

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2024.02.006

# 基于NB-IoT的大田农业环境远程监测系统设计

徐振峰, 霍冬冬, 邵芸艳, 孙 强

(合肥大学先进制造工程学院, 安徽 合肥 230601)

**摘要:** 实时全面地监测田间农业环境信息, 可以帮助农民及时了解田间作物生长环境和肥力, 为农田灌溉、作物生长建模和病虫害预测提供有价值的信息。为了满足农业环境监测的实际要求, 根据国家标准和地方标准等规定的环境参数监测指标的要求, 开发了基于窄带物联网(NB-IoT)的田间农业多个环境参数实时监测系统。该系统能够实时监测空气温度、相对湿度、CO<sub>2</sub>浓度、照度、土壤湿度、土壤温度、pH值和电导率(EC)8个关键环境参数; 传感器节点被部署到农田现场以实时监测环境数据, 并以无线方式通过NB-IoT基站把数据传输到OneNET云平台; 种植户可以通过手机或电脑访问云平台, 获取田间农业的相关环境数据。实验结果表明, 该系统能够实现对农田环境参数的准确实时采集及远程传输, 能够满足实际农田农业环境的实时监测要求, 可以显著提高我国农田环境感知的自动化水平和生产效率。

**关键词:** 窄带物联网(NB-IoT); 实时监控; 田间农业环境; 环境参数; 无线通信

**中图分类号:** S126; TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2024)02-0041-08

## Design of NB-IoT-Based Remote Environmental Monitoring System for Agricultural Fields

XU Zhenfeng, HUO Dongdong, SHAO Yunyan, SUN Qiang

(School of Advanced Manufacturing Engineering, Hefei University, Hefei 230601, Anhui, China)

**Abstract:** Real-time and comprehensive monitoring of environmental information in agricultural fields can help farmers keep abreast of the field crop growth environment and fertility, and provide valuable information for farmland irrigation, crop growth modeling, and pest and disease prediction. In order to meet the actual requirements of agricultural environmental monitoring, a real-time monitoring system for multiple environmental parameters in agricultural fields based on narrow band internet of things (NB-IoT) has been developed according to the requirements of environmental parameter monitoring indexes stipulated in national standards and local standards and so on. Eight key environmental parameters such as air temperature, relative humidity, CO<sub>2</sub> concentration, illuminance, soil humidity, soil temperature, pH and electric conductivity (EC) are monitored in real time. The sensor nodes are deployed in the farmland field to monitor environmental data in real-time, and wirelessly transmit the data to the OneNET cloud platform via NB-IoT base stations. Growers can access the cloud platform via cell phones or computers to obtain relevant environmental data for agricultural fields. The experimental results show that the system can realize accurate acquisition and remote transmission of environmental parameters, and can meet the real-time monitoring requirements of the actual agricultural field environment. The system, if widely popularized, can significantly improve the environmental monitoring for agricultural fields and the agri-

收稿日期: 2023-11-30

基金项目: 安徽省作物智慧种植与加工技术工程研究中心开放课题(ZHKF06); 安徽省质量工程项目(2020xsxxkc387)。

作者简介: 徐振峰(1981—), 男, 山东菏泽人, 讲师, 硕士生导师, 博士, 研究方向: 农业信息智能感知技术, e-mail: xuzhf@hfuu.edu.cn。

cultural production efficiency.

**Keywords:** narrow band internet of things (NB-IoT); real-time monitoring; agricultural fields; environmental parameters; wireless communication

### 0 引言

农业生产在我国的国民经济中具有举足轻重的位置<sup>[1]</sup>。但是,我国农业现代化建设相对滞后。在许多农村地区,农民仍然依靠原始的人工检查方式来了解作物的生长环境和状态,这是一种非常落后的农田信息获取方式,费时费力,无法适应当前现代农业发展的迫切需要<sup>[2]</sup>。实现农业环境的自动监测对于促进农业现代化进程和提升农业环境智能感知水平具有重要意义。

物联网的快速发展为农业发展带来了新机遇。从目前的研究状况来看,物联网技术主要应用于设施农业环境监测领域,其中绝大多数研究是应用于农业温室环境监测<sup>[3-5]</sup>,也有少数研究是应用于猪舍环境监测<sup>[6]</sup>、兔舍环境监测<sup>[7]</sup>、养殖池塘的水质监测<sup>[8]</sup>、水培莴苣营养液的水质监测<sup>[9]</sup>等。所监测的环境参数因应用场景不同而有所不同。对于农业温室环境监测的应用研究,主要是监测其室内的空气温湿度、CO<sub>2</sub>浓度、照度、土壤信息等。与设施农业环境监测相比,物联网技术应用于大田农业环境

监测的研究相对较少。其原因主要是由于物联网系统所使用的无线通信技术大多是短距离无线通信技术,无法满足大田环境监测的远距离需求。近几年,窄带物联网(narrow band internet of things, NB-IoT)的兴起可以为农田环境监测提供长距离无线通信技术。与卫星遥感技术用于大田农业环境监测<sup>[10]</sup>相比,基于物联网技术的农田环境监测可以提供较高的检测精度,因此有望与卫星遥感技术形成优势互补,更为有效地实现大田农业环境监测。本文开发了一种基于NB-IoT的大田农业环境实时监测系统。在设计过程中,考虑了农业物联网领域国家标准和地方标准要求的技术指标,并以此为基础选择了相关的农田环境参数传感器元件,使所设计的系统更能满足实际应用需求。

### 1 基于NB-IoT的大田农业环境监测系统架构

基于NB-IoT的大田农业环境监测系统的架构包括3个层次,即感知层、传输层和应用层,如图1所示。

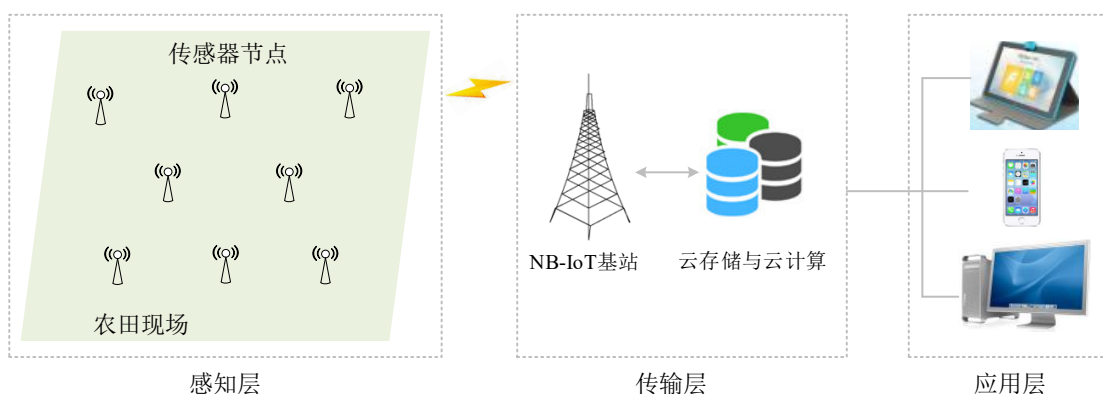


图1 基于NB-IoT的大田农业环境监测系统的架构

#### 1.1 感知层

在农田现场部署若干个无线传感器节点,构成系统的感知层。每个传感器可以实时感知大田农

业现场的环境参数信息。尽管不同作物对不同环境参数的要求有所不同,但是对于绝大多数作物来说,空气温度、相对湿度、照度、土壤温度、湿度等都

是重要的环境参数,因此这些参数应该是感知层要实时监测的。除此之外,土壤的酸碱度(pH)和电导率(EC)也是重要的环境参数,有效获取土壤的酸碱度和电导率值可以为现代精细农业的普及推广打下基础。

### 1.2 传输层

由于NB-IoT具有足够长的通信距离,因此感知层中的每个传感器节点均可以把所监测到的农田环境信息通过无线网络发送至传输层中NB-IoT基站。NB-IoT基站的覆盖半径约为10 km,覆盖面积大约是传统4G宏基站的25倍,可以有效实现大面积农田的覆盖,甚至山区农田的覆盖。在传输层中,很多云平台可以实现数据的存储与计算,例如阿里云、OneNET等。在这些平台上可以设置NB-IoT设备的接入,从而实现数据上传至云平台。

### 1.3 应用层

在云端的开发界面中,可以实现应用层中的用户连接。应用层所使用的硬件均为成熟硬件,例如电脑、平板电脑、手机等,不需要额外开发。所需要完成的工作就是相关的软件设计。用户可以通过手机、平板电脑或电脑访问云平台,随时随地获取农业环境数据。

## 2 基于NB-IoT的大田农业环境监测系统实现

### 2.1 感知层设计与实现

#### 2.1.1 硬件电路设计

在感知层中,无线传感器节点是由环境参数传感元件、微控制器和NB-IoT模块组成的。因此,首先需要选择合适的器件。从面向应用的角度,所选择的器件应当遵守相关的国家标准、地方标准、行业标准等,因为这些标准对主要环境参数的监测范围、测量精度等有明确的规定,这是选择相关传感器元件的重要依据。GB/T 20524—2018《农林小气候观测仪》<sup>[11]</sup>给出了空气温度、相对湿度、土壤温

度、土壤水分检测技术指标,但是没有给出关于土壤pH值和EC值的指标,故参考泰州市最新制定的地方标准DB3212/T 2024—2021《设施种植物联网建设技术规范》<sup>[12]</sup>所给出的相关参数。光是作物进行光合作用的一个必要条件,因此增加了测量照度的传感器。尽管大田环境中的CO<sub>2</sub>气体浓度通常不会剧烈变化,但考虑到CO<sub>2</sub>气体对作物的光合作用有至关重要的影响,因此也增加了CO<sub>2</sub>气体传感器。照度和CO<sub>2</sub>的检测指标也参考文献[12]中所给出的技术指标。环境参数监测技术指标如表1所示。

表1 环境参数监测技术指标

环境参数	测量范围	测量精度
空气温度	-20 ~ 50 °C	±0.2 °C
相对湿度	10% ~ 100%	±4%
照度	0 ~ 200 klx	±5%
CO <sub>2</sub> 浓度	0 ~ 9 690 mg/m <sup>3</sup>	±2%
土壤温度	-20° ~ 80 °C	±0.2 °C
土壤湿度	0% ~ 100%	±5%
pH值	3 ~ 9	±0.3
EC值	0 ~ 5 000 μS/cm	±5%

#### 1) 温湿度传感器。

考虑到相关标准中所要求的上述技术指标,选择了适当的传感器元件。在比较了几种典型的温湿度传感器元件之后,选择了SHT35型号的数字式温湿度传感器元件。它的温度和湿度测量范围分别为-40 ~ 90°C和0 ~ 100%,测量精度分别为±0.2°C和±1.5%<sup>[13]</sup>,可以满足表2规定的测量要求。温湿度传感器SHT35采用标准的I<sup>2</sup>C接口,与微控制器连接非常方便。在本设计中,温湿度传感器与STM32单片机的第1个I<sup>2</sup>C接口相连接。

#### 2) 照度传感器。

常见的照度传感器型号有BH1750、TSL2561、B-LUX-V30B等。结合表2中所给的测量指标要求,选择了B-LUX-V30B型号的照度传感器<sup>[14]</sup>,其测量范围和测量精度分别为0 ~ 200 klx和0.4%,该

照度传感器也采用标准的 I<sup>2</sup>C 接口。然而,在电路设计时,照度传感器连接了单片机的普通 I/O 管脚 PB8 和 PB9,而非它的第 2 个标准 I<sup>2</sup>C 接口。这样做的目的是预留一个 I<sup>2</sup>C 接口,方便以后扩展其他传感器元件等。

### 3) 土壤传感器。

选择了符合表 2 所给技术指标的土壤传感器,型号为 RS-ECTHPH-N01-TR-1<sup>[15]</sup>。该传感器可以测量土壤温湿度、pH 值和 EC 值。传感器直接输出数字信号,采用 RS485 接口进行信号传输。选择了 SP3485 接口芯片,它可以实现 UART 接口信号与 RS485 信号的转换。由此,通过 SP3485 接口芯片,实现了土壤传感器与 STM32 单片机之间的数据通信。具体所使用的接口是其第 2 个 UART 接口。

### 4) CO<sub>2</sub> 传感器。

对于 CO<sub>2</sub> 气体浓度的检测,选择了型号为 JX\_CO2\_102 的红外光电传感器,它采用 UART 接口进行通信<sup>[16]</sup>。该传感器可以通过 UART 接口而直接与 STM32 单片机进行通信。在本设计中,使用了 STM32 的第 3 个 UART 接口。

### 5) 微控制器。

选择了 STM32 型号的单片机,这是一款功能强大、价格低廉的微控制器,应用十分广泛。选择了 BC35G 型号的 NB 模块。它是一款高性能、低功耗的多频段无线通信模块,因其极高的性价比,被广泛应用于物联网领域。为了方便开发传感器节点,选用了一款集 STM32 单片机和 BC35G NB 模块于一体的简易 NB-IoT 开发板。

### 6) 传感器节点硬件电路。

根据上述所选择的器件,设计传感器节点的硬件电路。传感器节点的整体结构如图 2 所示。

为了满足工程应用,把硬件电路系统固定在一个防水盒中(图 3(a))。根据照度传感器的直径大小,在盒子顶部中心开了对应的圆孔。为了保证监测的实时性,在盒子底部中央开了 2 个孔(图 3(b)),

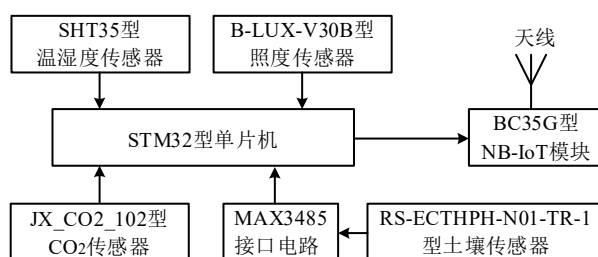


图 2 传感器节点的整体结构图

以便把温湿度传感器和 CO<sub>2</sub> 传感器放在盒子外面。使用 PG 型防水接头以固定这 2 个传感器。为了消除太阳辐射对温湿度测量准确性的影响,把温湿度传感器放在了防辐射罩内。由于防辐射罩也能起到防尘的作用,所以也把 CO<sub>2</sub> 传感器放在了防辐射罩内。为了保障传感器节点能够持续在农业大田中工作,选择了一款单晶硅光伏板的太阳能供电系统,其输出电压为 5 V,内置 40 AH 的锂电池,大小为 53 cm×35 cm。该太阳能光伏板为单晶硅板,具有耐老化、光电转换效率高等优点。完整的传感器节点实物如图 3(c)所示。

### 2.1.2 传感器节点软件开发

由于大田农业环境参数变化缓慢,因此设置采样频率为 1 h,即每小时采集一次数据。由于电源受到控制,土壤传感器和 CO<sub>2</sub> 传感器在绝大部分时间内是不工作的,当需要读取它们感知的数据时,才给它们供电。当开始工作时,土壤传感器需要经过一段时间才能稳定,CO<sub>2</sub> 传感器也需要一段时间来预热,但都不超过 5 min。所以,在每个采样周期内,设置 2 个传感器元件的工作过程均持续 5 min,而在其余 55 min,它们是不工作的。尽管 NB 模块发送数据时的工作电流高达 250 mA,但是每次发送的数据量是非常小的,因此几秒钟足以完成一次数据发送任务。当发送完毕后,BC35G 模块就进入省电模式,在此模式下的最大能耗不超过 5 μA。因此,在 1 h 的周期内,BC35G 的能耗是很小的。在满电量的情况下,太阳能板中内置的锂电池足以让传感器节点连续工作一个月左右的时间,这可以保障传感器节点在一般天气情况下的正常工作。



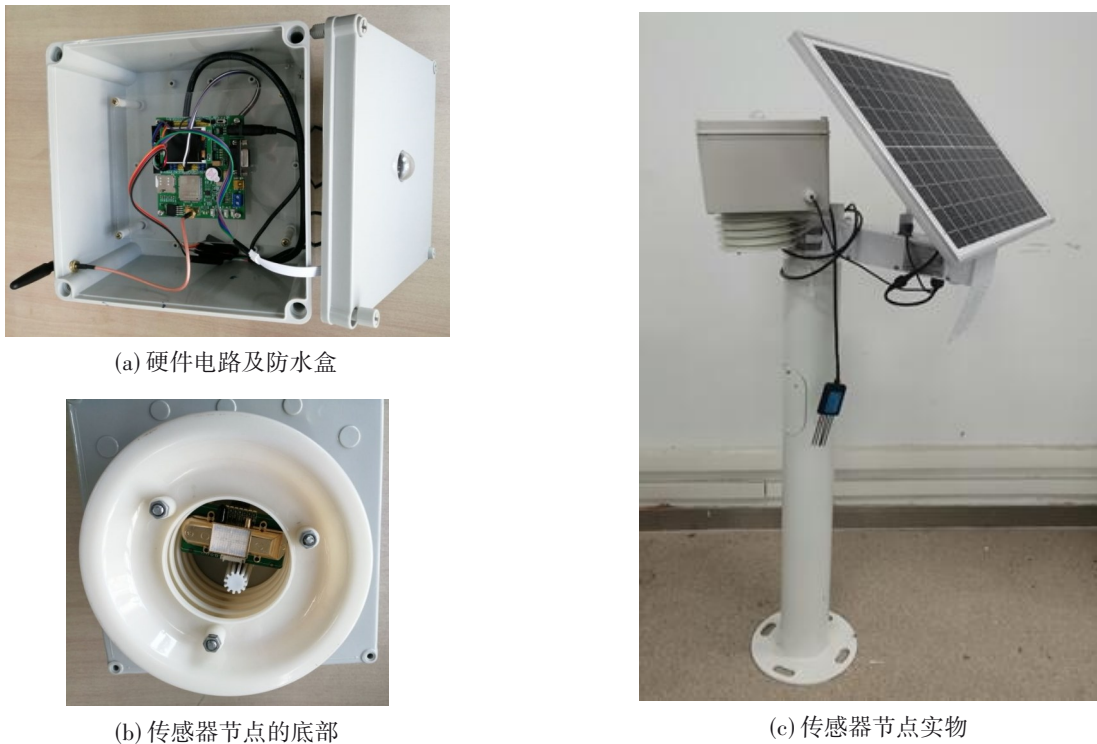


图3 所设计的传感器节点

传感器节点的程序是在 Keil 开发环境中完成的。传感器节点的主要任务是完成各个传感器元件监测数据的读取、处理以及无线发送等功能。传感器节点的主程序流程如图 4 所示。

系统上电之后, 首先进行系统初始化, 主要是

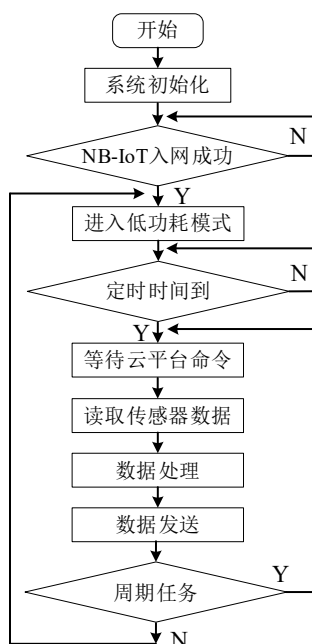


图4 传感器节点的主程序

完成单片机的 I/O 口和定时器等初始化、各种传感器元件的初始化以及 NB 模块的初始化等。接下来, 传感器节点通过其 NB 模块尝试接入 NB 服务器。若没有接入, 则要先接入。接入成功后, 依次读取各个传感器元件的测量数据。然后根据各传感器说明书中的校正公式, 计算出相关环境参数的测量值。从温湿度传感器中读取 2 个字节的温度数据和 2 个字节的湿度数据, 相应的计算公式分别如式(1)和式(2)所示。

$$T = -45 + 175 \times \frac{S_T}{2^{16} - 1} \quad (1)$$

$$H = 100 \times \frac{S_{RH}}{2^{16} - 1} \quad (2)$$

式(1)~(2)中:  $T$  表示温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $S_T$  为从传感器读取的 2 个字节的湿度数据;  $H$  表示相对湿度,  $\%$ ;  $S_{RH}$  为从传感器读取的 2 个字节的湿度数据。

从照度传感器中读取 4 字节的照度数据。由于透明外壳对光线有一定衰减, 采集的数据需要做校正, 厂家所给的校正系数是 1.4。由于 32 位的光照数据包含 3 位小数, 因此实际光照需要除以

1 000,其计算公式如(3)式所示。

$$L = (V_{\text{Light\_data}} / 1\ 000) \times 1.4 \quad (3)$$

式中: $L$ 表示照度, lx;  $V_{\text{Light\_data}}$ 表示从传感器中读取出的4字节照度数据。

从CO<sub>2</sub>气体传感器中读取4个字节的ASCII码值。只要把该ASCII码值转变为对应个位、十位、百位、千位上的数值,即可获得CO<sub>2</sub>气体浓度值。从土壤传感器中所读取出的土壤温度数据、湿度数据、EC值数据和pH值的数值均为2个字节的十六进制数据。把它们换算为十进制数,即可得到对应的土壤信息测量值。最后,将相关环境参数的数值信息以无线方式发送至NB基站和云端。

### 2.2 传输层设计与实现

采用了由中国移动打造的PaaS物联网开放平台OneNET。该平台能够帮助开发者轻松实现设备接入与设备连接,快速完成产品开发部署,为智能硬件、智能农业提供完善的物联网解决方案。传输层的设计与实现与感知层不同,不需要采用C语言编程,而是通过一些模块调用与加入等方式来实现。

在OneNET的网站上完成注册和登录之后,进入开发者中心的界面,然后可以添加产品。在本系统中的产品就是待检测的环境参数。当感知层的传感器节点正常向云端发送数据时,通过传感器节点的NB卡信息,可以在云平台端搜索到该传感器

节点,由此实现感知层中的传感器节点与传输层中的云平台之间的连接。每一个环境参数均可以采用仪表盘或曲线等形式进行显示。如果环境参数较多,可以采用列表的形式进行显示。

### 2.3 应用层设计与实现

在实现可视化之前,需要确保所创建产品的数据可以正常上传至云端。实际上,2.1和2.2已经实现了环境数据监测和上传至云端的功能。在OneNET网站上选择全部产品,并进一步选择增值服务栏中的数据可视化,由此可以逐步实现数据可视化的操作。

## 3 实验测试及结果

在合肥大学校园草坪上对所开发的环境物联网监测系统的性能进行了测试。将传感器节点固定在草坪上,并把土壤传感器插入到土壤中。设置传感器节点周期性采集环境参数数据,采样周期为1h。传感器节点依次从4个传感器元件中读取8个环境参数的监测数据,然后通过NB-IoT基站发送到云平台OneNET。用户使用手机和电脑即可查看相关环境数据,从电脑端访问云平台,农田环境参数的实时监测数据显示界面如图5所示。在手机端的数据显示界面如图6所示。图7展示了2023年3月12—14日连续3天的温度监测数据。

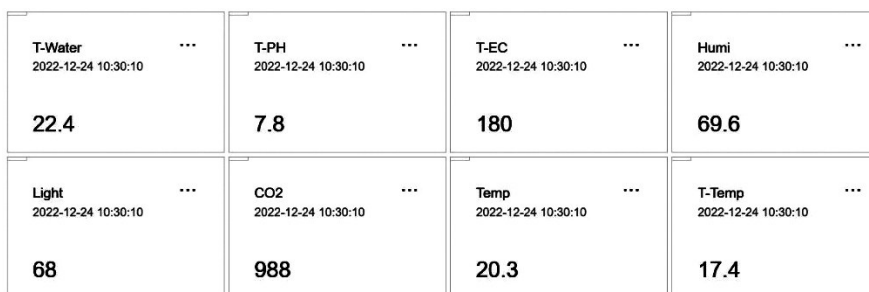


图5 农田环境参数在电脑端的显示

用户可以在任何联网终端设备上,如电脑、手机等,随时随地了解农田相关环境参数的信息。在所设计的传感器节点上,预留了微控制器的一些I/O

接口,目的是方便以后增加其他的传感器元件等。所以,更换传感器元件,即可实现不同环境参数的监测,以满足不同农田环境监测需求。

传感器 <span style="color: red;">在线</span>	
设备ID: 1030399840	
T-Water	22.8 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
T-PH	7.4 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
T-EC	179 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
Humi	69.6 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
Light	202.6 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
CO <sub>2</sub>	773 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
Temp	20.8 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	
T-Temp	17.8 >
更新时间: 2022-12-24 10:37	

图 6 农田环境参数在手机端的显示

## 4 结束语

根据相关国家标准和地方标准中所规定的环境参数检测指标要求, 选择了传感器元件, 建立了

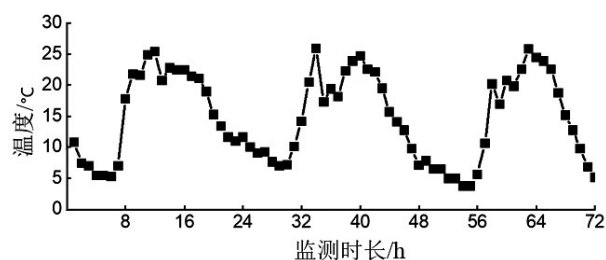


图 7 连续 3 天的温度监测数据

基于 NB-IoT 技术的田间农业环境物联网监测系统。该系统实现了空气温度、相对湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、照度、土壤湿度、土壤温度、pH 值和电导率 8 个重要农田环境参数的实时稳定监测。在传感器节点上更换或增加其他类型的传感器元件, 可以实现不同环境参数的实时监测与远程无线传输。该系统可以让用户随时随地通过手机等终端了解农田环境的信息, 以便及时灌溉和施肥等。该系统可以显著提高我国农田环境感知的自动化水平, 这对于提高农业生产效率和农产品质量等具有重要意义。在此基础上, 开展农作物病虫害识别与预警将是下一步的工作。

### 参考文献:

- [1] YU B. Ecological effects of new-type urbanization in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 135:110239.
- [2] HAN H, LIN H. Patterns of agricultural diversification in China and its policy implications for agricultural modernization[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(9):4978.
- [3] LIANG M H, HE Y F, CHEN L J, et al. Greenhouse Environment dynamic Monitoring system based on WiFi[C] // International Federation of Automatic Control, September 1-5, 2018, Florianopolis, Brazil. IFAC-Papers online, 2018, 51(17): 736-740.
- [4] WANG Z. Greenhouse data acquisition system based on ZigBee wireless sensor network to promote the development of agricultural economy[J]. Environmental Technology & Innovation, 2021, 24:101689.
- [5] XU Z, YANG J, ZHOU H, et al. A wireless remote monitoring sensor for agricultural environment based on NB-IoT[J]. INMATEH-Agricultural Engineering, 2023, 69(1):285-294.
- [6] MAHFUZ S, MUN H S, DILAWAR M A, et al. Applications of smart technology as a sustainable strategy in modern swine farming[J]. Sustainability, 2022, 14(5):2607.
- [7] 秦英栋, 贾文坤. 基于 NB-IoT 网络的免舍环境实时监测系统[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(1):155-165.
- [8] 张启元, 张烈山, 兰益成, 等. 基于 NB-IoT 的养殖塘水质监测无人艇系统研究[J]. 电子测量技术, 2021, 44(7):170-178.
- [9] 张净, 姚森耀, 刘晓梅. 基于 NB-IoT 的水培智能监控系统设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(5):175-181.
- [10] SISHODIA R P, RAY R L, SINGH S K. Applications of remote sensing in precision agriculture: a review[J]. Remote Sensing, 2020, 12(19):3136.

- [11] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.农林小气候观测仪:GB/T 20524—2018[S].北京:中国标准出版社,2018:12.
- [12] 泰州市市场监督管理局.设施种植物联网建设规范:DB3212/T 2024—2021[S/OL].2021;6[2023-09-10].[http://scjgj.tai-zhou.gov.cn/cms\\_files/filemanager/1038028795/attach/20237/08c925ef89224085b8c6e6909dea517f.pdf](http://scjgj.tai-zhou.gov.cn/cms_files/filemanager/1038028795/attach/20237/08c925ef89224085b8c6e6909dea517f.pdf).
- [13] 温湿度传感器 SHT3x 数据手册[EB/OL].(2016-08-10)[2023-09-28].[https://www.findic.com/doc/browser/JzMay88Vz?doc\\_id=84067209#locale=zh-CN](https://www.findic.com/doc/browser/JzMay88Vz?doc_id=84067209#locale=zh-CN).
- [14] B-LUX-V30 环境光传感器说明书[EB/OL].(2015-10-12)[2023-09-15].[https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.5b7c2e8dJaQhSh&id=616892137767&\\_u=53fmhdrac59](https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.5b7c2e8dJaQhSh&id=616892137767&_u=53fmhdrac59).
- [15] 五插针土壤变送器使用说明书[EB/OL].(2021-12-30)[2023-10-15].[http://chhjjc.com/list\\_78/189.html](http://chhjjc.com/list_78/189.html).
- [16] 红外 CO<sub>2</sub> 气体传感器说明书[EB/OL].(2020-11-07)[2023-09-18].<http://www.sensortiot.com/product1/274.html>.

.....

(上接第 40 页)

- [3] HUNT J D. Image as a factor in tourism development[J]. Journal of Travel Research, 1975, 13(3): 1-7.
- [4] 云南省地方志编纂委员会.云南省志[M].昆明:云南人民出版社,2020:901.
- [5] 彭丹,黄燕婷.丽江古城旅游地意象研究:基于网络文本的内容分析[J].旅游学刊,2019,34(9):80-89.
- [6] 张媛.政府新闻发言人的形象呈现与公众认知——基于隐喻抽取技术(ZMET)的实证研究[J].宁波广播电视大学学报,2014,12(4):62-66.
- [7] 黄琴.应用隐喻抽取技术(ZMET)分析乔布斯形象[J].东南传播,2015(7):51-55.
- [8] GUTMAN J. A means-end chain model based on consumer categorization processes[J].The Journal of Marketing, 1982, 46(2): 60-72.
- [9] COULTER R A, ZALTMAN G, COULTER K S. Interpreting consumer perceptions of advertising: an application of the Zaltman metaphor elicitation technique[J]. Journal of Advertising, 2001, 30(4): 4-9.
- [10] 王丹.休闲旅游型传统村落情感化设计研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [11] 高圆媛,曹连众,高寰宇.基于隐喻抽取技术的大众参与滑雪运动共识地图研究[J].沈阳体育学院学报,2023,42(6): 123-129.
- [12] 孔令怡,吴江,魏玲玲,等.旅游凝视下凤凰古城旅游典型意象元素分析——基于隐喻抽取技术(ZMET)[J].旅游学刊,2018,33(1):42-52.
- [13] 林轶,冯聪慧,屠靖斌.感官视角下旅游目的地品牌联想测评——以桂林市为例[J].资源开发与市场,2023,39(10): 1257-1263.
- [14] 李萌,陈钢华,胡宪洋,等.目的地浪漫属性的游客感知:量表开发与验证[J].旅游科学,2022,36(2):63-85.