(DSSS)，64 位出厂编号和支持 AES-128 加密。ZigBee 每个网络模块射频前端的数据传输速率约为 250K。ZigBee 标准的优点包括：低成本、安全、可靠和自愈、灵活可扩展、低功耗、使用全球无限制无线电频段、智能化的网络建立和信息路由等。

Zigbee 网络还可以通过接口卡等多种方式，与互联网，GPRS 网，CDMA1x 网以及其它通信系统线连接，从而实现远程操控。我们也可以通过其它网络，将两个或多个局部 Zigbee 网络连接在一起。ZigBee 无线网状网络的冗余、自配置和自愈能力对许多应用来说是非常理想的。

1.2 智能家居系统

随着国民经济和科学技术水平的提高，特别是计算机技术、通信技术、网络制技术的迅猛发展与提高，促使了家庭实现了生活现代化，居住环境舒适化。这些高科技影响了人们生活的方方面面，改变了人们的生活习了人们生活质量，家居智能化也正是在这种形势下应运而生的。智能家居，或称智能住宅，在英文中常用 Smart Home。智能家居是以住宅为平台，兼备通信、信息家电、设备自动化，集系统、结构、服务、管理为一体的高效、安全、便利、环保的居住环境。

在本项目中，智能家居环境控制作为脑-机接口(BCI)系统的一种典型输出接口，其功能是将 BCI 核心系统识别出来的脑电状态码翻译成不同家用电器的控制命令和参数。

1.3 设计目的及意义

本设计旨在利用 zigbee 无线技术，建立家居环境控制的无线网络，改进设计《用于脑-机接口的无线家居环境控制器》中的通讯模块。

原设计通过采集、分析脑电信号，得到家电控制信号。通过蓝牙无线通讯技术将控制指令，发送给指定的家电端从设备，再由该从设备发送红外控制信号，控制家电，形成智能家居系统平台。其中，蓝牙无线通讯技术的优点是简单、便捷，应用广泛、无需安装驱动程序软件，且具有低功率、低成本、内置安全性、稳固、易于使用并具有即时联网功能。但蓝牙

通讯技术也存在相应的缺点，蓝牙接收时，发送和接收端需要进行一一配对过程，需要消耗一定的时间，使得通讯时间延长。

相比之下，利用 Zigbee 通讯协议可建立星形结构的无线网络，省去配对过程，此外，还具有低功耗、低数据量、低成本的优点。在 Zigbee 协议中，我们能够利用免费频段 2.4G，进行高抗干扰、高保密性、自动动态组网。

2 项目基本内容

2.1 总体思路

本设计的原理框图如图 1：

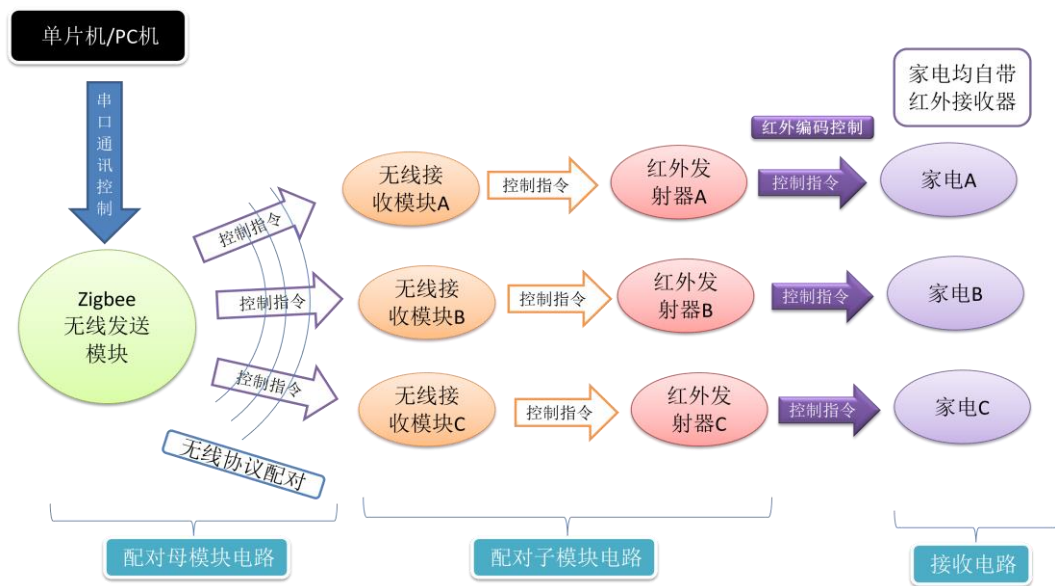


图 1 设计原理框图

上位机为 PC 机，采用 MATLAB 设计 GUI 界面通过串口发送控制指令。电路板包括 Zigbee 发送板、Zigbee 接收板及红外发射电路（见图 2），还可包括受控设备或红外学习板的红外接收电路。

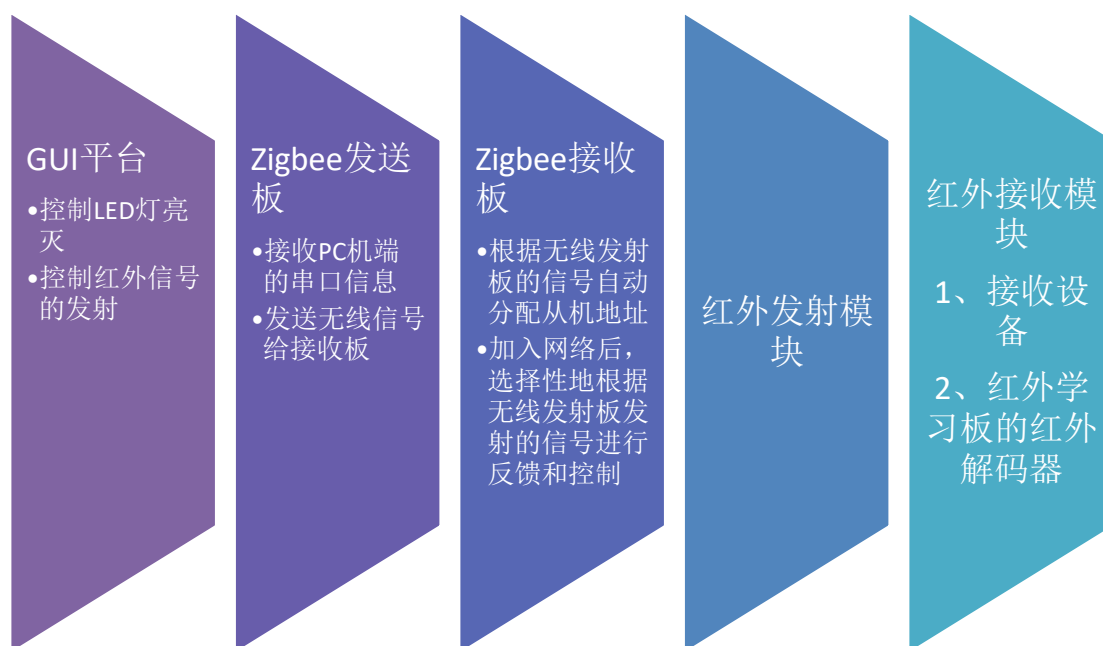


图 3：系统最终方案原理框图

2.2 核心器件选型

在核心器件的选用中,我们选择博讯科技公司型号为 Jennic JN5121 的 Zigbee 开发套件。

该开发套件的核心芯片 JN5121 是一款兼容 IEEE 802.15.4 的低功耗 SoC 芯片, 具有 32 位 RISC 处理器, 2.4GHz IEEE 802.15.4 兼容无限收发器, 能够在 2.4GHz 免费频段进行无线通讯, 所谓免费频段, 是指各个国家根据各自的实际情况, 并考虑尽可能与世界其他国家规定的一致性, 而划分出来的一个频段, 专门用于工业, 医疗以及科学研究使用的, 不需申请就可以免费使用的频段。

JN5121 具有 64kB ROM 及 96kB RAM 及 SPI 总线等模块, 具有低功耗、稳定性高等优点, 其模块组成如图 3:

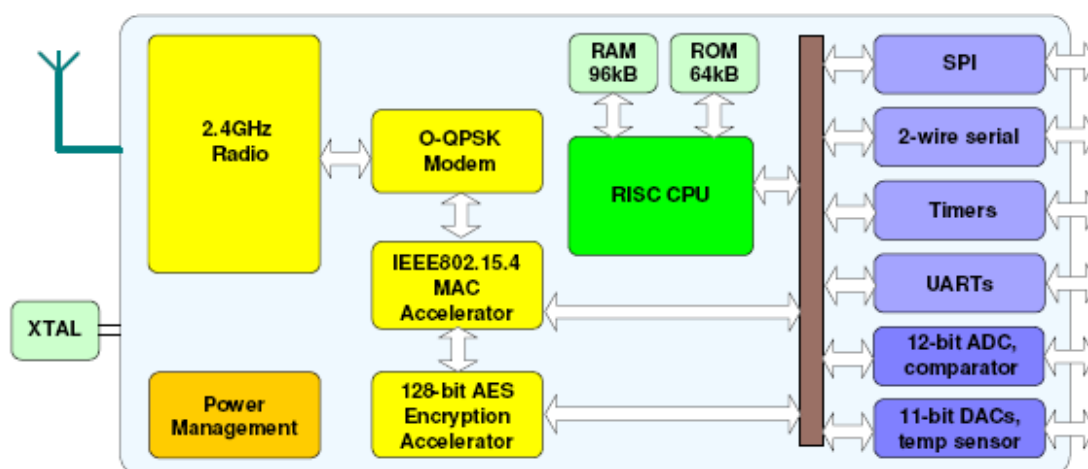


图 3 Jennic JN5121 芯片模块组成图

与其他芯片相比较, JN5121 具有功率低、通讯速率高、兼容性强等特点。而 JN5121 相对成熟的开发套件, 也使在平台上的各种应用开发成为可能。

2.3 硬件设计

硬件部分主要利用 JN5121-DK103 ZigBee 开发包进行无线通讯程序开发。其核心部件为无线微处理器 JN5121-Z01-M 模块（包括 2 块内置陶瓷天线的 M00 模块，1 块带有天线连接接口的 M01 模块）。JN5121-Z01 模块是基于 JN5121 芯片所开发的一系列表贴形式的模块产品。该系列模块集成了所有的射频组件和无线微控制器。采用模块进行开发可以大大的减少开发人员的工作量，缩短产品的开发周期。

Zigbee 网络架构包括 3 个设备类型：协调器（ZC）、路由器（ZR）和终端设备（ZE）。其中一个网络只有一个 ZC，若干个 ZR 和 ZE。

协调器用于启动和控制网络，存储关于网络的信息，包括作为认证中心和作为安全密钥的贮藏所。路由器用于扩展网络覆盖面，在障碍周围动态路由，并且提供备份路由以防网络拥挤和设备失败；它们可以联系到协调器和其它路由器，并且支持子设备。终端设备可以发送或接收一个信息，但是不能执行任何路由操作；它们必须被联系到协调器或者一个路由器，并且不支持子设备。

本设计硬件部分初步计划利用 JN5121-DK103 ZigBee 开发包与 PC 机的通讯端口连接，利用 M01 模块作为协调器，利用两个接收模块 M00 作为路由器，以红外发射端、家电为终端设备进行通讯。

（1） Zigbee 发送模块

作为 Zigbee 网络中的 Coordinator（ZC），采用 JN5121-Z01-M01 模块。该模块实现的主要功能是接收从 PC 机串口发送过来的数据，通过 Zigbee 协议发送给接收模块，同时也包括响应过程中的确认、反馈等通讯过程。实际应用中，通过脑—机接口采集脑电信号，并进行处理和模式识别后，将翻译后的指令通过 PC 的 GUI 界面或者虚拟遥控器的界面，通过串口发送给 ZC。

（2） Zigbee 接收模块

作为 Zigbee 网络中的 Router（ZR），共 2 块，可外接红外发射编码电路，控制两个不同的家电设备（如彩电，空调等）。采用 JN5121-Z01-M00 模块。其主要功能是接收 ZC 发送的命令，根据该命令驱动相应的红外发射管发出一定的编码脉冲信号，对家电进行红外遥控。其中包括与 ZC 的应答，反馈等通讯过程。作为调试过程，其数据接收结果将通过串口上传到 PC 的 GUI 或者 Labview 虚拟仪器界面，进行相应家电的虚拟控制。或者接收板脱离 PC 机，可直接对接收板上的 LED0 和 LED1 两个 LED 灯进行亮灭控制，作为调试用。

（3） Zigbee 模块与红外发射接口

红外遥控器是常见的无线控制设备，如遥控电视机、空调、音响等。其优点是成本低，易操作，能耗小，结构简单，应用广泛。

红外遥控系统主要由发射器、接收器和中央处理器(ICPU)组成。接收器和 CPU 部分都在家电主机上。我们设计的红外遥控系统，是由接收模块根据接收的信号，控制 MCU 的 IO 口产生遥控编码脉冲，驱动红外发射管串行输出红外控制脉冲信号，这些脉冲被家里内部的接收器和 CPU 接收后，经放大、限幅、检波、整形后，控制中央处理器(CPU)，产生相应的操作。如彩电的频道转换，音量增减等；又如空调的温度、风向、风速等调整。

红外编码脉冲由引导码、用户识别码及其反码、操作码及其反码组成，如图 4 所示。引导码作为遥控码的起始部分，由一个高电平（9ms）和一个低电平（4.5ms）组成。这些编码经 38 kHz 的载波脉宽调制后通过红外线发射管发出。

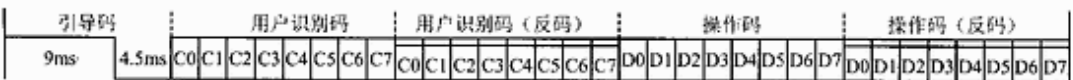


图 4 红外遥控编码信号

红外发射模块以单机的两个 IO 端口作为输入端，第 51，42 管脚（见图 5），即 DIO10/TIM0OUT 与 DIO2/SPISEL3。其中 DIO10/TIM0OUT 端第二功能为定时器 0 的 PWM 输出，可产生 38KHz 的载波信号，而 DIO2/SPISEL3 使用其普通 IO 口功能，产生编码信号。两个信号通过与非门（如 74HC00）实现信号的载波，通过红外发射管将红外信号发送出去。据调研，红外二极管的发射电流约 20mA，如供电 3.3V，需 220 欧左右限流电阻（见图 6，R40）。

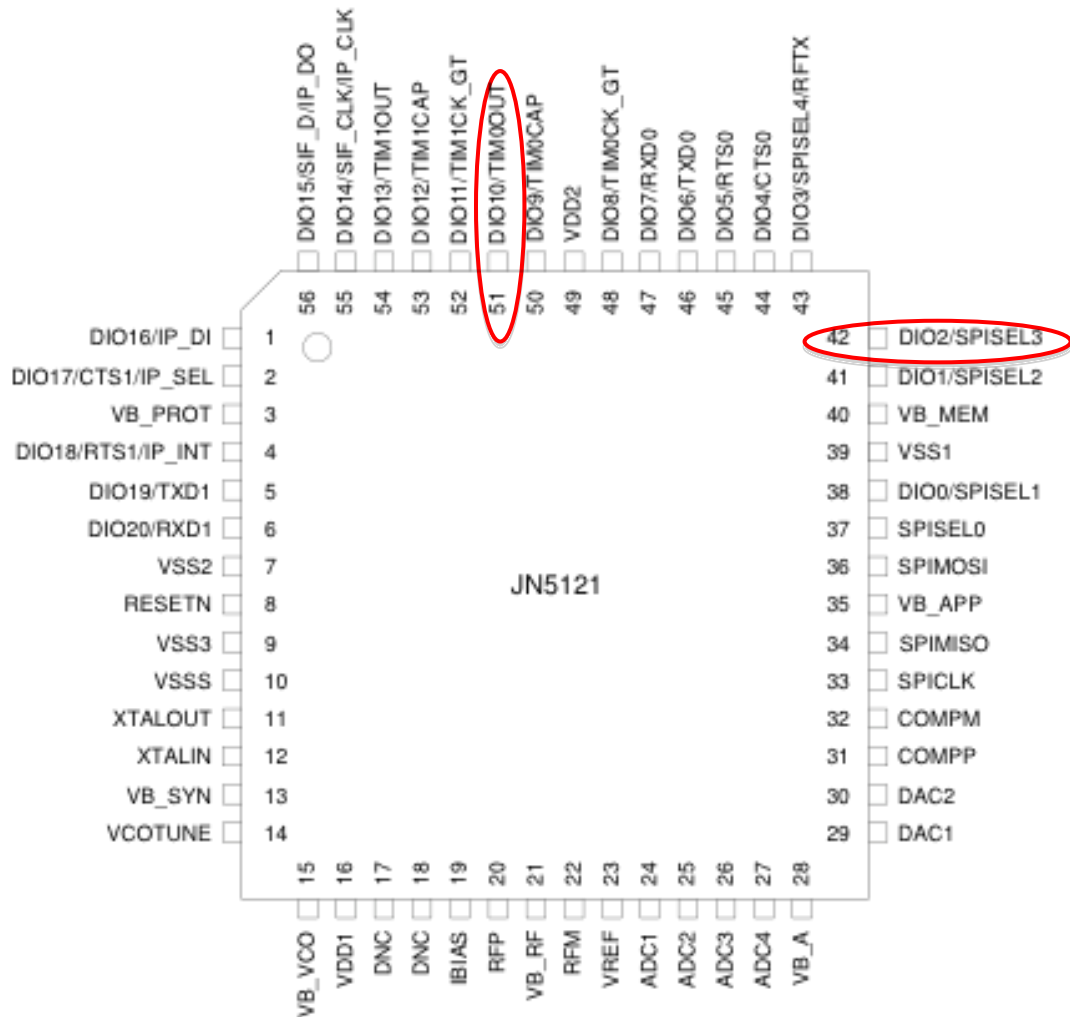


图 5: JN5121 引脚图（其中引脚 51，42 作为红外发射端）

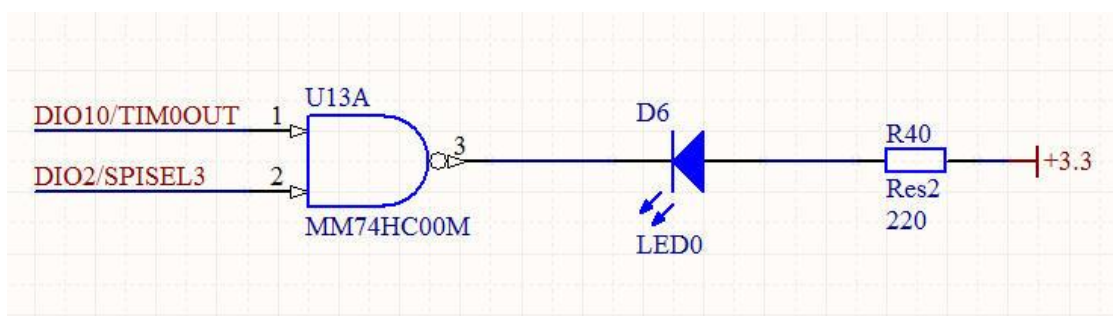


图 6: MCU 与红外发射管接口模块原理图

由于发射和接收端的红外编码是配对使用的。一般的家电遥控器，其不同控制功能的编码在出厂时已经设计好，使得遥控器不能通用。而市场上的万能遥控器，则是通过学习大量的不同牌子，甚至不同种家电的红外编码，形成编码库。而我们要想对不同家电进行控制，也需要识别、存储各种遥控器的编码方式。

(4) 红外接收电路设计，学习红外

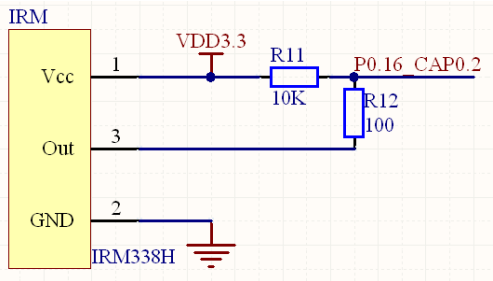


图 7：红外接收解码电路原理图

学习编码可以通过设计红外接收器，接收原家电遥控器的不同按钮发射的不同红外编码信号，同时计数器得到高低电平持续的时长。将波形信号通过串口发送到 PC 机上，将学习到的信号按设备号、功能进行分类，储存成相应的二进制文件。从而对于不同家电的不同指令，形成编码库，以常量的形式，烧录到单片机的 ROM 中，保证掉电保存。这项工作已经在原用于脑—机接口的无线家居环境控制器中得到应用¹。因此，可以设计程序使得接收模块在收到一定指令后，根据指令，在编码库中找到对应的红外编码，使得 DIO2/SPISEL3 按照该编码输出一时序的高低电平，从而驱动红外管发出红外编码信号。

用于红外学习的接收解码电路原理图如图 7 所示，其中 IRM 是红外解码器，Out 端输出解码后的高低电平，通过限流电阻 R12 和上拉电阻 R11，产生一个高低电平信号（无红外信号时为高电平），接 DIO12/TIM1CAP, 可将接收到的红外信号通过 TIMER1 进行捕捉，从而得到高低段持续的时长。

2.4 软件设计

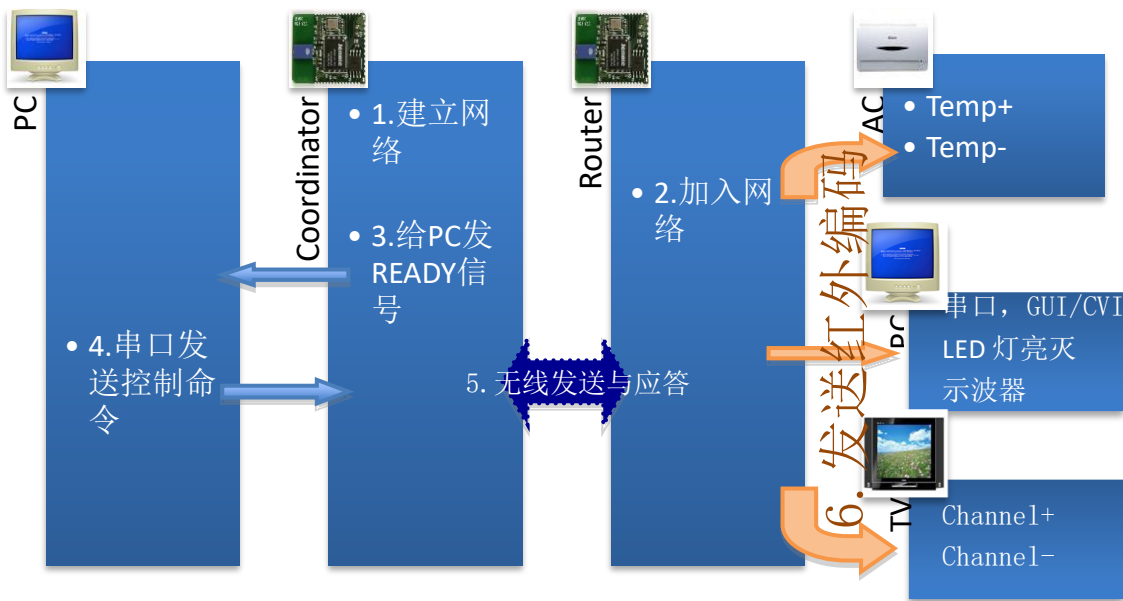
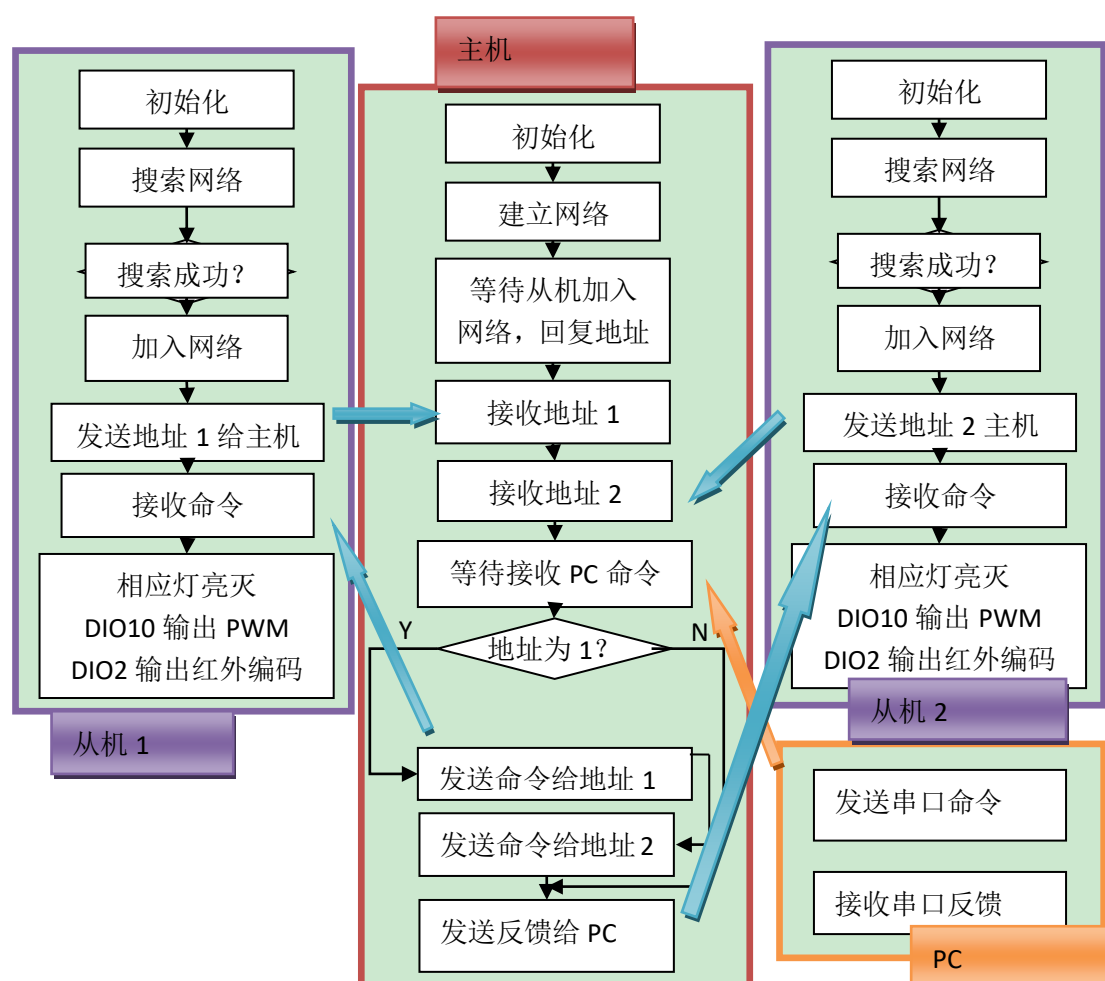


图 8 运行和调试过程

如图 8，程序运行，首先要确认 Zigbee 网络的建立。由协调器建立网络，然后由路由器加入网络，同时协调器为加入的路由器分配 16 位短地址（协调器的地址为 0x0000）。之后，协调器给 PC 发送 READY 信号（串口可接收到“Device Address xxx Jointed!”，其中 xxx 指加入的路由器的地址，16 进制显示），告诉 PC 端：网络已经建立，准备接收控制命令。用户通过 PC 虚拟仪器或 GUI 界面，通过串口发送控制命令给协调器。协调器接收到的控制命令包括选择哪一个设备，并通过选择目标地址（目标节点）的方法，将操作命令发送给该设备对应的接收模块（路由器）。路由器则根据接收到的命令，通过 IO 口发送相应的红外编码脉冲至红外发射管，实现对设备的控制。

在调试阶段，已经实现了 LED 灯亮灭的控制。也可采用将路由器接收的结果通过串口发送到 PC，或者将对应的脉冲编码从 IO 口输出，通过示波器或者 PC 上的虚拟仪器显示编码波形进行调试（如图 8 终端设备部分所示）。

总体软件流程图如下：



(1) PC 机串口通信程序

本设计的初衷是通过脑—机接口采集到的信号，经提取控制指令后对家电进行遥控。但限于条件，将通过 PC 机的虚拟仪器面板模拟控制信号。可采用 Labview 或 Labwindows



设计虚拟仪器,也可以利用 MATLAB 设计 GUI 用户界面。这里简单地采用 MATLAB 的 GUI。用于彩电和空调遥控的控制面板如下:

图 9 (a)设备选择主菜单

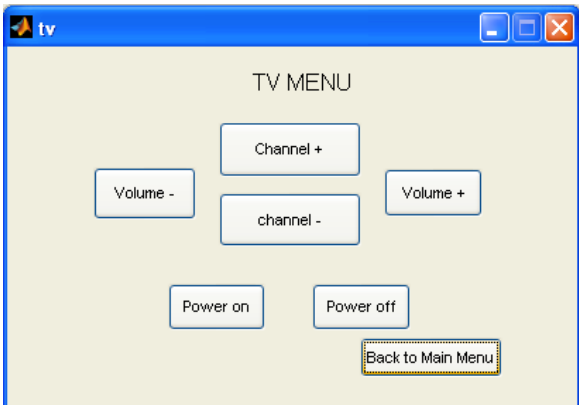


图 9 (b) 彩电控制界面

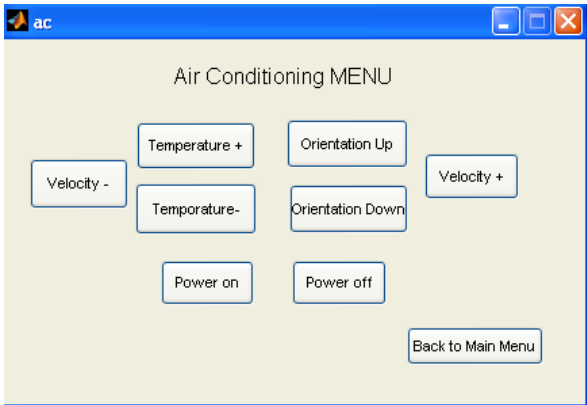


图 9 (c) 空调控制界面

如图 9 所示,在设备选择主菜单中选择所要控制的设备,就会出现相应的控制界面。在控制界面中点击相应的控制选项,则 PC 机将通过串口发送给协调器相应的控制代码。其中通过串口发送数的函数如下:

```
function senddata(x)    % send data: x through serial port com1
s=serial('com1');
fopen(s)                %Open serial port com1
s.baudrate=9600;        % Set baudrate
fwrite(s,x);            % Send data
```

在调试过程中,为了检验控制功能,设计了 LED 灯控制的环节,这个环节的 GUI 面板如下图所示:

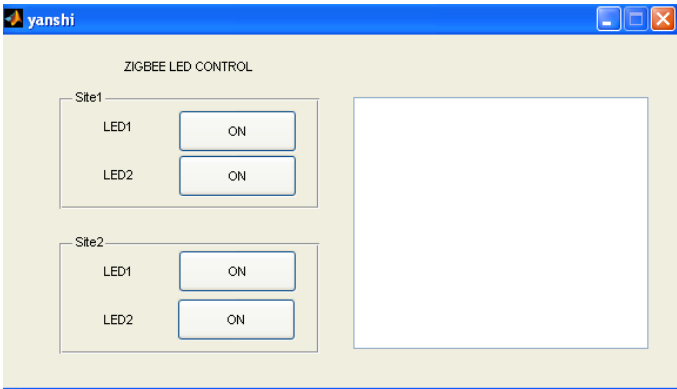


图 10 LED 灯控制调试 GUI 面板

左边面板用于发送命令,右边用于显示串口收到的数据。这部分内容包括接收板发来的加入网络的 READY 信号,或者显示发送板所接收到的命令含义等。其功能类似于“串口调试助手”软件都接收区。

(2) Coordinator 与 Router 之间的通讯

Jennic 的 Zigbee 开发套件,提供一定的集成接口函数(Application Interface, API 函数)。其中比较重要的几个系统运行函数:

1. PUBLIC void AppColdStart():

函数入口,相当于 main 函数,一般进行初始化,并启动 Basic Operation System (BOS),采用的函数是(void)bBosRun(TRUE)。

```

2. afdeDataRequest ( hDstAddr,                /* Destination address */
                    WSN_DATA_SINK_ENDPOINT,    /* Source endpoint */
                    WSN_PROFILE_ID,            /* Profile ID */
                    WSN_CID_SENSOR_READINGS,    /* Cluster ID */
                    MSG,                        /* Frame type */
                    1,                          /* Transactions */
                    asAfdeDataReq,             /* Transaction info */
                    au8Afd,                    /* Transaction data */
                    APS_TXOPTION_NONE,         /* Transmit options */
                    SUPPRESS_ROUTE_DISCOVERY, /* Route discovery mode */
                    0);                        /* Radius count */

```

这是发送函数，其中 hDstAddr 是目标地址，如果发送给协调器，地址为 0；否则，为协调器给设备自动分配的地址。

Source endpoint 指发送方的端口，在一个网络中定义 1 个，这里的 WSN_DATA_SINK_ENDPOINT 指 Coordinator，即发送方为协调器。如果是路由器发送的，则应为 WSN_DATA_SOURCE_ENDPOINT（定义在头文件中的常量）。

Profile ID 也是一个网络只有预定义好的一个网络标识。

Cluster ID 指本次通讯簇的网络标识。

Frame type 是通讯数据包的传送格式，分为 MSG 和 KVP 两种。其中 MSG 较简单，包含数据和数据长度，而 KVP 则较为复杂，但是发送方可收到由接收方自动回复的确认消息，对于较短的信息传输较为方便。

Transactions 及其 info, data 分别指数据包个数，相应的序列号、长度等信息以及传送的数据。其中数据为指针或数组型。

Transmit options 为发送模式，可以是安全传输、网络键或确认传输。这里为无选项。

Route Discovery Mode: 路由发现模式，可以是强制路由发现模式：如果路由表已经建立，数据将使用现有的路由表路由，否则数据将沿着树状路径路由。也可以是路由发现使能：如果路由表已建立，数据将使用现有路由，否则数据发送请求将引发路由探索动作。也可以是明确的引发路由探索操作，路由表将重新建立。这里采用强制路由。

最后，Radio Count 指数据发送的深度，也就是数据包所发送的转发次数限制，这里设置为 0，那么协议栈将采用 2 倍的 MaxDepth。

```

3. uint8 afmeAddSimpleDesc(uint8 u8Endpoint,
                           uint16 u16ProfileID,
                           uint16 u16DeviceID,
                           uint8 u8DeviceVersion,
                           uint8 u8Flags,
                           uint8 u8InClusterCount,
                           uint8 *pau8nClusterList,
                           uint8 u8OutClusterCount,
                           uint8 *pau8OutClusterList);

```

这是对设备定义 Simple Descriptor。如果要想实现接收无线数据的功能必须要进行此定义。相关参数与发送函数一致。u16DeviceID: 设备 ID，不同公司不同，范围 0~0xFFFF，Jennic 公司就规定为: 0000。

u8DeviceVersion: 设备版本号，范围 0-0xff，JENNIC 公司规定为 0。

u8Flags, 标志参数，bit 0 表示是否有 complex descriptor，bit 1 表示是否有 user descriptor，bit 2、3

保留。

u8InClusteCount: 端口支持的输入簇数量，本设计中，ZC和ZR均有输入，均定义为1；

***pau8InClusterList:** 输入簇数组，用于簇识别。长度为u8InClusteCount。

u8OutClusterCount和*pau8OutClusterList: 输出簇数量及数组。若有发送，定义为1或更多，定义在数组中；若无法送，定义为0，数组为空。

```
3. PUBLIC uint8 JZA_u8AfMsgObject(AF_ADDRTYPE sAfSrcAddr,
                                uint8      u8ClusterID,
                                uint8      u8DstEndPoint,
                                uint8      u8LQI,
                                uint8      *pau8AfdInd,
                                uint8      *pu8ClusterIDRsp,
                                uint8      *pau8AfdRsp)
```

接收无线传输信息的函数，为收到消息后协议栈自动调用，有点类似中断函数的方式。

sAfSrcAddr: 用来判断源地址，与发送程序的源地址一致，函数中要进行判断。

u8ClusterID: 消息簇识别（收发是一个），函数中要进行判断。

u8DstEndPoint: 目标设备端口号；

u8LQI: Link Quality Index (LQI) for received ，栈函数自动处理，函数体中不关心。

***pau8AfdInd:** 指向接收到的数据地；

***pu8ClusterIDRsp:** Pointer to response Cluster ID,栈函数自动处理；

***pau8AfdRsp:** Pointer to data to send in reponse, 也是自动处理的。

```
3. printf("Address is %x", address);
```

在初始化好串口后，此函数为向串口传输数据。

这里还有一些协议栈在一定事件发生情况下调用的函数，类似中断函数。如收到消息调用的函数JZA_u8AfMsgObject函数；发生外围中断（如UART0中断）调用的函数JZA_vPeripheralEvent，通过时钟周期性调用的JZA_vAppEventHandler函数等等。通过设计这些函数的内容，可以实现在接收到消息或者串口数据后实现相应的功能。另外，即使不采用任何功能，也需留下函数接口用于协议栈调用，可以将函数体留空。

3 调试过程：

遇到的问题及其解决：

在编程实现协调器和路由器之间的收发时，原本设想的功能是，协调器将从串口接收到的数据发给路由器，路由器收到数据后，发到串口显示，以调试二者是否成功实现了数据收发。

但发现，协调器在接到串口数据后，无线发送数据时，路由器所连接的串口助手显示多次重复的数据。后来经过仔细地调试和检查，发现问题出现在串口事件中断程序中。在此子程序中，一旦发生串口事件，进入串口中断，我即执行无线发送命令。导致无论是收串口数据，还是发串口数据，均发送无线数据，导致重复发送。

子程序段如下：



4 最终实现的功能:

从GUI界面发送命令，可以控制两个从机板的LED灯亮灭。这是为了演示这套 Zigbee系统实现了无线控制功能。

进一步到实际应用层面，实现了从DIO10管脚输出PWM波形；从DIO2管脚输出相应的编码脉冲。一旦接上红外发射管电路，即可发送红外编码。如果配上相应的接收器，则可实现红外遥控。

从实现控制功能上看，基本达到了预期的目标。

从应用层面上，需要加上红外发射管电路和接收设备，可达到实际应用的目标。

5 成员分工与合作

沈丽：硬件接口调试、程序编写与调试、系统整体调试、总结报告撰写

徐亮：程序编写与调试、系统整体调试、总结报告撰写

6 元器件及其费用清单

本次实验设计利用神经工程实验室的 Zigbee 开发板平台进行开发，需要的额外费用主要为制作红外发射板的费用，共计约为 50 元。

表 3： 元器件及其费用清单

元件名	单价（元）	数量	总计（元）
PCB 板	10	2	20
电阻电容等器件	0.1	20	2
红外发射器	0.6	10	6
红外接收管	0.6	10	6
与非门芯片等	0.8	4	3.2
电池	2	4	8
电池座	2	2	4
总计			49.2

7 实验总结

通过本次实验，学会运用一门新的技术，即无线 Zigbee 协议传输，构建可以实现控制功能的无线网络。了解了 IEEE 802.15.4 标准网络协议，同时，也在实践中积累了很多调试经验，提高了对硬件编程的能力。另外，也学习了红外遥控的知识，了解了红外编码的原理以及学习红外编码的方法，学习了无线数据传输和红外遥控功能。

感谢老师给与我们这么宝贵的经验，我们的实践能力得到了锻炼。

8 参考文献

-
- 1 《用于脑—机接口的无线家居环境控制器》 钱天翼 2008.6
 - 2 《ZigBee 软件开发人员指南》 博讯科技 2007.5
 - 3 《Zigbee 快速入门》 斯凯科技 2007.8