

一种低功耗气象数据监控终端系统设计*

夏利娜¹ 李育慧² 郑俊锦³ 陈玉吉¹ 杨月文¹

(1. 福建省气象服务中心 福州 350008; 2. 漳州市芗城区气象局 漳州 363000;

3. 福建省大气探测技术保障中心 福州 350008)

摘要: 针对基层气象部门的实际业务需求,设计了一种基于国产单片机的低成本、低功耗的气象数据监控终端。系统通过WiFi模块实现自动联网,实时获取气象数据平台的气象信息;通过离线语音识别播放模块实现人机语音交互功能;通过OLED显示屏显示各项相关数据。系统能将联网获取的气象数据进行实时显示,并可对获取数据的时间戳进行计算和监控,从而及时发现气象数据的采集传输过程的异常问题,并发出报警信号。测试结果表明,系统能够准确识别多种音色,语音及按键操作功能均正常运行,耗电量仅约为1.75 mAh/h,具有较高的实用价值。

关键词: 数据监控; 物联网; 嵌入式; 气象服务

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design of low power consumption meteorological data monitoring terminal system

Xia Lina¹ Li Yuhui² Zheng Junjin³ Chen Yuji¹ Yang Yuewen¹

(1. Fujian Meteorological Service Center, Fuzhou 350008, China; 2. Xiangcheng District Meteorological Bureau, Zhangzhou 363000, China; 3. Meteorological Observation and Technical Support Center of Fujian, Fuzhou 350008, China)

Abstract: A low-cost, low-power meteorological data monitoring terminal based on domestic microcontrollers was developed to address the operational requirements of local meteorological departments. The system incorporates a WiFi module for seamless internet connectivity, facilitating real-time access to meteorological information. Additionally, it integrates offline voice recognition and playback functionalities through a dedicated module for human-machine interaction, along with an OLED display for presenting pertinent data. The system can display the meteorological data obtained by the network in real time, and can calculate and monitor the timestamp of the obtained data, so as to find the abnormal problems in the collection and transmission process of meteorological data in time and send out alarm signals. The experimental test results show that the system can accurately recognize a variety of timbres, and the voice and key operation functions are operating normally, and the power consumption is only about 1.75 mAh/h, which has high practical value.

Keywords: data monitoring; internet of things; embedded system; meteorological services

0 引言

气象数据完整性和时效性确保气象服务和天气预报的质量和效率的基石。确保气象数据的更新能够快速响应实现天气状况的变化,不仅是提升气象服务科学性和准确性的关键,也是提升社会福祉和增强公众信任的必要条件。因此,对气象数据的采集传输和对

外数据服务的链路进行监控,是气象信息技术领域的重要课题。

文献[1]构建了基于大数据技术的监控告警系统,实现对海量的监视数据的预处理、告警生成和指标计算,具有较高的监控效率和准确性,但对高性能计算资源和专业人员水平的要求较高。文献[2]通过采集和处理“天擎”各个模块在业务运行过程所产生的综合状态信息等,

收稿日期:2024-08-06

* 基金项目:福建省气象服务中心研究型业务专项(202304)资助

最终通过企业微信将格式化的监控告警信息推送至运维人员。该系统依赖于第3方服务,会增加潜在费用和安全风险。文献[3]开发了基于 Android 系统的移动气象信息传输监控软件,对移动气象信息传输进行实时监控。文献[4]开发了基于手机软件的远程监控系统,远程实时监控网络状态。上述文献的监控方案的软硬件架构均较为庞大且复杂且部署成本较高。

随着国家对气象基础设施建设的持续投入,目前国省两级气象部门已建设有多个大型且全面的气象数据监控平台,目前尚无使用单片机系统等轻量化的气象数据监控的方案。本文针对基层气象部门业务值班人员的实际需求,并充分利用已建成的平台资源,旨在帮助值班人员及时发现气象数据采集传输及数据展示的异常情况,从而更快进行相关处置。本文依托于福建省气象局的“知天气”气象服务平台,结合了单片机、无线通信以及语音识别播放和物联网等技术,设计并实现一种低成本低功耗的气象数据监控系统,通过获取气象数据及其时间戳来识别出数据采集传输的问题,并保证对外气象服务数据的时效性。本文系统是现有监控体系的有效补充,尤其适用于偏远或资源受限地区。

1 系统总体设计

系统结构框图如图1所示。其中,单片机作为核心控制单元,负责与WiFi模块通信、控制显示模块,以及与语音模块交互等。显示模块用于显示天气信息和系统状态信息。语音模块实现人机语音交互及语音播报的功能。WiFi模块用于联网校时和获取气象数据信息。“知天气”服务器为系统的气象数据信息源。

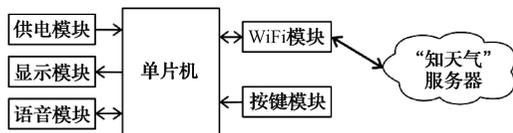


图1 系统结构框图

Fig.1 System structure block diagram

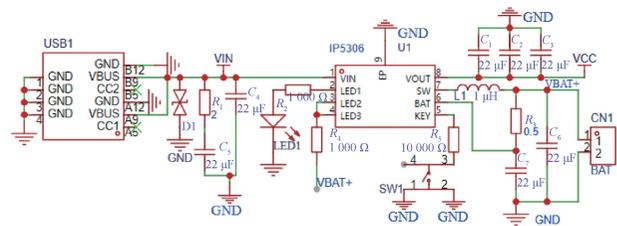
2 系统电路原理设计

2.1 单片机最小系统

主控芯片选用宏晶科技生产的高性能的8051单片机STC8A8K64S4D4^[5-6]。其工作电压为1.9~5.5V。其内部集成了高精度R/C时钟源,无需外部晶振。具有两种低功耗模式,通过配置掉电唤醒定时器即可唤醒。其外设接口包括多路串行通信接口、多个定时器模块以及I²C和SPI通信总线等。内置大容量的Flash(64KB)、RAM和EEPROM,方便用户程序扩展和数据存储。支持在系统编程。其最小系统电路只需供电即可工作,当使用到ADC功能对应的I/O口时,不可将ADC电源线及其参考电压引脚悬空。

2.2 供电模块及电源开关

为实现系统的便携性和应用环境的灵活性,本文采用锂电池与外部电源相结合的供电方式。充放电电源管理芯片选用英集芯的IP5306^[7]。其集成了锂电池充电管理、升压转换器和电量指示等功能。其同步升压系统的转换效率可达92%,可提供最大2.4A的输出电流。空载时,芯片可自动进入休眠状态,静态电流降至100μA。其充电效率可达91%,最大充电电流为2.1A。具有输入过压、输出过流过压和温度过高等多重保护功能。锂电池充放电管理的电路如图2所示。



较好。相较于 LCD, OLED 具有更快的响应速度、更宽的视角以及更低的工作电压和功耗。其分辨率 128×64 , 尺寸小巧。其核心驱动芯片为 SSD1306, 能够实现对每个像素点的精确控制。通过两个引脚即可实现 I²C 串行总线协议驱动。

2.5 通信模块

通信模块选用经过市场验证的具有良好的稳定性和可靠性的易于集成的基于乐鑫信息科技的 ESP8266 芯片的 WiFi 模块 ESP-01S^[10]。其具有高度集成和接口简单等特点。模块内置了完整的 TCP/IP 协议栈^[11], 支持 802.11 b/g/n 标准, 方便接入 WiFi 网络。单片机通过 AT 指令即可进行网络连接、数据传输以及执行各种网络服务等。本文利用其联网以获取实时时间和气象数据。

该模块自带智能配网功能, 可通过 ESP-TOUCH^[12] 和 AirKiss^[13] 进行设备联网, 在新网络环境中只需要配置 1 次即可自动联网。其中 AirKiss 是微信硬件平台为 WiFi 设备提供的微信配网、局域网发现和局域网通信的技术, 在微信公众号即可操作, 具体 AT 指令设置过程如表 1 所示。

表 1 AirKiss 的 AT 指令操作步骤

步骤	AT 指令	说明
1	AT+CWMODE=1	配置为单 STA 模式并保存
2	AT+CWAUTOCONN=1	开启上电自动连接 AP
3	AT+CWSTARTSMART=3	支持 ESP-Touch 和 Airkiss
4	微信操作	进行输入密码等操作
5	AT+CWSTOPSMART	释放 WiFi 快连占用的资源
6	AT+CIPSTATUS	查询当前网络连接状态

2.6 语音模块

为了实现更快的语音识别响应速度并具备语音播放功能, 同时兼顾成本和功耗要求, 本文选用离线语音识别模块 SNR9813VR-M, 是一款由智纳捷科技有限公司开发的小型化、高集成度的语音识别模块^[14]。模块尺寸为 $20 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$, 工作电压为 $4.5 \sim 5.5 \text{ V}$, I/O 电平为 $3 \sim 3.6 \text{ V}$, 可最多支持 200 条指令的识别, 远达 10 m 识别距离, 实现任意角度识别, 无识别死角, 并且识别率达 97% 以上。具有单麦降噪功能, 对环境自然噪声和新闻音乐等噪声有较好的适应能力。语音播报支持 3 W 功放输出。无需用户录音训练。内置 4 M 的 FLASH 存储数据。可通过串口控制并获取模块状态, 模块的 UART1 接口与外部硬件进行通信, 3.3 V 电平, 波特率为 9 600 bps, 数据位为 8 bits, 无校验位。本文通过修改厂商提供的 SDK, 实现语音播放及组合播放的功能, 电路如图 4 所示。

3 系统软件设计

本文的软件设计主要针对单片机端。由于 51 单片机

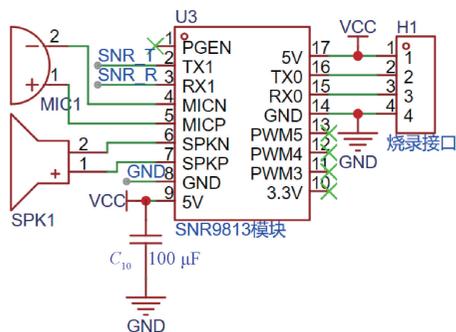


图 4 语音识别播放模块电路

Fig. 4 Circuit diagram of the speech recognition playback module

的内部资源限制, 为提高裸机编程的实时性, 并考虑到串口模块(WiFi 模块和语音识别播放模块)的响应时间不固定且相对较长, 本文主要采用有限状态机(finite-state machine, FSM)思想编程^[15], 以提高系统的实时性。系统程序如图 5 所示, 主要包括单片机资源初始化、外设资源初始化、串口中断服务程序、定时器中断服务程序、时间获取、OLED 显示更新、WiFi 模块通信、语音识别和语音播放、按键识别程序。其中, 利用到的单片机资源主要有串口、定时器和 EEPROM 等。EEPROM 用于系统相关参数和相关数据等的记录; 定时器用于产生系统时间点; 本文使用到 3 个串口: 串口 1 输出系统调试信息等; 串口 2 与 WiFi 模块通信; 串口 3 与语音识别播放模块通信。

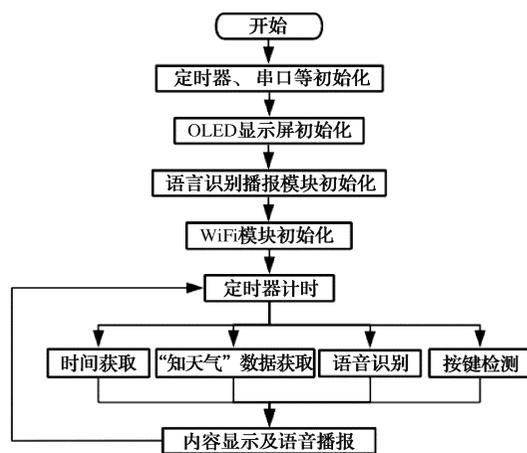


图 5 系统主要程序流程

Fig. 5 Flow chart of the main program of the system

3.1 屏幕显示更新

本文采用状态机思想来实现 OLED 显示屏的全屏更新和局部区域更新。将显示内容划分为多个分屏状态, 分别对应一种特定信息的展示; 同时每个分屏状态对应若干个局部显示区域, 实现局部更新。分屏状态 S 和事件 E 如表 2 所示。状态转换规则为当全屏更新请求事件 E1 发生时, 系统将根据当前的分屏状态 S, 调用相应的全屏更新

函数,以刷新整个屏幕的内容,例如用户切换屏幕或接收到新数据等;当部分更新请求事件 E2 发生时,系统将调用

部分更新函数,只更新需要变更显示内容的部分区域,例如时间的更新或天气数据的局部刷新。

表 2 显示屏状态响应
Table 2 Display status response

分屏状态(S)	描述	E1: 全屏更新请求	E2: 部分更新请求
S0: 首页	显示概览	全屏更新首页	更新特定信息
S1: 实况天气	显示天气实况信息	全屏更新实况天气	更新实况特定信息
S2: 天气预报	显示未来几天的预报	全屏更新天气预报	更新特定日期预报
S3: 生活指数	显示生活指数信息	全屏更新生活指数	更新特定指数信息
S4: 更新时间	显示相关数据时间戳	全屏更新相关数据更新时间	更新特定数据的更新时间

3.2 语音识别及播报

本文的语音识别充分利用 SNR9813 模块支持的 200 条指令的最大容量。通过尽量填充命令词库,以增强自然语言表述的识别能力。例如,将“大声点”“增加音量”和“调大音量”等表达同一意思的不同语言表述方式的语音识别结果映射到同一个指令“提高播放音量”,以适应对用户多样化表达的识别。

语音播放则充分利用模块支持 240 s 语音播报时间,不使用昂贵的 TTS 模块,而利用模块支持串口指令控制语音播放内容的功能,将预录制的语音片段进行组合播放^[16]。本文通过修改厂商提供的 SDK,自定义通信协议,以支持语音片段的组合播放,即将多个短语音片段(如数字、量词、单位等)组合成长语音播放内容。例如,将“二”“十”“五”“点”和“摄氏度”这些独立的语音片段组合成“25.6℃”的完整语音输出。自定义的通信协议允许模块进行指令接收、状态查询和播放控制等。当识别到有命令词时,模块通过输出识别结果;播放语音时,单片机则向模块发送指令。其中,自定义的组合播放的通信协议包括帧头(0×F4,0×F5,共 2 bytes)、指令部分(0×80,0×99,共 2 bytes,表示组合播放指令)、长度字段(共 1 byte,表示该指令的长度)、广播序列(字节数不定,表示播放的语音片

段编号)以及帧尾(0×FB,共 1 byte)。

3.3 WiFi 通信

本文编写了基于有限状态机思想的通信子函数,以确保网络环境波动时,仍能保持高效可靠的数据交换,并克服传统的死延时等待模块回复的方法会产生通信效率较低的问题。针对单个或者多个 AT 指令(例如模块的初始化配置及具体通过程),均利用有限状态机思想进行模块化的编程。以单个 AT 指令的通过程举例,如表 3 所示。初始化状态 S0 包括准备发送的指令和更新发送内容缓存等。初始化完成后,转换到发送指令状态 S1。发送完成后则进入等待响应状态 S2,即等待模块回复。若在预定时间内收到模块回复,系统将进入响应处理状态 S3;若等待期间未收到响应或超时,将根据预设的重试策略,返回到发送指令状态 S1 或转入错误处理状态 S6;响应处理状态 S3 对收到的回复内容进行解析,若符合预期将执行后续操作并准备返回到主循环,若存在错误或异常,将转入通信完成状态 S4 或重新发送指令;通信完成状态 S4 表示成功完成一次 AT 指令通信周期。程序在此状态下返回主循环并准备进行下一次通信。程序在任何状态中若遇到无法通过重试解决的错误时,将转入错误处理状态 S6,程序执行重置通信模块、记录错误日志或通知用户等操作。

表 3 WiFi 模块 AT 指令状态响应
Table 3 WiFi module AT command status response table

状态(S)	事件(E)	动作	下一状态(S')
S0: 初始化	E0: 准备完成	更新指令及发送内容缓存	S1: 发送指令
S1: 发送指令	E1: 指令发送完成	等待响应	S2: 等待响应
S2: 等待响应	E2: 收到响应	无	S3: 响应处理
S2: 等待响应	E5: 等待超时	无	S1: 重新发送指令 或 S6: 错误处理
S3: 响应处理	E3: 响应符合预期	解析响应,执行后续操作	S4: 通信完成
S3: 响应处理	E6: 错误响应或异常	根据错误类型进行处理	S4: 通信完成 或 S1: 重新发送指令
S4: 通信完成	E4: 无	返回主循环	无
S5: 等待超时	E5: 超时发生	重试发送指令或报告超时	S1: 发送指令 或 S6: 错误处理
S6: 错误处理	E6: 错误响应或异常	根据错误类型进行处理	S4: 通信完成 或 S1: 重新发送指令

3.4 时间获取

本文利用网络对时校正 DS1302 芯片的时间准确性。对时平台选用与国家授时中心的标准时间同步更新的 NowAPI 网站,以确保获取的实时北京时间的精确。该返回的时间数据结构完整丰富,包含了日期时间戳、多种形式的日期时间字符串等信息,可减小单片机对时间进行解析转换的资源消耗。单片机在与 NowAPI 建立连接后,发送特定的 HTTP GET 请求即可获取时间数据,具体请求指令如下:

```
GET/? app=life.time&.apikey= APPKEY&.sign=
SIGN&.format=json HTTP/1.1
```

```
Host: api.k780.com: 88
```

```
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0)
```

(其中 APPKEY 和 SIGN 用于身份验证)。

3.5 气象数据获取

通过 HTTP POST 请求与“知天气”服务器进行数据交换,数据编码为 multipart/form-data 格式。该请求的结构包括请求行、请求头部和请求体。具体如下:

```
POST [资源路径]; HTTP/1.1
```

```
Content-Length: [请求体长度];
```

```
Content-Type: multipart/form-data; boundary=[分
隔符];
```

```
Host: [服务器地址];
```

```
[分隔符]
```

```
Content-Disposition: form-data; name="参数名";
```

```
{ "键 1": { "子键 1": "[值]" }, "键 2": { "子键 2": "[值]", "子键 3": "[值]" }, ... }
```

```
[分隔符]
```

其中,[资源路径]代表服务器上特定服务的路径,[请求体长度]是请求体的字节长度,[分隔符]是用于分隔请求体中不同部分的标识符,[服务器地址]是接收请求的服务器的地址,[参数名]是表单字段的名称,而{ "键 1": { "子键 1": "[值]" } ... } 是 JSON 格式的数据,代表了请求中发送的具体信息。

3.6 数据监控算法

本文主要监控自动站实况数据、雷达回波和卫星云图等数据更新的滞后情况。其程序流程如图 6 所示。

监控算法主要是通过比较获取的气象数据包中的时间戳与实时时间,并计算出二者的时间差。最后将求出的时间差与设置的阈值进行比较,若超过 30 min 则认为更新不及时,则发出报警信号,如语音闪烁等。考虑到数据更新时间监控较为频繁且现有的监控途径方式多样,不会出现年月不同但日数据相同的却未被及时发现的情况。因此,本文程序中仅分别考虑到是否存在跨天的时间差的计算方法。同一天和跨天的分钟时间差的计算公式如式(1)所示。

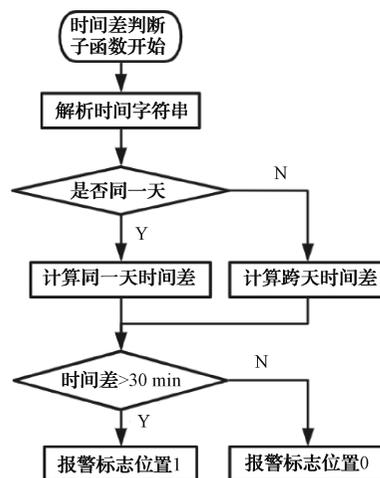


图 6 时间差判断程序流程

Fig. 6 Flow chart of time difference judgment procedure

$$\Delta t = \begin{cases} |(t_{1h} - t_{2h}) \times 60 + (t_{1m} - t_{2m})|, & \text{同一天} \\ |(t_{1h} - t_{2h} + 24) \times 60 + (t_{1m} - t_{2m})|, & \text{跨天} \end{cases} \quad (1)$$

式中: t_{1h} 和 t_{1m} 分别为实时时间的小时数和分钟数; t_{2h} 和 t_{2m} 的气象数据时间戳的小时数和分钟数。

4 系统功能测试与分析

本文系统已在福建省气象服务中心及部分县局试运行测试,反馈良好。主控电路板实物如图 7 所示。本文还对系统的核心功能实现及功耗进行了全面测试。



图 7 系统主板实物

Fig. 7 Physical drawing of system motherboard

系统功能测试主要包括了语音识别、语音指令和按键操作等,测试结果如表 4 所示。其中,下划线表示具体的气象数据。合成语音测试通过生成不同性别不同年龄段的 14 种语音片段进行测试,语音合成则是利用智纳捷公司的软件烧录工具(UPDATE TOOL V3. 8. 3 for 9813)内置的播报音生成功能。经过多次的语音识别测试,结果表明系统在多样化音色和不同发音特点的唤醒词和命令词测试中表现良好,且均能正确识别。功能测试结果表明系统对按键操作和语音指令均能作出正常应答和动作。因此,系统适用于日常工作等使用场景。

表 4 功能测试结果
Table 4 Functional test results

功能类别	操作	运行结果	测试结论
语音识别	合成语音;真实人声	播报对应的应答语音	正确识别
按键控制	切换键	显示屏进行分屏切换	成功切换
按键控制	时间键	联网,显示屏时间更新	时间数据更新
按键控制	天气键	联网,显示屏气象数据更新	气象数据更新
语音指令	唤醒后,语音指令:今天天气	语音播报:“今天:天气现象_,气温_摄氏度,湿度百分之_,气压_百帕,降雨量_毫米,风速_米每秒,能见度_米”; 显示屏:切换到“实况天气”分屏。	正确播报
语音指令	唤醒后,语音指令:天气预报	语音播报:“今天天气_,明天天气_,后天天气_”; 显示屏切换到“天气预报”分屏。	正确播报
语音指令	唤醒后,语音指令:生活指数	语音播报:“紫外线辐射强度_级,[描述,如紫外线中等,适当防护];舒适度_级,[描述,如天气冷];穿衣指数级别_,[描述,如宜穿毛衣类];”; 显示屏:切换到“生活指数”分屏	正确播报
语音指令	唤醒后,语音指令:更新时间	语音播报:“数据更新时间:实况_年_月_日_时_分;雷达回波_年_月_日_时_分;卫星云图_年_月_日_时_分”; 显示屏:切换到“更新时间”分屏	正确更新

系统功耗测试则主要测试无外部供电而使用电池供电时的工作电流,以验证低功耗设计的有效性。由于语音模块的工作电流较大,系统在检测到无外部供电后通过切断供电来关闭语音模块,而只保留核心功能。系统采用间歇工作的方式来实现低功耗目标。通过配置单片机的掉电唤醒定时器的寄存器,只在需要获取信息时才让单片机处于正常工作状态,其余时间则让单片机处于掉电模式,同时其余功能模块如 WiFi 模块等处于断电状态。系统的每小时耗电量 Q 计算如式(2)所示。

$$Q = \bar{I} \times t \times n \quad (2)$$

式中: \bar{I} 为系统在非掉电模式下的平均工作电流; t 为非掉电模式的耗时; n 为系统每小时处于非掉电模式的次数。

本文使用广州致远电子股份有限公司生产的 DMM6000 六位半万用表分别测试掉电模式、获取北京时间和获取气象数据时的工作电流,采样率设置为 7.5 K/s。测试掉电模式工作电流时电流量程选择 100 μ A,另外两种测试的量程选择 1 A。掉电模式下的工作电流如图 8 所示,图 9 和 10 所示分别为系统通过联网获取北京时间和气象数据的工作电流。其中横坐标每一格间距 75 000 个数据,即对应实际时间 1 s。

功耗测试结果表明,掉电模式时系统工作电流均在 25 μ A 以下,经计算其平均工作电流约为 5 μ A;系统联网获取数据时,在开始的瞬间均有约 800 mA 的大电流,这是 WiFi 模块开启供电并自动联网的电流消耗,其后当模

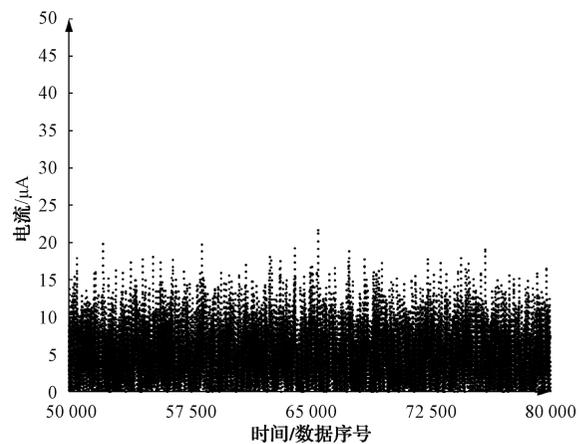


图 8 掉电模式下系统工作电流

Fig. 8 The operating current of the system in power-down mode

块稳定工作时,电流消耗的范围约为 80~400 mA,具体数值与模块的收发状态有关。将联网获取气象数据的工作电流记录导出并分析,可以求出一次获取过程的平均电流为 76.4 mA,耗时约 13.8 s。本文将获取气象数据的时间间隔设置为 10 min(即 6 次/h)。由于联网校时的频次需求低,联网获取时间数据的时间间隔可设置为较长时间。因此,系统功耗主要集中于获取气象数据,根据式(2)即可计算出耗电量约为 1.75 mAh/h,系统可实现较长待机时间。

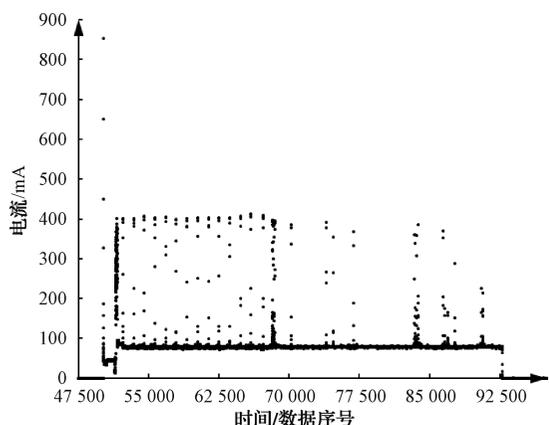


图9 联网对时的工作电流

Fig. 9 The operating current of the system that acquires the time over the network

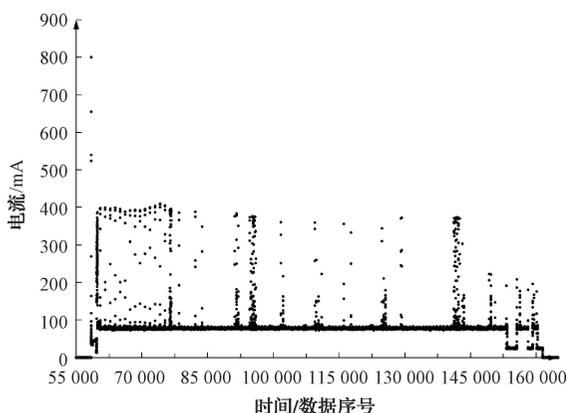


图10 联网获取气象数据的工作电流

Fig. 10 The operating current of the system that acquires meteorological data over the network

5 结论

本文设计了一种基于国产单片机的低功耗气象数据监控终端系统,通过 WiFi 模块实现自动联网,实现获取北京时间进行系统校时,同时与“知天气”气象服务平台交互,实现气象数据获取、显示和实时监控等功能;利用语音模块实现离线仿自然语音识别及语音播放等人机语音交互功能;通过 OLED 显示屏显示气象数据及监控信息等。经测试,该终端可准确识别多样化的音色,语音及按键操作功能正常,并且具有低功耗等优点。系统体积小巧便携,适用于基层气象部门的数据监控场景,具有较高的实用价值。

参考文献

[1] 曾乐,孙超,张来恩,等.基于大数据技术的气象业务监视数据采集处理[J].计算机仿真,2021,38(7): 181-188.

ZENG L, SUN CH, ZHANG L EN, et al. Data collection and processing framework for operation monitoring based on big data technology [J]. Computer Simulation, 2021, 38(7): 181-188.

[2] 刘洋,黄志,徐娟,等.气象大数据云平台监控告警系统[J].计算机系统应用,2023,32(3): 86-94.

LIU Y, HUANG ZH, XU J, et al. Monitoring and warning system of meteorological big data cloud platform [J]. Computer Systems & Applications, 2023, 32(3): 86-94.

[3] 钟艳雯,郭海峰,夏正龙,等.基于 Android 的移动气象信息传输监控软件开发[J].气象科技,2015, 43(6): 1065-1069.

ZHONG Y W, GUO H F, XIA ZH L, et al. An Android-based mobile meteorological information transmission and monitoring software [J]. Meteorological Science and Technology, 2015, 43(6): 1065-1069.

[4] 王新清,哈斯塔木嘎.基于手机 APP“气象信息网络”远程监控系统的实现[J].农学学报,2018, 8(9): 80-83.

WANG X Q, HASITAMUGA. Design and realization of meteorological information network remote monitoring system based on mobile phone APP [J]. Journal of Agriculture, 2018, 8(9): 80-83.

[5] 陶曾杰,熊宇,任锦锦,等.非接触式物体形状和尺寸自动测量系统的设计[J].自动化与仪表,2024, 39(1): 112-115.

TAO Z J, XIONG Y, REN J J, et al. Design of automatic measurement system of size and morphology of non-contact objects [J]. Automation & Instrumentation, 2024, 39(1): 112-115.

[6] 姚丽娜,马天阳.一种嵌入式以太网音频传输系统设计[J].国外电子测量技术,2022, 41(2): 65-70.

YAO L N, MA T Y. Design of an embedded Ethernet audio transmission system [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2022, 41(2): 65-70.

[7] 梁帅,朱松毅,周涵巍,等.一款桌面级群控机器人系统设计与开发[J].机械设计与研究,2023, 39(3): 16-20.

LIANG SH, ZHU S Y, ZHOU H W, et al. Design and development of a desktop multi-robot system [J]. Machine Design & Research, 2023, 39(3): 16-20.

[8] 吴双娥,冉贵龙,王锦荣,等.基于人脸识别的服药模拟装置[J].现代电子技术,2024, 47(7): 177-180.

WU SH E, RAN G L, WANG J R, et al. Simulation device based on face recognition for taking medication [J]. Modern Electronics Technique, 2024, 47(7): 177-180.

[9] 杨智显,胡安杰,刘东.基于 STM32 的冷暖两联供控

- 制系统设计[J]. 电子设计工程, 2023, 31(21): 1-6.
- YANG ZH X, HU AN J, LIU D. Design of cooling and heating dual supply control system based on STM32 [J]. *Electronic Design Engineering*, 2023, 31(21): 1-6.
- [10] 刘映群, 黄嘉源, 李泳智, 等. 基于人工智能的居家老人监护系统的设计与实现[J]. *传感器世界*, 2024, 30(1): 35-40.
- LIU Y Q, HUANG J Y, LI Y ZH, et al. Design and implementation of home care system for the elderly based on artificial intelligence [J]. *Sensor World*, 2024, 30(1): 35-40.
- [11] 虎勇, 吕辉岩, 李绍荣, 等. MEMS 姿态传感器在边坡表面位移监测的应用研究[J]. *电子测量与仪器学报*, 2023, 37(7): 53-61.
- HU Y, LYU H Y, LI SH R. Study on application of MEMS attitude sensor inslope surface displacement monitoring [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2023, 37(7): 53-61.
- [12] 唐鹏程, 韩思鑫. 基于物联网 RT-thread 智能家居报警系统的设计与实现[J]. *电子技术与软件工程*, 2023(1): 123-126.
- TANG P CH, HAN S X. Design and implementation of smart home alarm system based on Internet of Things RT-thread [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2023(1): 123-126.
- [13] 农丽萍, 吕嘉嘉, 梁梓辰, 等. 基于 RTD1296 的私有存储设备的设计[J]. *现代电子技术*, 2024, 47(2): 26-30.
- NONG L P, LYU J J, LIANG Z CH, et al. Design of private storage device based on RTD1296 [J]. *Modern Electronics Technique*, 2024, 47(2): 26-30.
- [14] 董千恒, 张秀再, 许芝也. 基于 Arduino 和 STM32 的主动式手部训练系统[J]. *电子测量技术*, 2023, 46(3): 114-120.
- DONG Q H, ZHANG X Z, XU ZH Y. Active hand training system based on Arduino and STM32 [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2023, 46(3): 114-120.
- [15] 韩亚丽, 韩子瑒, 金壮壮, 等. 一种主动型踝关节助力外骨骼设计及性能实验[J]. *仪器仪表学报*, 2023, 44(11): 109-118.
- HAN Y L, HAN Z Y, JIN ZH ZH, et al. Design and performance experiments of an active ankle-assisted exoskeleton [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2023, 44(11): 109-118.
- [16] 苏飞. 调频广播模块化智能语音报警器的设计与实现[J]. *电视技术*, 2022, 46(12): 22-24, 45.
- SU F. Design and implementation of modularized voice alarm for FM broadcasting [J]. *Video Engineering*, 2022, 46(12): 22-24, 45.

作者简介

夏利娜, 硕士, 工程师, 主要研究方向为气象服务与应用。

E-mail: xialinaa@foxmail.com

郑俊锦(通信作者), 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为气象电子、嵌入式软硬件开发。

E-mail: zhengjunjin@foxmail.com