

基于物联网的实验室智能开关控制系统

李真, 余善恩, 孙伟华

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对当前高校实验室常见的无人但灯及电器电闸等无法及时断开, 需要管理员逐一现场排查进行关闭的问题, 提出了智能开关管理系统。本控制系统通过安卓智能手机 (或其他智能化数字设备) 由自主开发的 APP 设计操作界面, 通过 WI-FI 网络访问系统主机, 主机通过无线模块给从机发出指令, 进而控制开关的闭合。本系统选用高速、低价、低功耗的 STM32 单片机作为主控芯片, 选用 WI-FI 转串口模块接收 WI-FI 信号, 使用无线模块 CC1101 组建局域网络, 从而实现了对开关的智能控制, 具有成本低, 易推广的特点。

关键词: 控制系统; STM32; 智能开关; WI-FI

Intelligent switch control system of laboratory based on Internet of things

Li Zhen, Yu Shanen, Sun Weihua

(College of automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In view of the common problems of unmanned laboratories in Colleges and universities, such as the lack of timely disconnection of lights and switches, and the need for administrators to check and close one by one, an intelligent switch management system is proposed. This control system is designed by APP developed by Android smartphone (or other intelligent digital devices), accesses the host computer through WI-FI network, and sends instructions to the slave computer through wireless module, thus controlling the closure of the switch. This system chooses STM32 MCU with high speed, low cost and low power consumption as the main control chip, WI-FI serial port module to receive WI-FI signals, and wireless module CC1101 to set up local area network, so as to realize intelligent control of switches, which has the characteristics of low cost and easy popularization.

Keywords: control system; STM32; intelligent switch; WI-FI

1 引言

当前, 特定范围内由单一网络而组成的智能管理系统应用正在迅速扩展^[1], 而本文设计的智能开关控制系统, 正是基于实验室内部网络提出的, 可以视作智能实验室的一部分。本系统通过研究基于安卓系统的智能手机开发技术, 以 WI-FI 网络为通讯信息的载体, 设计制作底层控制电路, 继而实现一套基于安卓的智能开关控制

系统，使得物联网技术应用到实践中，为未来创建智能化的实验室控制系统提供有力的技术基础。

2 系统总体架构

基于该智能开关控制系统，用户可通过操作上位机智能手机（或其他智能化数字设备）中自主开发的 APP 设计操作界面，使用户的控制指令通过 WI-FI 由信号发出端发出，经由接收中转平台的主机 MCU 接收并处理，经无线模块再发出到各被控目标终端，被控终端对收到的指令进行判断并读取，只有与指令要求相对应的目标终端才产生与指令内容相符的开关动作，最终实现用户对实验室各类电器的开关进行智能控制^[2]。

该智能开关控制系统组成可概括为三大部分：信号发出端、接收中转平台、被控目标终端。这三者之间的通信方式如图 1 所示。

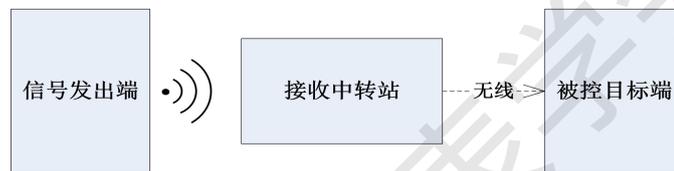


图 1 系统框图

其中，信号发出端主要是用户的手机，其相应的 APP 具有接入已存在的 WI-FI 网络，完成指令发出的功能。

接收中转平台由串口转 WI-FI 模块、主机 MCU 微控器、RF 无线通信模块共同构成。串口转 WI-FI 模块主要接收用户通过手机发出的控制指令信号，主机 MCU 处理该指令信号后，以 RF 无线通信方式将其发出^[3]。其组成结构如下图 2 所示。

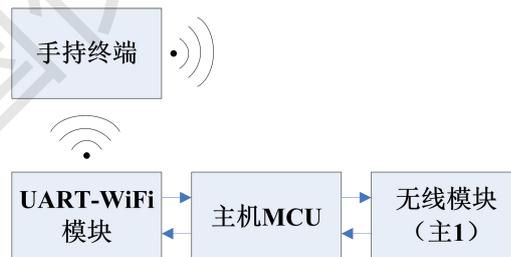


图 2 接收中转平台

被控目标端即开关控制端，由 RF 无线通信模块、从机 MCU 微控器和继电器构成。如图 3 所示，从机 MCU 通过无线模块收到主机发出的信号，处理之后发送给继电器，完成对电器等设备的开关控制。

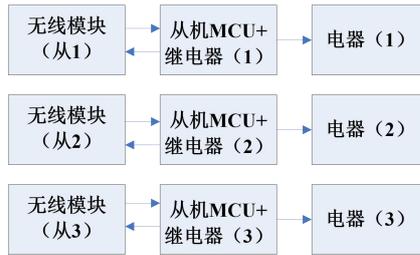


图3 被控目标终端

3 系统硬件设计

3.1 硬件系统模块化设计

1) STM32 最小系统板设计

本设计所采用的主控芯片是 32 位微控制器 STM32 单片机，单片机的具体型号为 STM32F103RBT6。单片机加上一些必备的外围电路，就组成了单片机的最小系统。一般的，单片机的最小系统组成部分必定会有电源、时钟电路、复位电路这三个基本部分^[4]。

电源，本设计中所用的 STM32 单片机一定要工作在 2.5V-3.6V 的直流电源下，最佳为 3.3V，但一般情况下市电是 220V 的交流电，干电池电压为+1.5V/节，也就是说，简单的组合很难得到 3.3V 的直流电源，为了取得 3.3V 的直流电源，必须设计一个电压转换电路，本系统采用 AMS1117 3.3V 稳压芯片进行电压转换。

时钟电路，由于单片机为跑程序的器件，读每一个指令都要花一定时间，单片机需要一个参考时钟，让单片机知道自己动作的时间，这个时钟由晶振来提供。在某种程度上，单片机是一个按步运行的微控制器，它每执行一个指令所经过的周期是一定的。那么单片机的速度就是晶振频率的 12 或 6 分频决定，也就是说，晶振频率越高，单片机的运行速度越快。

复位电路，单片机本身就是一个数字电路系统，就数字电路而言，尤其是对于有内部寄存器的数字芯片而言，复位十分重要。原因在于，芯片断电时，内部寄存器可能还存放着上次所用的数值，如果芯片恢复工作以后，马上进入上次的工作状态，寄存器内部数据的调用就可能出错，严重时会使系统崩溃。复位会使得指针指回 0000H 地址。本设计中所使用的基于 STM32 的最小系统板原理图如图 4 所示。

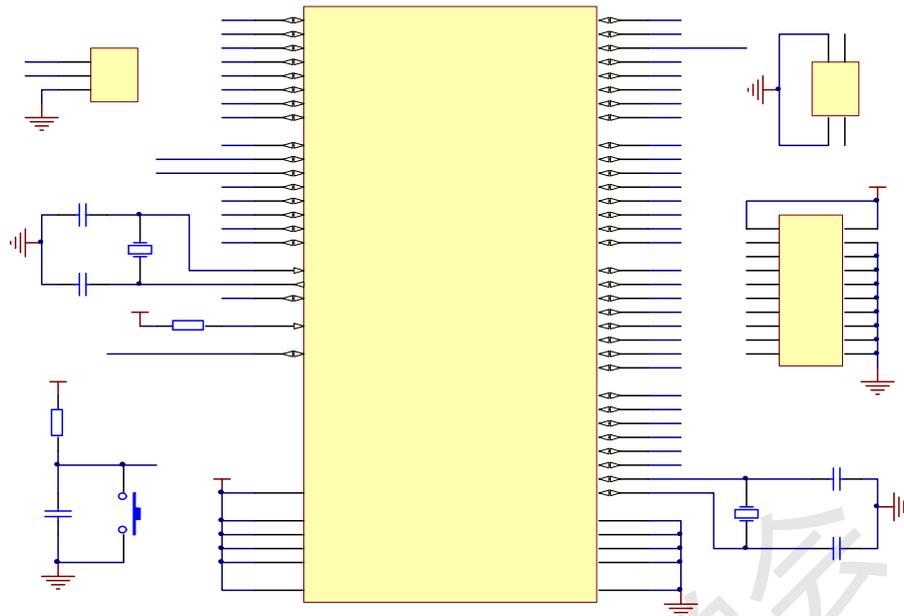


图 4 最小系统板原理图

2) USR-WI-FI232-T 模块外围电路设计

本设计选用的串口 WI-FI 模块是型号为 USR-WI-FI232-T 的模组，与其他类似的产品相比，该模块的功耗较低，性能优良，而且支持 UART 串口等接口传输数据问题的解决方案^[5]。

硬件方面，该模块配置了所有必备的组件，例如 MAC 芯片，基频管理芯片，射频控制芯片，以及一些信号处理用到的功放。

此外，USR-WI-FI232-T 是一款集成化的模块，它内部已经配置了 802.11b/g/n WI-FI 的协议处理部件。通过使用该模块，传统的通用串口设备、基于单片机的设备等，都能够较容易地接入 WI-FI 网络，从而实现物联网产品的开发与使用。USR-WI-FI232-T 是一款内置了所有 WI-FI 功能的模块，它的体积很小，尺寸仅 22mmx13.5mmx6mm，选择了 1x10 管脚 2mm 插针作为接口，方便用户在多种电路板上使用。模块还附带有专用的焊盘以及外置天线连接器，可以方便地加入天线。该模块在使用时，需要配置外围电路，才能正常使用，外围电路图设计如图 5 所示。

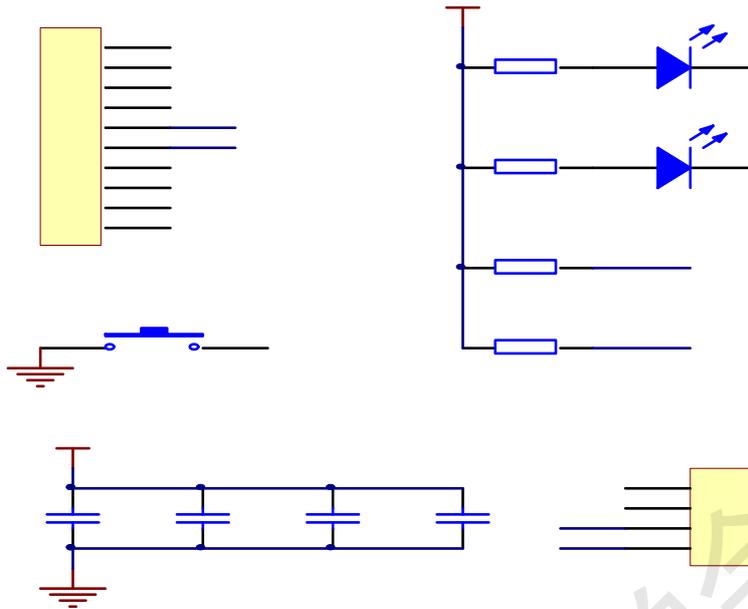


图 5 串口 WI-FI 模块外围电路

3) 继电器模块设计

在本设计中，继电器主要用于电气隔离，作为一个开关使用。本设计中所采用的继电器类型是电磁继电器，研究电磁继电器的结构，组成部分一般有电磁线圈、衔铁、电气触点等。工作时，只有在线圈通电的情况下，才会有电磁感应现象，产生的磁力才可以吸合另一侧的衔铁。衔铁所连接的是继电器的另外一部分，即信号输出端，当衔铁被左侧的电磁力吸合之后，与衔铁相连接的触点位置会发生变化，由原来的断开变为闭合或者由原来的闭合变为断开，如此的吸合、释放，便实现了电路中的导通、切断功能。本设计所用继电器为松乐 SRD-05VDC-SL-C 继电器，工作电压为直流 5V，最大电压为交流 220V，最大电流为 10A，继电器模块原理图如图 6 所示。

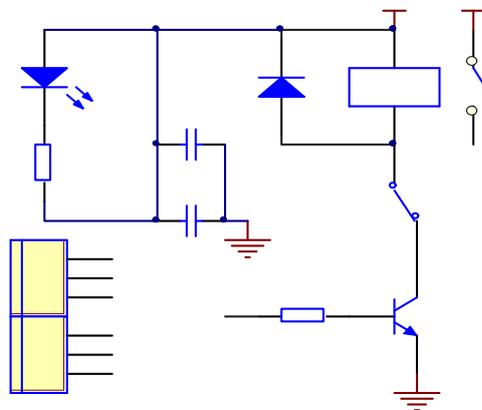


图 6 继电器模块原理图

其中，K1A 为继电器的线圈，其工作电压为直流 5V，工作信号由 I/O 口经过 NPN 三极管 9013 传递给线圈，线圈通电之后可有电磁作用，使得开关 K1 吸合，NO 表示常开端，K1 吸合之后常开端连通，线路导通。电容 C1、C2 的作用是滤波，发光二极管 DS1 的作用是指示该模块的工作状态。

4) 电源模块设计

本设计中，控制器部分，单片机、无线模块及 WI-FI 模块的工作电压为直流 3.3V，继电器模块的工作电压为直流 5V。为了各部分能正常工作，需要设计交流转直流电源和直流降压电源。

交流转直流部分，首先是使用变压器对 220V 交流电进行压降，初级线圈输入 220V 交流电，次级线圈输出大约 12V 交流电，电压降低之后，安全性提高，也方便后续进行整流处理。然后使用桥式整流电路对交流电进行整流处理，得到大约为 14V 的直流电，此时的直流电很不稳定，纹波系数很大，经过一系列滤波处理之后，得到稳定的直流电。

直流电压降部分，本设计采用直流开关型集成稳压芯片 LM2596 进行转换。LM2596 系列芯片是常用的降压开关型集成稳压芯片，最大可达到 3A 电流输出，由美国德州仪器生产，该芯片内部配置了固定频率振荡器和基准稳压器，除了基本降压功能之外，该芯片还具有保护电路、电流限制等其他一些附加功能。使用该芯片，只需较少的外围器件就能够搭建一个高效的稳压电路。本设计中使用的是 LM2596-5V 芯片，通过电路设计得到稳定的 5V 直流电。

针对单片机芯片及其他模块需要使用 3.3V 直流电的情况，在得到 5V 直流电的基础上，进行压降，这一部分使用的是三端集成稳压芯片 AMS1117-3.3V。

本设计中的电源模块所选用的 AMS1117 系列稳压器有多种型号，大致可分为两大类型，固定输出型和输出可调型，该芯片使用的场合一般为电流小于 1.0 安培的低电压电路。AMS1117 具有十分优良的精度控制。

电源模块的电路原理图如图 7、图 8 所示。

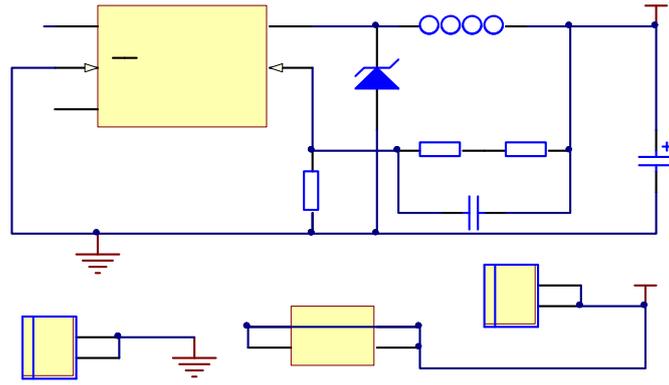


图 7 5V 电源模块电路原理图

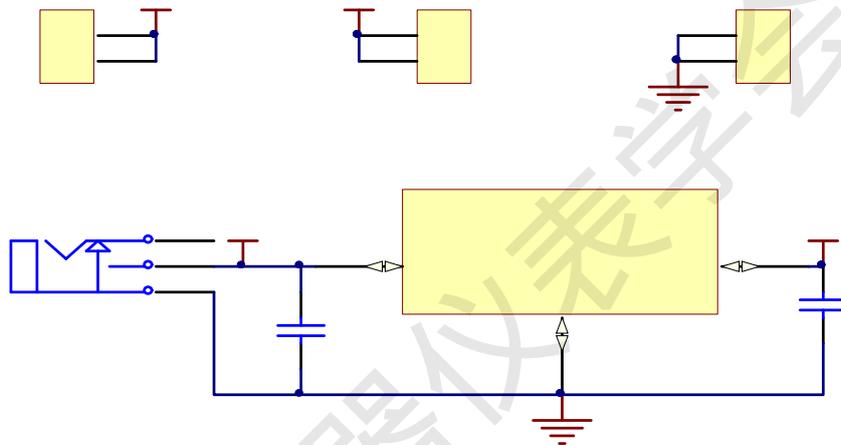


图 8 3.3V 电源模块电路原理图

5) 无线通信模块

无线模块 CC1101 是一款功耗十分微小、短距离无线通信的模块，在本设计中用于完成主机与从机之间的通信。CC1101 无线模块是采用 TI 公司的 CC1101 芯片制作的模块，一般的工作频率为 433M。该模块共有五个引脚，无线模块 CC1101 与 MCU 连接图如图 9 所示。

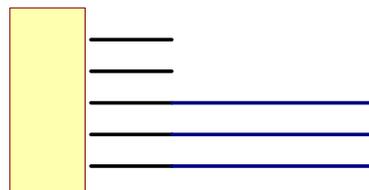


图 9 无线模块 CC1101 与 MCU 连接图

3.2 系统硬件平台总体设计

1) 主机部分

本课题硬件平台主机部分由以下模块组成：电源模块、MCU 及其外围电路、串口转 WI-FI 模块及其外围电路、无线模块 CC1101。主机部分硬件设计原理图如图 10 所示。

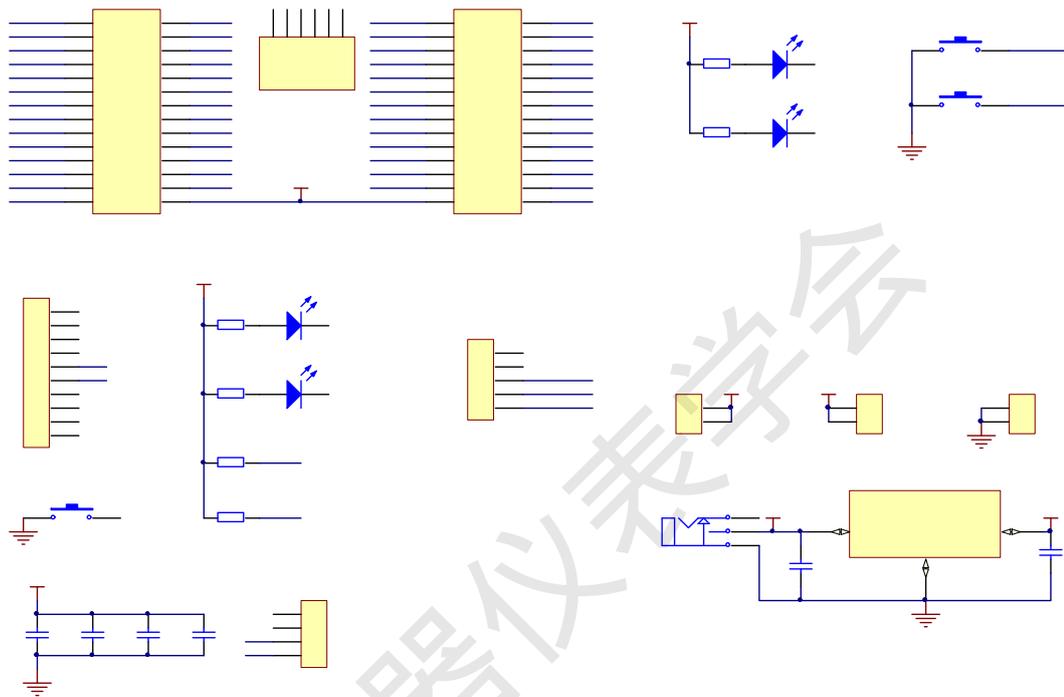


图 10 主机部分硬件设计原理图

2) 从机部分

本课题硬件平台从机部分由以下模块组成：电源模块、MCU 及其外围电路、继电器模块、无线模块 CC1101。从机部分硬件设计原理图如图 11 所示。

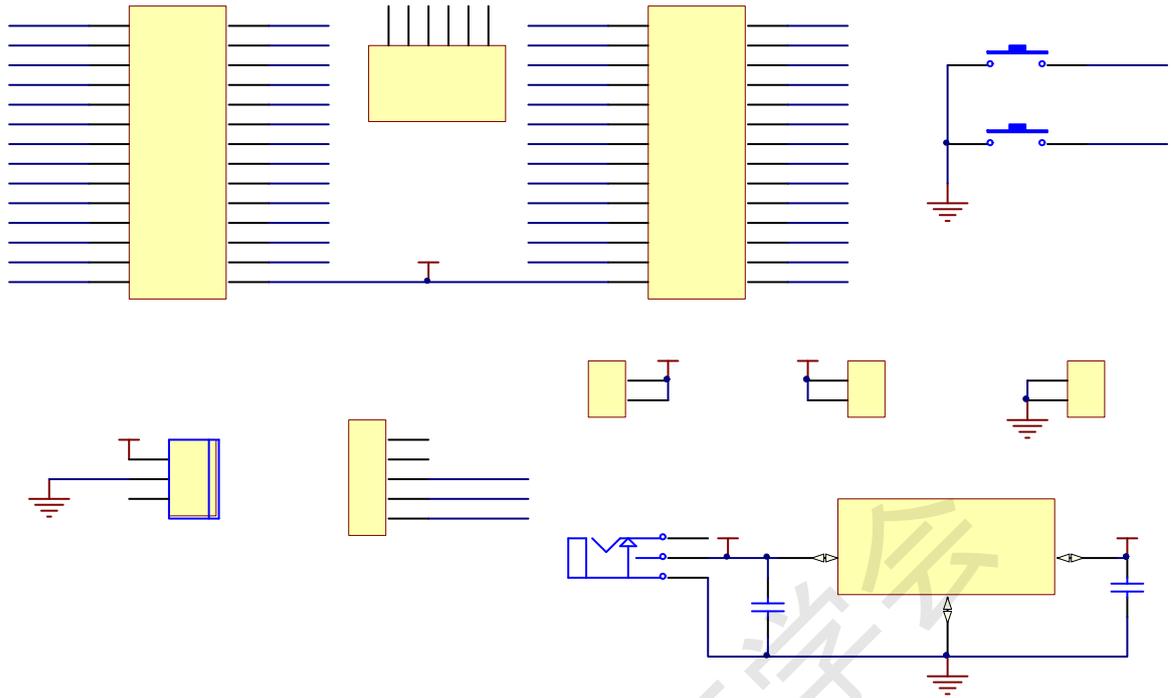


图 11 从机部分硬件设计原理图

4 系统软件设计

4.1 系统软件工作总体流程

系统软件功能实现的工作流程图具体可见下图 12 和 13。图 12 是手机控制电器打开的工作流程图。用户使用手机 APP，发出打开或关闭电器或者照明灯具的指令，控制指令通过 WI-FI 网络传送至接收中转站。中转站的 UART-WI-FI 模块分析用户手机发出的控制指令，将其传给 MCU 主机，然后 MCU 再将该指令通过无线模块，以无线方式发送至被控目标端。目标端的无线模块接收到控制信号以后，传给控制器 MCU 从机，然后由 MCU 从机来控制继电器开合，并检测继电器是否已执行用户的指令，若已经执行，将现继电器状态信息以无线通信方式反馈给接收中转站，中转站接收到信息后，再将该反馈信息由 WI-FI 网络传达至用户手机。从而实现用户通过手机来控制并检测实验室内电器电源开断的功能。图 13 是手机控制电器关闭的工作流程图。具体的工作流程与图 12 手机控制电器打开的流程相似。

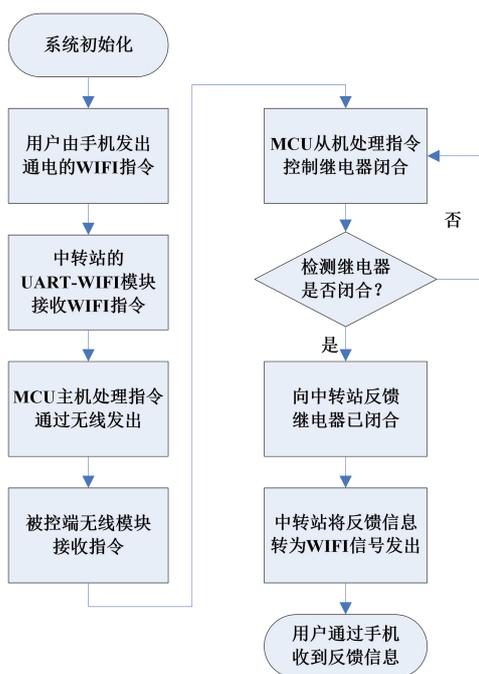


图 12 手机控制电器打开流程图

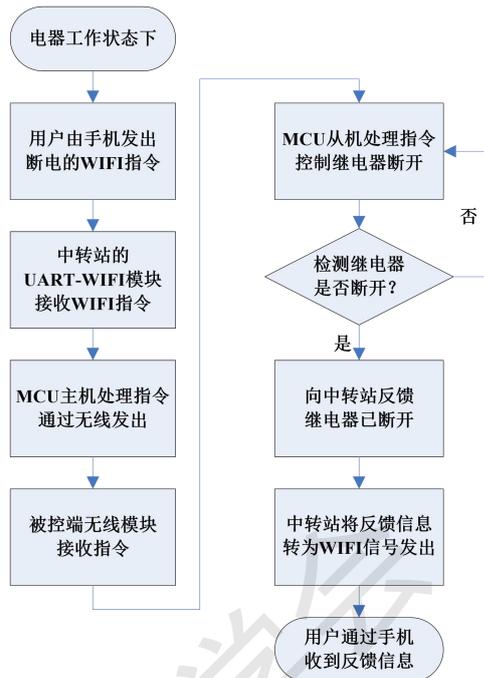


图 13 手机控制电器关闭流程图

4.2 指令发出端的软件设计

指令发出端的主体就是一个 Android 手机的 APP，是利用 java 语言在 eclipse 的 IDE 环境下进行开发。其完成的功能应该包含搜索附近无线网络、连入 USR-WI-FI232-T 产生的网络热点中，实现与接收中转端的 WI-FI 连接，利用 HTTP 协议进行数据的通信传输，将用户要求的指令数据传输给接收中转端，以实现智能设备的控制。

因此在设计 APP 界面 activity 编程时，在界面上留有“搜索无线网络”按钮、已搜寻到的现有无线网络下拉菜单、“连接该网络”按钮、被控目标及控制动作的按钮。在对 UI 的优化设计中，这个按钮采用了 Switch Button，用户能通过一个按钮实现对智能设备开和关的两个动作控制，并加入了按键的阴影效果，使得图形界面更为人性化，用户使用起来感觉更加舒服。APP 界面的设置效果如下图 14 所示。



图 14 APP 的 UI 界面

在编写 APP 功能代码时，首先设置 WI-FI 模块默认的 TCP 地址为 10.10.100.254，并开放端口 8899。再让手机对其所在区域的附近 WI-FI 进行搜索，只有在匹配上这个 TCP 和端

口号之后，找到与该 WI-FI 模块默认的地址及端口号相同的网络并进行连接，使得整个系统都处于内网当中，用户才能进行指令信息的发送。在这样的功能配置中，本系统特地设计并编写了一个按钮功能函数：只有当手机搜寻到这个 WI-FI 转串口的模块发出的热点网络时，才允许用户使用界面上的 switch 开关进行操作。

当前面的配置基本完成，用户手机已经处于内网中以后，用户可以经由手机指令发出端向 USR-WI-FI232-T 模块发送相应的指令，通过 socket 的连接，发出字节流（即指令具体数据信息）。这里关于通信数据规定了一套协议。当对继电器 1 进行指令动作的操作时，由 8 位字节组成，协议头为 0x81，闭合的命令 0x1，第 7 位是前 6 位的校验和。断开继电器 1 的时候，也由 8 位字节组成，协议头为 0x81，关灯命令为 0x2，第 7 位是前 6 位的校验和。继电器 2 的操作与继电器 1 相类似，协议头都相同，不同的是动作指令，闭合为 0x3，断开为 0x4。所有的消息传输都是通过这套协议去执行发送，这在一定程度上保证了数据的可靠性。

4.3 接收中转端的软件设计

接收中转端使用的是 ARM 公司的 STM32 系列的微控制器 STM32F103RBT6，该型号的 MCU 芯片拥有具备高速处理能力的 CPU 和可以同时进行的 7 通道 DMA 的功能。为了实现该中转平台接收手机发来的 WI-FI 指令功能，且考虑到 WI-FI 通信对于数据传输的速度要求并不是特别高，所以该部分设计方案中的硬件连接部分，选用 MCU 的 USART2 接口与 USR-WI-FI232-T 串口转 WI-FI 外设模块相连接，进行 MCU 软件编程以后方可实现与用户的智能手机进行通信。

首先需要将 USART2 的串口进行配置，主要需要配置 USART2 串口通信的波特率，打开串口并开启 USART2 串口的中断。

软件编写采用中断方式来实现 MCU 串口通信功能，来获取串口 USART2 的数据寄存器 USART2_DR 中低八位的数据内容。当 USART2 串口相应的状态寄存器 USART2_SR 中的第六位 RXNE 标志位被置 1 时即触发中断，表示有数据被 USART2 所接收，在中断配置已经开启的前提下，CPU 将处理这个来自串口 2 的中断请求进入到中断服务程序中。在 USART2 串口中断服务子程序中，CPU 需要将接收到的数据的格式与事先规定好的通信协议中数据格式进行比对校验，只有校验成功的数据才被视为有效数据，才能被 CPU 读取并存储至内存中。

MCU 在读取数据寄存器中的数据内容之前，需要先校验接收到的数据的格式，要将 USART2_DR 低八位存储的数据依照 WI-FI 通信协议事先规定好的数据格式进行格式校验，只有符合该通信格式的数据才能被读取至 MCU 内存中，进行下一步的被控目标身份及指令产生动作的校验。此处的身份和指令内容的校验与通信协议的改写是同时进行的，MCU 需依据被控身份及指令动作两个条件进行 if 判断，将 WI-FI 模块的通信协议转成为另一种新的更简单的 RF 无线通信协议，将从手机信号发出端接收到的控制指令的数据格式，改

写成相应的适用于中转接收端与被控端的 RF 无线模块之间的通信协议。实现指令内容中转、通信协议改写的目的。最后 MCU 将改写过的数据以新的数组格式，最后由 USART1 发送出去，整个这个过程中 MCU 实现了数据指令的即改即发，保证了通信速度及传输数据的可靠性。

4 结语

本文主要以当前物联网技术、智能管理系统以及自动化技术为背景，结合国内外智能开关控制系统的研究和设计，提出了一种基于安卓智能手机 WI-FI 技术和 STM32 单片机的实验室智能开关控制系统。该系统以移动通信设备（安卓智能手机）为主体，装有控制指令发出和通信功能的 APP，以 WI-FI 网络为通讯信息的载体，通过设计基于 STM32 单片机的中转平台，实现对下位机被控终端进行控制。其中中转通信平台和被控终端之间均使用 RF 无线通信模块 CC1101 进行通信，实现了用户控制指令的 WI-FI 信号和最终到达被控终端的 RF 控制信号的分离。该系统不仅能够应用于高校实验室，也可以用于其他智能控制场景，具有较高的推广价值^[13]。

参考文献:

- [1] 朱娟蓉, 强化高校实验室安全管理工作的对策[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32 (6) :430-432.
- [2] 梁霄霄. 基于 WIFI 的 LED 照明控制系统的设计与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2013.
- [3] 崔贯勋. 基于物联网技术的实验室安全管理系统的的设计[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34 (3) :287-289.
- [4] 张清勇, 吕笑天, 李志勇, 李嘉豪. 基于 STM32 的模拟电磁曲射炮实验系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(10):77-82.
- [5] Sharon Panth. Home Automation System (HAS) using Android for Mobile Phone[J]. International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, 2014,(4): 37-48.
- [6] 彭辉丽, 李真, 蔡本晓, 等. 实验室门电安全监控系统的设计[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(04):246-249.
- [7] 蒋立兵. 基于 STM32 的智能家居控制系统的设计与开发[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [8] Shiu Kumar, Seong Ro Lee. Android based smart home system with control via Bluetooth and internet connectivity[J]. IEEE ISCE, 2014, 36(5):13-26.
- [9] Yan Peng. Lighting Control System Based on Smart Phone and Bluetooth [J]. Applied Mechanics and Materials Vols, 2014, 89(8):48-56.
- [10] 孙松. 基于 Android NDK 的智能灯光系统的设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.

- [11] 肖云鹏, 刘宴兵, 徐光侠等. Android 程序设计教程[J]. 清华大学出版社. 2013,86(4):7-16.
- [12] 柏成祥. 基于 Wi-Fi 的室内 LED 照明系统终端的设计与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学,2013.
- [13] 余善恩, 李真, 陈张平,等. 基于校园一卡通的开放实验室节能系统研究[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(12):263-265.

中国仪器仪表表学会