

钱松程, 鲁普东, 胡海争, 等. 基于物联网的日盲紫外监测系统的设计与实现[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(11): 168-174. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.241126

## 基于物联网的日盲紫外监测系统的设计与实现

钱松程, 鲁普东, 胡海争, 王顺利

(浙江理工大学 理学院, 杭州 310018)

**摘要:** 本文提出并设计了基于物联网的日盲紫外监测系统, 可实现对日盲紫外线的实时监测, 并基于物联网的感知层、网络传输层和应用层进行了分层设计。感知层的硬件主要由日盲紫外探测器和 BC26 组成, 通过多任务操作系统完成对电信号的读取、发送; 传输层使用 NB-IoT 进行通讯传输; 应用层进行数据的处理和存储, 实时显示到 Web 端和移动端, 并进行日盲紫外线的探测预警。该系统可广泛应用在紫外消杀监测领域。

**关键词:** 物联网; 日盲紫外; 嵌入式; 监测系统

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)11-0168-07

## Design and implementation of solar blind UV monitoring system based on Internet of Things

QIAN Songcheng, LU Pudong, HU Haizheng, WANG Shunli

(School of Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** This paper proposes and designs a solar blind UV monitoring system based on the Internet of Things, which can realize real-time monitoring of solar blind UV, and carries out hierarchical design based on the perception layer, network transport layer and application layer of the Internet of Things. The hardware of the sensing layer is mainly composed of sun-blind ultraviolet detector and BC26, and the electrical signal is read and sent through the multi-task operating system. The transport layer uses NB-IoT for communication transmission. Application layer realizes data processing and storage, real-time display to the Web and mobile terminals, and solar blind UV detection and early warning. The system can be widely used in the field of UV kill monitoring.

**Key words:** Internet of Things; solar blind UV; embedded; monitoring system

### 0 引言

大气层中的臭氧层对波长小于 280 nm 的紫外光有吸收和散射作用, 使得这一波段的光无法到达地球表面(200~280 nm, 称为“日盲”波段), 在此光谱范围内工作的探测器称为日盲紫外探测器。由于日盲波段的光具有背景噪声低、干扰小等优点, 因此日盲紫外(UV)探测技术在民用和军事等领域得到广泛应用, 例如火焰传感、环境监测、空间通信、导弹预警等<sup>[1]</sup>。总地来说, 在恶劣环境下针对日盲紫外监测系统的设计成为一个需要解决的问题。

在万物互联数字化经济蓬勃发展的新时代, 5G、云计算、物联网等与各行各业的融合成为大势

所趋。2015 年有超过 1 340 亿台物联网设备接入了互连网络, 截止 2022 年增长到 3 850 亿台物联网设备接入, 增长了近 185%<sup>[2]</sup>。物联网技术的发展为本系统的设计与实现提供了条件。

目前, 周学坤等学者<sup>[3]</sup>探讨了在高压电晕探测方法<sup>[4-5]</sup>中利用氮化镓紫外(日盲区波段)探测器实现实时在线电晕监测的一种方法, 并将日盲紫外在线监测系统与紫外成像仪相比较, 系统具有体积小、成本低、寿命长、可 24 h 监测等优势。但是该系统的设计未利用物联网, 缺少同样管理的可视化平台和用户交互界面, 存在后期系统难以扩展、维护等问题。

基于上述问题, 本系统采用最新的物联网技

**基金项目:** 浙江省自然科学基金(LY20F040005); 浙江理工大学科研启动基金(20062224-Y)。

**作者简介:** 钱松程(1999—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式和物联网研究。

**通信作者:** 王顺利(1984—), 男, 正高级实验师, 主要研究方向: 光学/光电材料生长、物理性质及器件应用研究。Email: slwang@zstu.edu.cn。

收稿日期: 2023-06-24

术<sup>[6]</sup>, 自行设计并实现了一套可用于日盲紫外的实时监测系统。将通信模块 BC26 作为监测节点的主控 MCU, 采用 NB-IoT 组网+4G 转发的方式, 实现对监测节点紫外线数据远程监测与远程参数配置。此外, 后端云服务器将传输过来的数据进行处理、计算和存储, 然后发送到 Web 端和移动端与用户进行可

视化的交互。

## 1 系统的总体框架

系统总体框架按照经典物联网架构<sup>[7]</sup>进行分层设计, 系统整体架构如图 1 所示。由图 1 可知, 系统整体框架分为: 感知层、传输层和应用层。

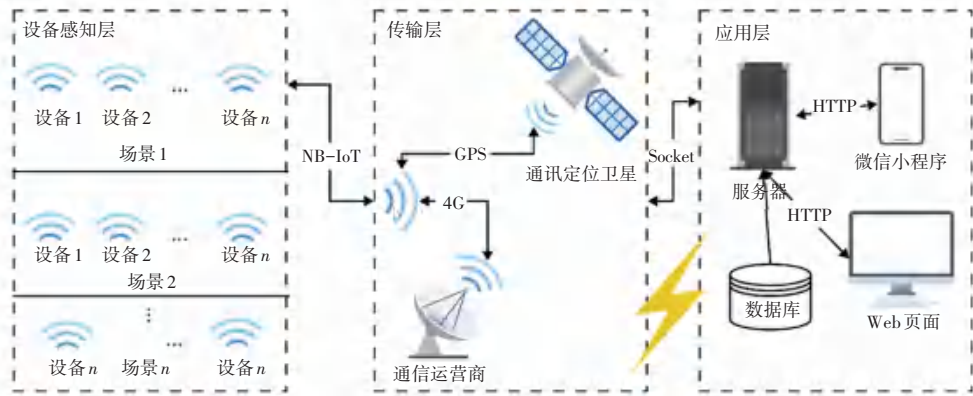


图 1 日盲紫外监测系统整体框架图

Fig. 1 Overall framework of solar blind UV monitoring system

### 1.1 感知层框架

感知层是本系统核心, 包括了工作在不同场景下的所有日盲紫外传感器设备, 并自带 MCU, 通过编程可以自动进行数据的采集、发送和指令的接收。传感器上搭载了 BC26 物联网卡, 可以实现 NB-IoT 组网+4G 转发的通讯方式<sup>[8]</sup>, 保证数据的实时更新和发送。此外, 每个设备都有其唯一的设备码, 在系统中添加某设备时可以将其绑定在所使用的场景中。方便用户区分不同场景下的不同设备。

### 1.2 传输层框架

传输层包括通讯卫星、通信运营商和板载的物联网卡 BC26。感知层的每个设备通过 BC26 以 4G 的方式将数据传输到基站, 完成与服务器的交互。反之, 服务器发送指令到通讯基站实现对设备的控制。

### 1.3 应用层框架

应用层主要包括了后端的服务器、数据库、Web 页面<sup>[9]</sup>和微信小程序<sup>[10]</sup>界面。后端服务器主要负责网络端口的监听, 接收传输层发过来的数据, 并存储到数据库。服务器设置了一些查询数据库的接口, 以利于前端的 Web 页面和微信小程序的调用。Web 页面绘制图表动态显示数据。小程序为用户绘制图表, 并提供一个查询指定时间端数据的页面。

传感器设备组成, 是获取日盲紫外线数据的关键部分。目前, 市场上日盲紫外传感器普遍存在功耗大、成本高、自动化程度低等问题。并不能高效地应用在物联网系统之中。基于此, 本系统需要自行设计日盲紫外传感器设备, 能满足低功耗、使用寿命长、连接稳定、数据传输准确的需求。

### 2.1 硬件设计

硬件部分主要由 3 个模块组成<sup>[11]</sup>, 分别是: 电源模块、信号采集模块、通信控制模块。其基本结构原理如图 2 所示。

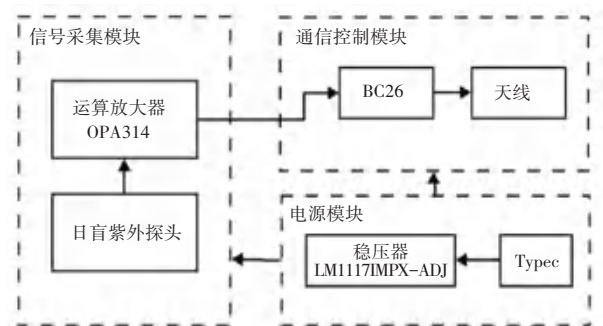


图 2 传感器基本结构原理图

Fig. 2 Schematic diagram of basic structure of the sensor

#### 2.1.1 信号采集模块

该模块主要由日盲紫外探头和运算放大器组成。日盲紫外探头采用了 MSM 结构<sup>[12]</sup>氧化镓探头, 该材料针对特定的日盲紫外波长产生微弱的电流, 经过运算放大后输出至 ADC 通道。信号采集模块如图 3 所示。

## 2 感知层设计与实现

感知层作为系统的最底层, 主要由不同场景的

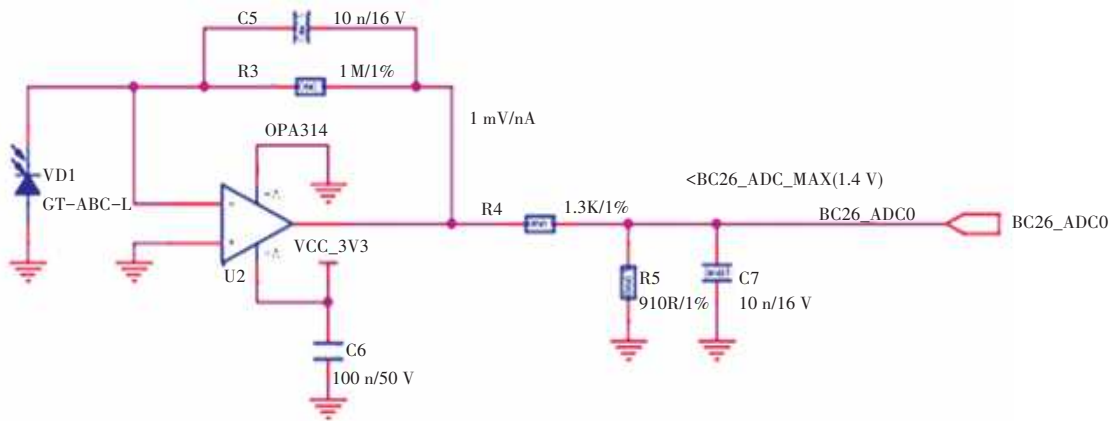


图 3 信号采集模块电路图

Fig. 3 Circuit diagram of signal acquisition module

### 2.1.2 通信控制模块

BC26 支持 OpenCPU 的功能,直接使用通信模块作为主控 CPU,可以节省成本,特别适用于应用较为简单、不需要大量硬件资源的 IoT 场景。该模块采用 NB-IoT<sup>[13]</sup>可以直接与运营商的基站进行通讯。并且 NB-IoT 是利用授权频段进行通信,其节点在通信过程中不容易受到干扰。

### 2.1.3 电源模块

电源模块采用了有线供电,考虑到生活中日盲紫外光源几乎都是室内,所以不需要设计电池以减少传感器设备的尺寸和成本。电源接口采用了日常生活中比较普遍的 Type-C 端口。经过稳压后给主控模块和信号采集模块提供 3.3 V 的稳定电压。电源模块原理如图 4 所示。

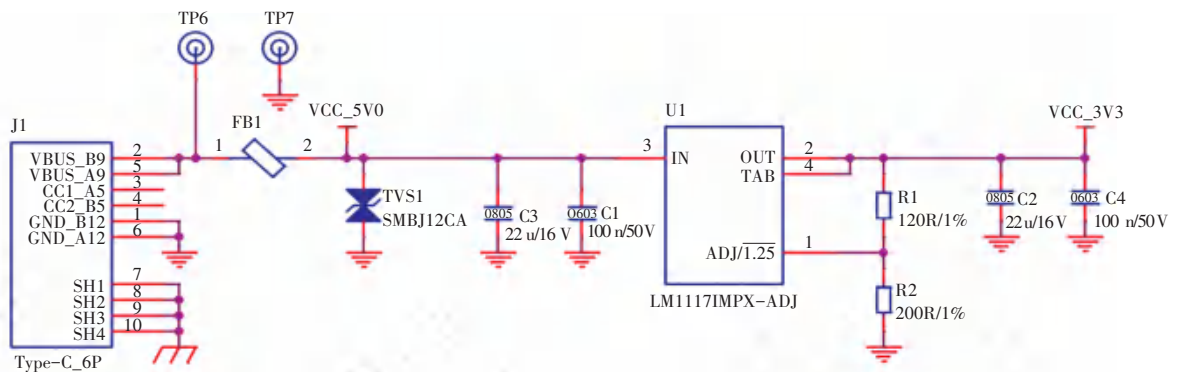


图 4 电源模块电路图

Fig. 4 Circuit diagram of power module

## 2.2 传感器软件设计

传感器底层软件设计主要使用 C 语言编写,由 OpenCPU 主控。程序采用多任务操作系统。主程序初始化硬件设备,注册定时中断和串口中断,初始化消息队列和 SIM 卡模块,并与服务器进行连接。定时器中断主要是读取 ADC 模块采集到的数据,再转入计算及发送流程。串口中断主要是处理服务器端发回来的指令,对传感器进行一些控制。

### 2.2.1 主程序

主程序流程如图 5(a) 所示。传感器设备通电

以后,OpenCPU 首先进行各个模块的初始化,包括串口模块、Socket 服务模块,关闭睡眠模式。并从 Flash 当中读取初始配置。注册定时器中断、网络中断、串口中断。然后进入消息循环队列当中。循环中首先保证消息队列准备就绪,否则一直循环尝试、直到 10 次之后发送报错消息,消息队列准备就绪后开始启动 SIM 卡模块并与服务器建立连接,直到连接成功。初始化参数内容见表 1。

以上步骤准备就绪后,程序开始正常运行。等待外部响应进入串口中断。此后,等待定时时间进

入定时器中断。

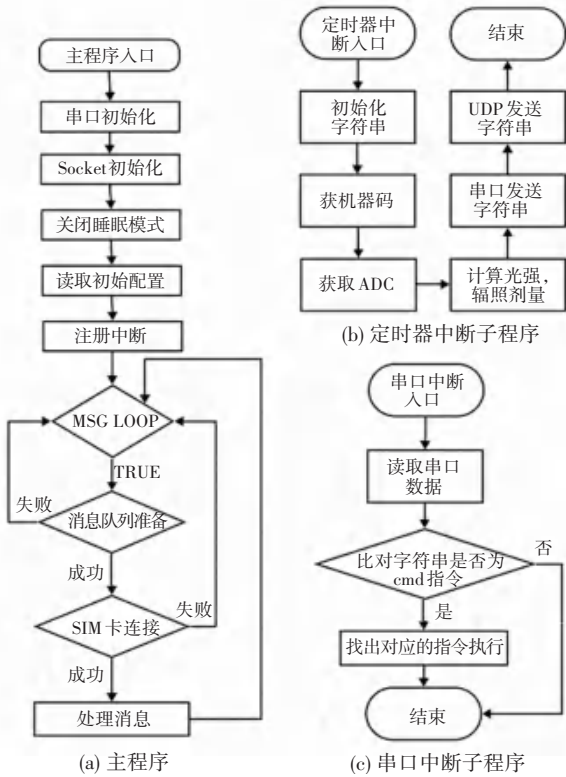


图 5 程序流程图

Fig. 5 Flow chart of the program

表 1 初始化参数表

Table 1 Initialization of the parameter table

参数	初始值
<i>IP0</i>	47. 105. 44. 99
<i>IP1</i>	47. 105. 44. 99
<i>PORT</i>	6 800
<i>Interval</i>	10 000
<i>V0</i>	1
<i>V1</i>	2
<i>CAL0</i>	0
<i>CAL1</i>	1. 0
<i>k</i>	1. 0
<i>b</i>	0. 0

### 2.2.2 定时器中断

定时器中断见图 5(b), 每隔既定的周期就会进入定时器中断, 可以自行设置周期。定时器的最低间隔可以达到 1  $\mu\text{m}$ 。初始化设置的时间间隔为 1 000 ms, 该数据存在于 Flash 中, 传感器在进行复位操作后可以重置时间为 1 000 ms。

进入中断后, ADC 会采集 20 次光强电压信号, 对其取平均值, 并代入拟合方程中计算出光强。再将光强积分计算出当前周期的辐照剂量。接下来,

通过将这些数值全部转换成字符串发送到服务器。在定时器中断的发送中还有心跳包, 每 5 组数据发送一次, 服务器接收心跳包之后会返回“success”字符串。在没有接收到“success”之前, 已经探测的数据会保存到 Flash 中, 当收到“success”后再将上一次的数据覆盖掉, 确保每组数据都不会丢失。

### 2.2.3 串口中断

串口中断见图 5(c)。当串口收到数据的时候触发, 进入串口中断, 中断中会读取发送到串口的数据, 打印出来。此后将和 CMD 表进行比对判断是否为 CMD 指令。如果是, 就会执行指令对应的函数(指令表见表 2)。另外, 服务器发送的指令也会打印在串口之中, 并同样进行指令比对, 从而实现远程的操控。

表 2 CMD 指令表

Table 2 CMD instruction table

CMD 指令	功能
SET, <i>k</i> : 1. 0;	"设置 <i>k</i> ",
SET, <i>b</i> : 0. 0;	"设置 <i>b</i> ",
SET, <i>IP0</i> : 47. 105. 44. 99;	"设置 <i>IP0</i> ",
SET, <i>IP1</i> : 47. 105. 44. 99;	"设置 <i>IP1</i> ",
SET, <i>PORT</i> : 6 800;	"设置 <i>PORT</i> ",
SET, <i>RATE</i> : 10 000;	"设置采样间隔",
READ, <i>IP0</i> ;	"读取 <i>IP</i> ",
READ, <i>IP1</i> ;	"读取 <i>IP</i> ",
READ, <i>PORT</i> ;	"读取 <i>PORT</i> ",
READ, <i>ISMI</i> ;	"读取 <i>ISMI</i> ",
READ, <i>CCID</i> ;	"读取 <i>CCID</i> ",
RESET;	"恢复初始参数",
RESTART;	"重启",
READ, FLASH: 0. 20;	"读取 flash0~20",
TAKEHEAD;	"握手",
READNOWVALUE;	"读数据",

## 3 传输层的使用

传输层使用运营商的网络进行通讯, 因此未做额外设计。

主要使用了 UDP 协议, 绑定服务器的 IP 地址, 连接成功后即可进行数据的发送和接收, 研究规定的数据格式为: 机器码+电流+光强+辐照剂量。

## 4 应用层的设计与实现

### 4.1 服务器和 Web 页面的设计

日盲紫外监测系统 Web 平台采用 B/S (Browser/

Server)网络结构模式。服务器后端采用 Springboot 框架,利用 Socket 监听网络端口,使用 UDP 协议来接收日盲紫外数据,并将这些紫外数据存储在 MySQL 数据库中。接着,使用 Java 编写的接口提供给前端调用,用户可以通过前端页面触发接口并查询后端处

理后的数据。日盲紫外监测系统 Web 平台的功能结构如图 6 所示。平台根据不同的角色<sup>[14]</sup>来划分权限,以确保数据的安全性和完整性。这样,只有授权用户才能够进行相应的操作和查询,从而有效保护了日盲紫外监测系统的安全性和隐私。

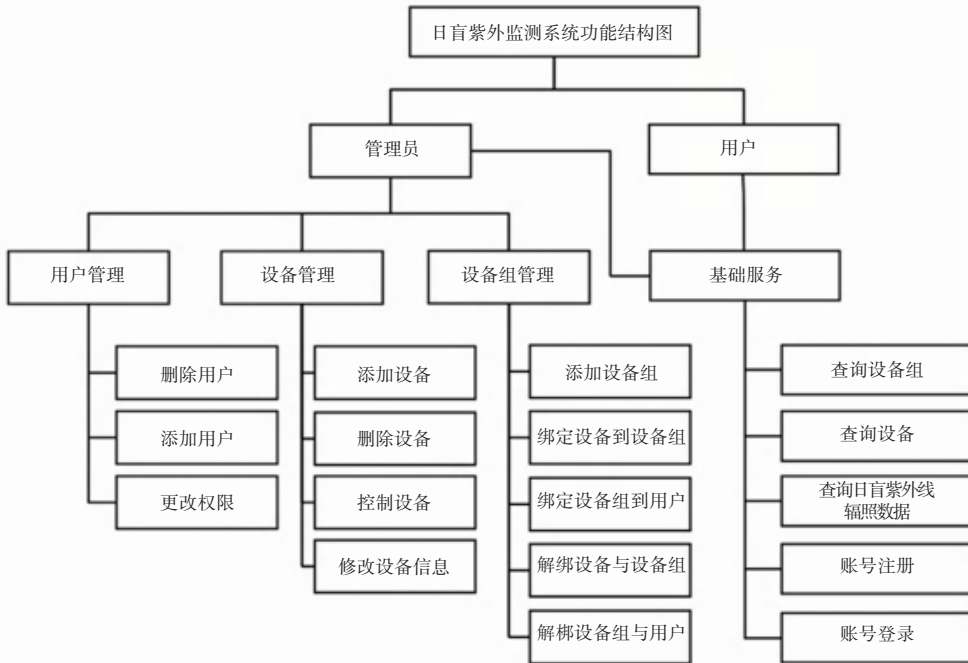


图 6 日盲紫外监测系统功能架构图

Fig. 6 Functional architecture diagram of solar blind UV monitoring system

设备的管理主要由管理员进行操作,将设备绑定到设备组,将设备组绑定到用户,普通用户可以查询绑定到该用户名下的设备组,再通过设备组查询到每个设备的数据。

## 4.2 前端小程序的设计

当涉及到小程序的设计和开发时,需要考虑到用户的需求和体验。因此需要特别关注小程序的实时性和易用性,这是小程序最重要的两个方面之一。其中,实时性确保用户可以立即查看自身需要的信息,而易用性则确保用户可以快速、准确地找到所需信息。

小程序的用户界面必须易于使用,包括布局和设计<sup>[15-18]</sup>。为了实现这一点,本系统选择了微信小程序作为用户交互界面,因其现已经成为普遍使用的通信应用程序之一。此外,本系统利用了微信小程序平台简捷开发和高效运行的特点,从而实现小程序的快速部署和实时更新。

另一个关键考虑因素是小程序的安全性。本系统采用了微信小程序提供的安全机制,如数据加密、安全登录和权限控制等,来确保小程序中的所有数据

和信息都得到保护,只有授权用户才能访问和操作。

根据图 6 的整体系统功能图,微信小程序总共设计了 4 个页面,分别是:用户登录页面、设备管理页面、查询页面、以及总览页面。这里对此做阐释概述如下。

(1)总览页面:用户登录后可以直接显示绑定在自己名下的设备组、设备、设备归属关系、设备的总数、以及设备的在线离线情况。

(2)查询页面:选好设备组、设备之后可以查询近七日的日盲紫外辐照剂量并绘制成图表。还可以查询指定时间段的紫外线辐照情况。

(3)设备管理页面:可以新增设备组、新增设备、修改设备、绑定设备到设备组、解绑设备、删除设备和删除设备组等。

(4)用户登录页面:用户可以直接使用微信账号注册、登录,获得更多的权限。

## 5 整体调试

### 5.1 底层传感器调试

给传感器通电(实物如图 7 所示),整个模块开

始运行。通过串口助手调整个传感器。观看传感器的运行步骤,如图 8 所示。由图 8 可见,RIL 队列准备就绪后开始发送 AT 指令,初始化 SIM 卡,SIM 卡 Status:1,表示 SIM 卡初始化成功。网络连接成功,至此 Socket 启动成功。



图 7 传感器实物图

Fig. 7 Physical picture of the sensor

```
[17:51:58.938]收←◆Firmware: 001
[17:52:00.058]收←◆Q1_RIL_SendATCmd-->AT+QIOPEN.....
[17:52:00.191]收←◆Q1_RIL_SendATCmd-->AT+QIOPEN.....
[17:52:00.494]收←◆C-- SIM Card Status:1 -->
Q1_RIL_SendATCmd-->AT+QIOPEN.....
[17:52:00.906]收←◆C-- EGPRS Network Status:2 -->
Q1_RIL_SendATCmd-->AT+QIOPEN.....
[17:52:04.050]收←◆C-- EGPRS Network Status:1 -->
Q1_RIL_SendATCmd-->AT+QIOPEN.....
[17:52:04.246]收←◆-Open socket successfully by socketid=0.-
```

图 8 启动时串口读取数据

Fig. 8 Serial port reads data during startup

Socket 成功启动后定时器开始工作,初始状态下每隔 10 s 发送一次数据,发送详情见图 9。

开始测试 CMD 指令功能串口发送“SET,RATE;5000”;收到“Save Succeed!”代表修改成功,变量成功存入 Flash 当中。重启之后每隔 5 000 ms 发送一次数据。发送详情见图 10。

```
[17:52:14.569]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
[17:52:24.567]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
[17:52:34.573]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
[17:52:44.571]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
```

图 9 间隔 10 s 发送一次数据

Fig. 9 Data is sent every 10 seconds

```
[17:55:55.454]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
[17:56:00.456]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
[17:56:05.455]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
[17:56:10.455]收←◆460045649111257,1,0,0,0,00
```

图 10 间隔 5 s 发送一次数据

Fig. 10 Data is sent every 5 seconds

指令表参见表 2,所有指令经测试后均可以正常使用。

### 5.2 移动端小程序

移动端小程序通过二维码扫描或者分享获取,使用微信登录后可以直接使用。其界面如图 11 所示。



图 11 小程序交互界面

Fig. 11 Interactive interface of small program

## 6 结束语

本系统采用先进的无线传感技术,可实时、准确地监测和记录日盲紫外数据,提高了监测的精度和效率。采用物联网的经典 3 层架构(感知层、传输层和

应用层),可对数据进行高效传输和处理,为实现日盲紫外监测的可视化、平台化、信息化提供了技术支持。经过多次调试和优化,本系统的稳定性和可靠性得到了大幅提升,能够长时间稳定运行,满足实际监测需求。本系统在幼儿园、电影院等场所试点,结果表明

有效提高了紫外消杀的效果,为公众健康和安全保障做出了贡献。基于本系统收集到的日盲紫外数据,还可以进行深入的研究,为科学研究和预防措施的制定提供参考和依据。本系统的设计和实现具有一定的创新性和前瞻性,可为日盲紫外监测领域的研究和发展提供新思路和新方向。

## 参考文献

- [1] 郭道友,李培刚,陈政委,等. 超宽禁带半导体  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  及深紫外透明电极、日盲探测器的研究进展[J]. 物理学报,2019,68(7):7-42.
- [2] 李润林,杨华勇. 基于 LoRa 和 NB-IoT 技术的智慧农业监测平台[J]. 智慧农业导刊,2022,2(18):14-17.
- [3] 周学坤,谢云昊,刘志勇,等. 基于日盲紫外探测器的高压电晕在线监测系统[J]. 电气传动自动化,2017,39(5):45-48.
- [4] 蔡晶,贾志东,赵海鹏,等. 输变电设备外绝缘运行状况紫外监测及判定依据研究[Z]. 乌鲁木齐:国网新疆电力公司检修公司,2017.
- [5] 贾志东,蔡晶,王希林,等. 输变电设备外绝缘运行状况紫外监测和老化判定依据及应用[Z]. 北京:清华大学,2017.
- [6] 邹文虎. 基于物联网的环境监测系统设计与研究[J]. 科学技术创新,2022(35):116-122.
- [7] 瞿鑫. 基于物联网技术的环境监测研究[J]. 中国高科技,2023(4):70-72.
- [8] 庞应龙,吴文彬,曹广忠. 基于自主计量芯片与 NB-IoT 的物联网智能水表系统[J]. 物联网技术,2022,12(2):124-130.
- [9] 皇甫若桐. 基于 SSM 的环境监测管理系统设计[J]. 集成电路应用,2023,40(2):340-341.
- [10] 隋远琦,潘静,那月光,等. 基于天气预警信息服务的微信小程序设计[J]. 现代信息科技,2023,7(10):6-9.
- [11] 程长流,田倩. 一种基于 NB-IOT 网络低功耗环境监测系统设计[J]. 电子制作,2023,31(5):96-100.
- [12] 高琳华,崔艳霞,梁强兵,等. 金属-无机半导体-金属光电探测器的研究进展[J]. 红外与激光工程,2020,49(8):229-247.
- [13] 陈小利,黄戎霞,林静. LoRa 和 NB-IoT 通信技术在环境监测中的应用[J]. 电子技术,2023,52(1):16-18.
- [14] 王扬,方晖,蒋坚迪,等. 地铁综合监控系统信息安全角色分配权限控制模型[J]. 科技通报,2022,38(5):57-60,67.
- [15] 李艳平,张成昊. 基于微信小程序的垃圾分类系统设计与实现[J]. 现代信息科技,2023,7(10):14-17,21.
- [16] INTHASUTH T, CHOTERUNGROTE W, BANDASAK C, et al. Performance testbed in IoT network based on ZigBee and NB-IoT technologies [C]// 2024 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications (ITC - CSCC). Piscataway, NJ:IEEE,2024:1-6.
- [17] KUMAR S A, JERONEN F. Batteryless NB-IoT prototype for bidirectional communication powered by ambient light[J]. Ad Hoc Networks,2023,142:251033857.
- [18] LI Tong, YIN Yun, LIU Yangzi, et al. A sub-GHz multimode digital polar transmitter for 802.11ah and NB-IoT applications[J]. Microelectronics Journal,2023,132:255090487.