

物联网水暖床垫 WiFi 模块配网方案设计

杜家俊

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院 青岛 266061)

摘要: 针对现有的 WiFi 模块在接入无线网络时会出现连接失败的现象,提出“智能配网”+“Soft-AP”的联合配网方案,首先进入智能配网,利用 WiFi 模块侦听模式抓取配网数据进行连接;如果智能配网失败,WiFi 模块进入 Soft-AP 配网模式,用户发送 WiFi 的 SSID 和密码进行配网。配网成功后,系统采用 MQTT 传输协议进行后台绑定及注册。在此基础上,针对产品在配网时出现配网时间过长的问题,对发包频率进行测试,得到配网时间最短的发包频率范围。测试结果表明,该配网方法配网时间在 4 058 ms 内,且提升了配网成功率,可为物联网工程师的设计工作提供参考。

关键词: 侦听模式;联合配网;广播发包;发包频率;MQTT 传输;后台绑定

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

The design of WiFi module distribution network technology based on internet of thing water-heating bed

Du Jiajun

(School of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: To solve the phenomenon that the existing WiFi module will fail to connect when accessing to the wireless network, a joint distribution network scheme of "intelligent distribution network" + "Soft-AP" is proposed. Firstly, enter the intelligent distribution network, and use the listening mode of WiFi module to capture the distribution network data for connection. If the intelligent distribution network fails, the WiFi module will enter the Soft-AP distribution network mode, and the user will send the SSID and password of WiFi for distribution network. After the success of distribution network, the system uses MQTT transmission protocol for background binding and registration. On this basis, aiming at the problem that the distribution network time of products is too long in the distribution network, the contract frequency is tested, and the contract frequency range with the shortest distribution network time is obtained. The test results show that the distribution network time of this method is within 4 058 ms, and the success rate of distribution network is improved, which can provide reference for the design work of IOT engineers.

Keywords: interception mode; joint distribution network; broadcast contract; contract frequency; MQTT transmission; background binding

0 引言

作为物联网的核心组成部分之一,互联网为后台服务器与现场设备之间建立通信连接提供了通信基础^[1]。WiFi 通信作为现代通信技术的重要手段之一,通过无线通信控制设备,成本低,应用范围广泛,已经成为物联网系统中一种重要的通信应用方式^[2-3]。然而,WiFi 设备接入网络时出现的配网失败现象,不仅浪费时间,还会降低用户体验,所以缩短配网时间,提升配网成功率成为研究的关键点之一。

目前,大部分物联网产品在接入网络时多为通过手机广播发送网络配置信息,模块接收网络配置信息进行解码并进行连接,商家对手机 App 或者 PC 端的配网交互界面做了大量的优化,但在配网过程中仍然会出现配网时间长甚至配网失败的现象^[4]。

基于这种现象,本文在对现今物联网行业最常用的配网方式进行研究后,提出了采用“智能配网”+“Soft-AP”的联合配网方式。通过对手机 App 发包频率进行测试,得到配网时间相对最短的发包频率;对设备端,通过对 WiFi 模块的配网方式选择、配网超时时间选择及时延函数设计来

降低配网时长;提升配网成功率。最后,本文以物联网水暖床垫系统为测试对象,对 WiFi 模块配网时长及成功率进行验证和预测,确认设计的可行性。

1 配网基本原理

实现配网的基本思路如图 1 所示,WiFi 模块开启侦听模式接收周围环境的无线网络信息,手机或电脑端连接路由器局域网后,通过 App 或客户端对数据包进行分组,并周期性的向周围环境广播或组播路由器的 SSID 和密码等网络配置信息;WiFi 设备作为接收方,在打开侦听模式的情况下捕捉周围无线网络环境中 SSID 和密码,当捕捉并解码成功后,切换至客户端模式连接路由器开启的 WiFi 局域网。

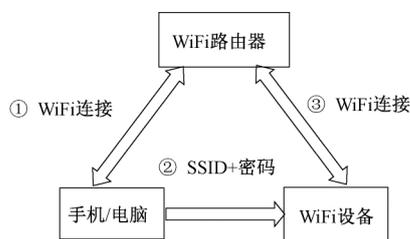


图 1 WiFi 设备快速配网示意图

常见的配网方式,一般可以归为以下 3 大类:WEB 网页配网、直接配网和智能配网^[5]。

WEB 网页配网就是在 WiFi 模块上搭建简易服务器,WiFi 模块开启 AP 模式(无线路由模式)作为无线接入点,设备接入 WiFi 模块开启的无线网络^[6-8],并进入 WiFi 模块搭建的服务器输入 WiFi 模块需要连接的无线网络信息,输入完成后,WiFi 模块切换为 STA 模式作为无线设备连接无线网络,并将连接成功的消息返回给手机或 PC 端。

直接配网^[9]是通过串口、SPI 通信等接口,按照双方规定的通信协议将无线网络配置信息直接发送给 WiFi 模块,WiFi 模块接收到配置信息后去连接无线网络^[10-11],并将配置成功消息通过串口或 SPI 口返回给设备。

智能配网^[12-13]将 WiFi 模块设置为混杂模式,接收周围环境中的所有发包数据,手机 App 输入无线网络配置信息并向周围环境进行广播^[14]。WiFi 模块抓取到设备广播的数据包后,按照双方规定好的数据协议解密并进行连接。各种配网方式的优势和局限如表 1 所示。

从表 1 中的可以看出,配网较为便捷的为智能配网和 WEB 网页配网方式,而用户体验来说,智能配网方式的用户体验感要高于网页配网,所以本文拟用智能配网方式为主,WEB 网页配网方式作为备选配网方案,采用“智能配网”+“Soft-AP”配网方式的组合配网方式进行配网。

表 1 3 种配网方式及优势局限比较

配网方式	优势	局限
WEB 服务器配网	Soft-AP 配网	1.可以配置任意路由器或者热点(联网/不联网)。 2.不需要额外的外设接口。 3.可以通过支持 WiFi 和浏览器功能的设备来配网。
直接配网	串口 AT 指令或 SPI 接口通信	1.需提供额外的外设接口来输入配网信息。 2.占用串口等资源。 3.用户体验较差,一般适用于配网调试。
智能配网	Smatr-Config 配网	1.不需要额外的人机接口。 2.当网络环境更改时,方便进行再次配网。
	微信 Airkiss 配网	1.手机需要安装 App。 2.需要设备提供额外的配网按键或者使用其他方式进入待配网模式。 3.配置连接的网络必须是手机连接到的互联网的网络(如手机连接网络名为“wifi123”,那么手机 App 配网时也只能配置此网络)。

2 配网方案设计

配网方案主要从软件配网相关设计、模块配网程序设计及 WiFi 模块后台注册的程序设计这 3 个方面来实现。

2.1 手机软件配网相关设计

手机 App 功能主要包括配网数据包的发包数据格式,发包广播频率及手机 App 接收配网成功信息后与后台的

数据交互等几个方面来实现。

1) 配网发包数据格式

手机发送数据包数据由前导码,校验和及待发送数据帧组成^[15-16],数据格式如表 2 所示。

2) 配网广播频率设计

配网广播包频率是指对手机 App 发送一次数据包的时间,不同的广播频率也会影响配网时间。手机 App 发包

周期如图 2 所示。

表 2 配网数据包内容

数据组成	数据内容	字节数
	515	1
前导码 (4 Byte)	514	1
	513	1
	512	1
	总数据长度 totaldatalen	1
校验位 (5 Byte)	密码长度 password_len	1
	SSID 校验和	1
	BSSID 校验和	1
	全部数据异或结果	1
数据位 (6 Byte)	待配置网络 IP 地址	1
	待配置网络密码	1
	待配置网络 SSID	1

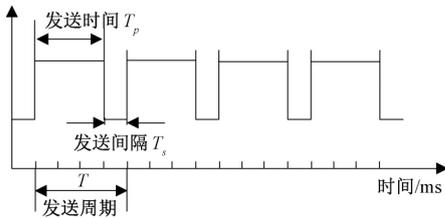


图 2 手机 App 发包周期

图 2 中, T_p 为手机 App 每次发送数据的时间, T_s 为发送间隔时间, T 为数据包发送周期。改变手机 App 发包频率, 通过比较模块成功接入网络的时间及成功率来进行判断, 来缩短配网时间。经测试, 在发包周期为 4~6 ms 时, 配网时间最短。

2.2 模块配网程序设计

模块配网方案设计主要从配网方案、WiFi 模块注册及手机与 WiFi 模块的绑定等几个方面来考虑。模块开发平台选用 WiFi 一体化开发环境。手机端配网软件则选用 Android Studio 开发。在模块上电时初始化服务程序自动执行。本文以自主研发产品水暖床垫控制系统为实验系统对配网程序进行功能和性能测试。

WiFi 模块配网方案如图 3 所示。WiFi 模块上电初始化完毕后自动读取存储器中的数据, 存储器用于保存即将连接的 WiFi 的 SSID 和密码。由于初次连接时, 存储器并未保存 WiFi 连接相关参数, 所以需要在模块初次配网时将模块设置为待配网状态, 并清空存储器, 等待外部设备发送配网数据, WiFi 模块接收到数据后进行连接并保存到存储器, 这样断电后再次上电时可以直接调用存储器中保存的网络配置数据进行连接而无需再次配网。为防止 WiFi 连接出现异常或掉线等情况发生, 设置 WiFi 定时回调函数, 定时检查 WiFi 模块获取路由器 IP 地址情况, 当

WiFi 网络信号差时或无 WiFi 信号连接时, WiFi 指示灯闪烁报警提示当前网络环境不良并提示用户更换网络连接或检查路由器设置。

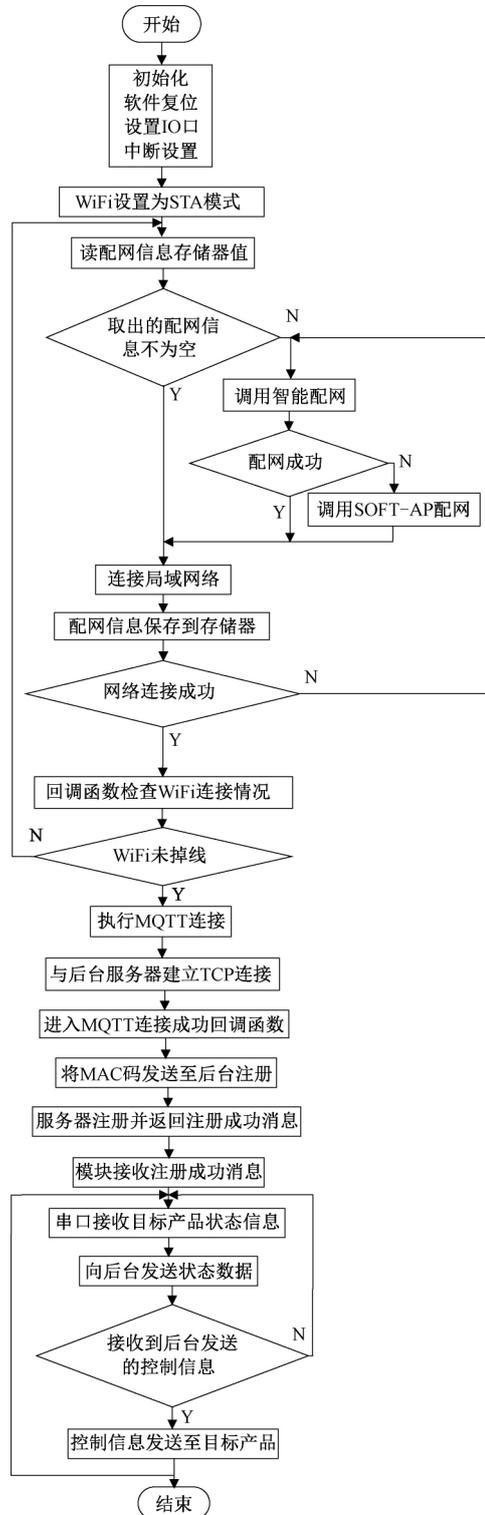


图 3 WiFi 模块配网流程

上电初始化后首先执行智能配网, 首先将 WiFi 模块设置为 STA 模式(无线终端模式), 使 WiFi 模块处于混杂

模式下,监听周围环境网络中所有的报文;手机 App 广播向周围环境发送配网信息;当 WiFi 模块发现配网信息数据包时,模块接收配网数据并根据相应协议进行解码操作;解码成功后尝试连接无线网络,当网络连接成功后,WiFi 模块将配网信息保存到外部存储器,这样即使断开电源,当再次上电时,仍然能够调用配网信息再次连接网络。智能配网流程如图 4 所示。

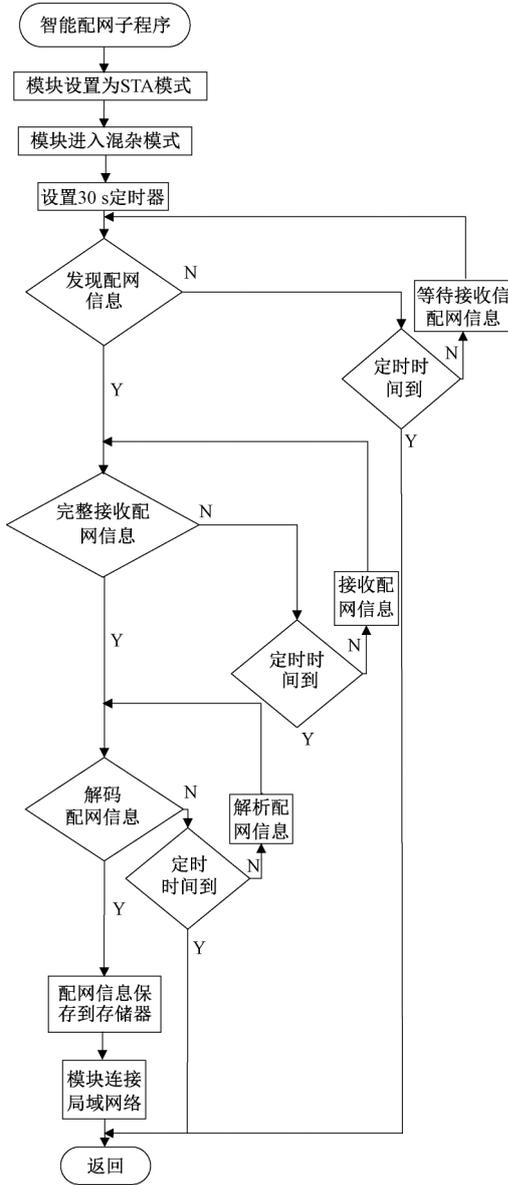


图 4 智能配网图

如果智能配网失败,则进入第 2 种配网方案 Soft-AP 配网,即热点配网,WiFi 模块首先设置为 AP 模式(无线路由模式)建立小型局域网充当临时 WiFi 接入点,并且 WiFi 模块打开 TCP 连接作为服务器等待手机连接;手机连接 WiFi 模块建立的局域网后,通过 TCP 连接向 WiFi 模块发送待配网数据,WiFi 模块接收到配网数据后切换为 STA

模式并进行网络连接。由于 WiFi 模块切换为 STA 模式,WiFi 模块建立的临时局域网会关闭,所以手机会断开与 WiFi 模块的无线连接并再次连接之前的局域网。WiFi 模块配网成功后,向手机 App 发送配网成功信息。Soft-AP 配网流程如图 5 所示。

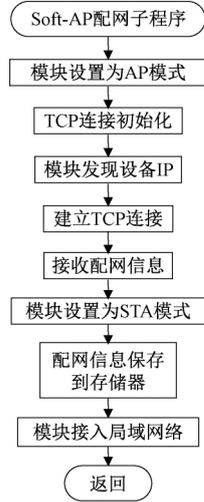


图 5 Soft-AP 配网流程

在配网过程中,为缩短配网时间,提升用户体验,在对 WiFi 模块程序进行设计要尽量精简,尽量取消或缩短在切换 WiFi 模块工作模式时延、设备向后台注册服务器失败时的重试时延,WiFi 局域网的 IP 地址解析失败时的重试时延、MQTT 数据接收解析异常的处理时延。

2.3 WiFi 模块注册

WiFi 模块成功连接网络后,需要向后台服务器进行注册,本文使用消息队列遥测传输协议(message queuing telemetry transport, MQTT)进行注册。作为一种基于订阅/发布模式的轻量级通讯协议^[17-18],需要为 WiFi 模块设置唯一的客户端标识符,并进行 MQTT 连接初始化,包括简单网络时间协议(simple network time protocol, SNTP)初始化及对待连接服务器的 MQTT 用户名和密码的设置及对服务器域名、网络端口号以及安全类型的设置,之后进行 MQTT 连接。

在初始化成功后,为进行可靠的传输,MQTT 数据传输需要在 WiFi 连接成功的回调函数中进行。在回调函数中建立 TCP 连接,当 WiFi 模块与后台服务器成功建立 TCP 连接后,WiFi 模块就作为 MQTT 客户端与 MQTT 服务端建立连接。

当 MQTT 连接成功建立后,在 MQTT 连接成功的回调函数中,WiFi 模块作为 MQTT 客户端向 MQTT 服务端发送 CONNECT 控制报文,如图 6 所示。

考虑到要将 WiFi 模块进行注册,为保证注册模块的唯一性,对 WiFi 模块的 MAC 码进行注册。通过 MQTT 发布报文将 WiFi 模块的 MAC 码发送至后台服务器进行

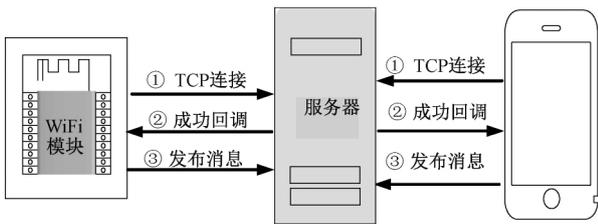


图 6 MQTT 连接图

注册,当注册成功后,返回注册成功报文,注册成功的消息后台服务器会通过 MQTT 传至 WiFi 模块及手机 App,手机 App 接收到注册成功消息并显示后台注册成功界面。

3 实验验证

配网过程需要手机 App 和 WiFi 模块进行配合,手机 App 发送配网数据包传递 WiFi 连接信息,WiFi 模块开启混杂模式捕捉空中的 802.11 数据帧并将 WiFi 的 SSID 和密码进行解码,解码成功后实现配网。配网的具体操作流程如下。

手机 App 工作流程:

- 1)手机连接周围环境的一个无线路由器并打开 App;
- 2)输入路由器的 SSID 和密码,点击配网按钮配网;
- 3)手机向周围环境广播配网信息。

WiFi 模块工作流程:

- 1)按下配网按钮,进入待配网状态;
- 2)接收空中的 UDP 数据包;
- 3)配网数据是否完整;
- 4)提取网络配置信息;
- 5)连接 WiFi 网络;
- 6)连接成功,进行模块注册。

3.1 实物测试环境

本文是基于物联网水暖床垫系统进行的 WiFi 模块开发,配合水床系统进行测试。测试环境基础设施包括 1 台

频率为 2.4 GHz 的无线路由器、1 部智能手机、1 台电脑及 1 台带有 WiFi 功能接口的水床系统。

该方法可以对多个模块同时进行配网,考虑到要在后台依次进行注册,所以本文只针对单个 WiFi 模块进行配网注册。

3.2 系统运行测试

将模块连接在水暖床垫控制板的 WiFi 无线通信接口上,按下水床控制板的配网按键后,控制板的 WiFi 配网指示灯快闪,表明打开 WiFi 模块配网功能。手机输入配网信息进行模块配网。水暖床垫控制板及控制系统整体如图 7 所示。

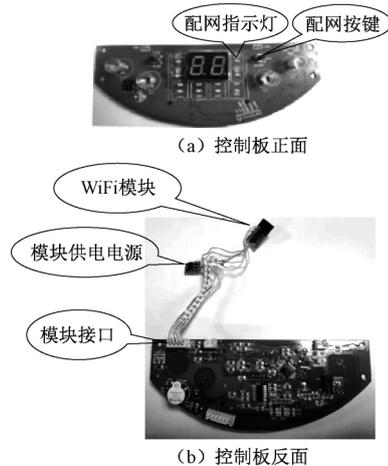


图 7 水暖床垫控制板

3.3 手机 App 发包测试

对手机 App 发包进行接收测试,打开手机 App 进入配网页面,手机 App 会自动搜寻周围环境中的无线路由器 SSID 并抓取到文本框中,用户手动输入密码后点击配网按钮进行配网,发送配网数据包。通过抓包软件抓取手机 App 发送的数据包。手机 App 配网界面及配网成功界面分别如图 8(a)~(c)所示,抓包界面如图 9 所示。



(a) 用户输入WiFi密码 (b) 用户点击配网按钮开始配网 (c) 配网成功界面

图 8 手机 App 配网页面

序号	时间	发包源地址	目标地址	通信协议	长度	具体信息
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
283	7.071280	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	197	39000 → 7001 Len=155
284	7.074581	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	367	39000 → 7001 Len=325
285	7.168030	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	182	39000 → 7001 Len=140
286	7.169487	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	101	39000 → 7001 Len=59
287	7.173030	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	368	39000 → 7001 Len=326
288	7.176583	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	299	39000 → 7001 Len=257
289	7.180060	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	294	39000 → 7001 Len=252
290	7.291755	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	369	39000 → 7001 Len=327
291	7.308060	192.168.189.141	255.255.255.255	UDP	370	39000 → 7001 Len=328

图 9 抓包界面

对抓取的数据包进行分析, WiFi 配网数据通过 UDP 传输广播到周围环境中。通过对长度字段进行编码, 通过图 9 可以看出, 发包源地址为本地 Android 设备, 目标地址为 255. 255. 255. 255, 在手机 App 前导码发送完毕后, 手机 App 发送完整地 WiFi 网络配置数据。改变发包频率时, 模块接入网络时长不同, 如表 3 所示。

表 3 不同发包周期下模块接入网络对照结果 ms

发包周期	接入时长
1	接入失败
3	17 524
4	3 254
6	3 158
7	5 124
8	6 542
10	10 245

通过时间戳可以得出手机发送数据包的间隔时间, 由表 3 可知, 在发包周期在 1 ms 时, WiFi 模块接入网络失败, 在 1~3 ms 时, 模块接入网络时间内过长; 手机 App 发送数据包的周期在 4~6 ms 时, WiFi 模块接入网络时间最短, 在 3 000 ms 左右; 当发包周期大于 6 ms 时, 发包周期时间越长, 模块接入网络的时间也会相对增加。所以手机 App 发包周期在 4~6 ms 之间进行选择。本文选用发包周期为 5 ms 作为测试。

3.4 WiFi 模块配网测试

水床控制板上有专用的 LED 指示灯用于显示配网状态。上电后按下水床的配网按键后, WiFi 模块处于配网状态(配网指示灯快速闪烁)。当 WiFi 模块成功接收到手机发送的配网数据并成功连接后(LED 指示灯变为常亮状态), 手机 App 显示配网成功信息。可通过串口调试助手获取配网成功的时间。调试结果如图 10 所示。

由调试结果可得, WiFi 模块接入网络耗时 2 744 ms。在配网过程中, WiFi 模块接收空中 WiFi 信息配置包并解析配置信息耗时为随机的, 每次配网耗时都不同。对模块配网 100 次取平均值, 配网时间在 3 058 ms 左右。抽取统计结果如表 4 所示。

3.5 WiFi 模块后台注册时间测试

WiFi 模块接入网络后开始向后台服务器进行注册, 手

```

【2021-51-06 08:51:51 736】
TYPE: AIRKISS
T|PHONE MAC: a4 5
【2021-51-06 08:51:51 761】
0 46 3d 4e e1
T|AP MAC : be 5f f6 e8 49 b1

----- smartconfig_done -----
SC_STATUS_GETTING_SSID_PSWD
SC_TYPE: SC_TYPE_AIRKISS

【2021-51-06 08:51:54 462】
T|pswd : www.sbkj.net
T|ssid :
【2021-51-06 08:51:54 480】
MERCURY_49B1

----- smartconfig_done -----
    
```

图 10 配网串口调试信息

表 4 配网测试统计结果

测试序号	接入时长/ms
1	3 124
2	2 941
3	3 247
4	3 254
5	2 741
6	2 853
7	3 064
8	3 240

机 App 与 WiFi 模块同时向后台发送注册信息, 后台服务器接收到模块发送的注册消息后进行注册。注册成功后, 返回注册成功信息, 通过串口抓取注册信息, 结果如图 11 所示。

```

【2021-51-06 08:51:58 200】
connected with MERCURY_49B1, c
【2021-51-06 08:51:58 219】
hannel 1
dhcp client start...

【2021-51-06 08:51:58 861】
ip:192.168.189.183,mask:255.255.
【2021-51-06 08:51:58 876】
255.0,gw:192.168.189.1

【2021-52-06 08:52:01 761】

----- smartconfig_done -----
【2021-52-06 08:52:01 780】

SC_STATUS_LINK_OVER
ESP8266_IP = 192.168.189.183
    
```

图 11 WiFi 模块注册信息图

由调试结果可得, WiFi 模块接入网络后在后台注册时间为 3 580 ms。在注册过程中, WiFi 模块与后台服务器建

立 MQTT 连接的时间较为稳定,每次连接耗时在 3 058~3 764 ms 范围内。对模块配网 100 次取平均值,配网时间在 3 324 ms 左右。抽取统计结果如表 5 所示。

表 5 注册测试统计结果

测试序号	注册时长/ms
1	3 424
2	3 268
3	3 058
4	3 302
5	3 424
6	3 215
7	3 127
8	3 764

4 结 论

本文以物联网水暖床垫控制系统为应用背景,以 WiFi 的智能配网技术为基础,以“Soft-AP”配网方式为备选方案,研究设计出的一种高效率,普适性好的一种 WiFi 配网及后台绑定的一种策略。采用“智能配网”+“Soft-AP”配网方式的组合配网方式来提高配网成功率;通过对手机 App 发包周期进行比对,得到模块接入网络时间相对最短的发包周期;通过对切换 WiFi 模块工作模式时延、设备向后台注册服务器失败时的重试时延, WiFi 局域网的 IP 地址解析失败时的重试时延、MQTT 数据接收解析异常的处理时延函数设计,来缩短配网时间。对配网成功后的模块注册选用 MQTT 协议进行传输,对 WiFi 模块进行注册。该方案不需要复杂的配网过程及硬件设施,开发人员可以在此基础上针对不同的应用进行不同的开发,配网成功率高,对于物联网项目的开发有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 沈晨航,周俊.基于 ESP8266 WiFi 模块和 MQTT 协议的游泳馆水质监测系统的设计[J].数字技术与应用,2020,38(5):148-151.
- [2] 何维,胡安琪,田增山,等.基于家庭 WiFi 的室内漏水检测[J].电子技术应用,2020,46(9):69-73.
- [3] 杨敏,刘思怡.一种基于先验信息的 WiFi 室内定位方法[J].电子测量与仪器学报,2020,34(6):163-168.

- [4] 曹建平,丁坦,杨辉.基于 STM32 的 WIFI 控制金属探测小车系统设计[J].实验室研究与探索,2020,39(9):79-83.
- [5] 杨扬,郝明磊,张璇.基于 WiFi 探针技术的无线安防系统设计[J].电子测量技术,2018,41(15):128-132.
- [6] 姜明星,王玺,郭忠文,等.基于 WiFi 接收信号强度监测的设备类型识别机制[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2020,50(10):134-139.
- [7] 张晓丹,俞侃,朱琳琳.基于 CC3200 的可视化低功耗 WiFi 门铃设计与实现[J].自动化与仪表,2020,35(5):103-108.
- [8] 樊星男.基于 ZigBee 和 WiFi 的温湿度无线监测系统[J].自动化与仪表,2019,34(10):47-52.
- [9] 张克勇,朱湘萍,包本刚,等.基于 WIFI 环境的智能垃圾桶的设计[J].信息化研究,2020,46(3):74-78.
- [10] 巫春玲,冯志文,任凯,等.基于 WiFi 的室内空气质量数据采集系统设计[J].建筑电气,2020,39(11):50-53.
- [11] 李昌奇,何志琴,周恒,等.基于 Android 和 WiFi 的智能家居监控系统设计与实现[J].现代电子技术,2020,43(20):67-70.
- [12] 朱春华,田稼科.基于 WiFi 的设备无关被动式定位技术研究[J].现代电子技术,2020,43(11):24-28.
- [13] 张兵,王泽伟,孙晓叶.基于 WiFi 技术的智能环境检测系统[J].科学技术创新,2020(31):71-72.
- [14] 刘佳,朱洁,陈仲夏,等.一种小型 WiFi 火灾检测报警仪的设计[J].无线互联科技,2020,17(10):67-68.
- [15] 王爽,郭颖,李娜,等.嵌入式智能家居管理系统设计[J].国外电子测量技术,2019,38(4):149-153.
- [16] 王瑞琦.基于 Arduino 的智能家居系统设计[J].国外电子测量技术,2019,38(9):147-15.
- [17] 万洪莉,李雨晨.基于 MQTT 协议的物联网服务器设计与架构分析[J].软件工程,2020,23(6):39-41.
- [18] 陈文艺,高婧,杨辉.基于 MQTT 协议的物联网通信系统设计与实现[J].西安邮电大学学报,2020,25(3):26-32.

作者简介

杜家俊,硕士,主要研究方向为测控技术与仪器、控制科学与工程、检测技术与装置。

E-mail:1363578543@qq.com