

# 基于 LoRa 的预制菜冷藏设备物联网终端设计<sup>\*</sup>

高永霞<sup>1</sup> 孙运强<sup>1</sup> 姚爱琴<sup>1</sup> 赵文强<sup>2</sup> 张婉婷<sup>1</sup> 石喜玲<sup>2</sup>

(1. 中北大学信息与通信工程学院 太原 030051; 2. 中北大学电气与控制工程学院 太原 030051)

**摘要:**随着预制菜行业的快速发展,对其冷藏环境的远程监控与管理问题变的日益严峻。针对冷藏设备存在实时数据无法上传和配备人员值守成本高的问题,研究设计了一套基于 LoRa 技术的物联网监测终端,该系统的核心控制器采用 STM32F429 芯片,节点和网关数据传输设备采用 LoRa 传输模块,结合传感器采集冷藏设备的工作参数。利用 LoRa 模块构建星型自组网,以主机轮询方式将终端节点的数据传输至网关,经 4G 上传至云平台并可视化显示。实验测试了预制菜冷藏设备冷藏温湿度、环境温度以及压缩机工作电流;并测试了系统在复杂和空旷环境下的 LoRa 有效通信距离。结果表明,LoRa 在复杂环境下通信距离为 300 m,在空旷环境中能够达到 500 m,该系统表现稳定可靠,能够满足预制菜冷藏设备数据监控的需求。

**关键词:**预制菜冷藏;监测终端;STM32F429;LoRa 传输;自组网;数据采集

**中图分类号:** TN99 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

## Design of iot terminal for prefabricated vegetable refrigeration equipment based on LoRa

Gao Yongxia<sup>1</sup> Sun Yunqiang<sup>1</sup> Yao Aiqin<sup>1</sup> Zhao Wenqiang<sup>2</sup> Zhang Wanting<sup>1</sup> Shi Xiling<sup>2</sup>

(1. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. School of Electrical and Control Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** With the rapid development of the prepared dish industry, the problem of remote monitoring and management of its refrigerated environment has become increasingly serious. In view of the problems that real-time data cannot be uploaded and the cost of manning the refrigerated equipment is high, this study designed a set of Internet of Things monitoring terminal based on LoRa technology. The core controller of the system adopts STM32F429 chip, the node and gateway data transmission equipment adopts LoRa transmission module, and the sensor is combined to collect the working parameters of the refrigerated equipment. Using LoRa module to build a star AD hoc network, the data of the terminal node is transmitted to the gateway in the mode of host polling, uploaded to the cloud platform through 4G and displayed visually. The temperature and humidity of the refrigerated equipment, the ambient temperature and the working current of the compressor were tested. The effective communication distance of LoRa in complex and open environment is tested. The results show that the communication distance of LoRa in complex environment is 300 m, in open environment can reach 500 m, the system performance is stable and reliable, and can meet the needs of data monitoring of prefabricated vegetable refrigeration equipment.

**Keywords:** prefabricated vegetables refrigerated; monitoring terminal; STM32F429; LoRa transmission; AD Hoc network; data acquisition

## 0 引言

随着人们生活水平提高和工作学习压力增加,促使预制菜行业迅速发展,急需保鲜技术减缓食物腐败<sup>[1]</sup>。近年

来食品安全监管趋严,严禁添加防腐剂而且限制食品添加剂,推动企业探索冷链配送等保鲜技术<sup>[2]</sup>。预包装冷藏膳食需在全程冷链中严格控温。热加工后,应在 2 h 内将中心温度降至 10 °C 以下,后续包装、存储、运输和销售过程

收稿日期:2024-06-28

<sup>\*</sup> 基金项目:山西省基础研究计划(20210302123062)项目资助

中的温度保持在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。随着企业的生产规模逐渐扩大,为了便于管理和操作,需要对预制菜冷藏进行全方位的实时监控<sup>[3]</sup>。目前,智慧冷链在医药<sup>[4]</sup>和农产品<sup>[5]</sup>等方面的应用已经实现了自动采集、实时上报,而且可以通过中控大屏和手机 App 实现人机交互,并且根据海量的数据构建评估模型,为设备的维护和校准提供参考。但是智慧冷链在预制菜行业的应用还很少见,很多线下门店设备独立运行并不相连,信息孤岛现象严重,实时数据无法上传至监控中心,如果配备人员进行值守,则大大提高了人工成本。

传统冷藏柜温控器通过 RS485 与中控室通信,但是存在布线复杂,检测时间间隔过长导致无法及时预警、控制指令传达不畅、无法跳跃故障设备通信等问题<sup>[6]</sup>。采用 ZigBee 可以替代原本的有线连接,但是传输距离短,穿透能力较差<sup>[7-8]</sup>。一旦中控室与冷藏柜距离过大,数据传输的可靠性将大幅降低。文献<sup>[9]</sup>利用 NB-LoT 构建的冷链系统具有低功耗、覆盖范围广的特点,但是运营商会收取费用。

本文设计了一种基于远距离无线电技术(long range radio, LoRa)的预制菜冷藏设备物联网终端系统,实现各设备之间数据整合来统一进行实时监控和远程操作,以实现实时无人值守。

## 1 系统构架

近年来,LoRa 作为一种低功耗、远距离(实测空旷无遮挡条件下可达 5 km)、成本低的物联网数据传输技术流行起来<sup>[10]</sup>,它具有很强的绕射和穿透能力,因此可以满足各种实际需求,被广泛应用于农业、医疗、智能家居等领域<sup>[11]</sup>。

无线通信应用于冷藏设备最大的问题是信号在建筑物间的穿透力,LoRa 与其他技术相比(表 1)能更好的解决这个问题。

表 1 LoRa 与其他无线通信比较

Table 1 Comparison between LoRa and other wireless communications

类型	WiFi	Zigbee	LoRa
传输距离	100 m	10~100 m	5 km
穿透能力	较弱	较强	超强
成本	很高	较高	较低

基于 LoRa 技术的预制菜冷藏设备监测系统由节点、网关、手机应用客户端 PC 监控中心和云服务器组成。节点采集设备数据,网关作为沟通节点和云端的桥梁,云接收的数据存储在云服务器中,可以供用户实时监控和随时访问。出现异常情况由小程序通知用户。

冷链设备是通过循环制冷剂来实现制冷,工作原理如图 1 所示,传感器节点通过监测各部件的电压或电流对设备的运行状况实时跟踪<sup>[12]</sup>。

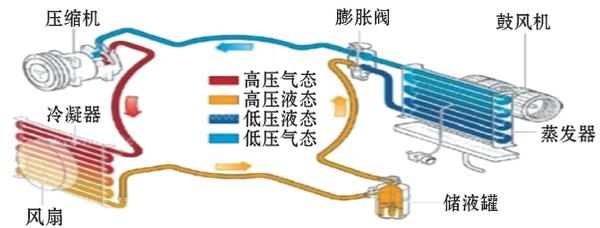


图 1 制冷原理

Fig. 1 Schematic diagram of refrigeration

网关用于接收来自传感器节点的数据,并通过支持 MQTT 协议的 4 G 模块将其发送到中心服务器。服务器将接收到的数据存入数据库中,进行故障分析和处理,并将处理结果以指令下发给节点<sup>[13]</sup>。若设备温度超过设定的温度阈值节点启动制冷模块。若设备结霜过厚,节点将结霜程度上报给云端,云端决策后下达除霜指令,节点启动化霜程序<sup>[14]</sup>。若是设备门处于打开状态,则通过报警方式通知用户对应节点处的门开,用户可采取相应措施。整体结构如图 2 所示。

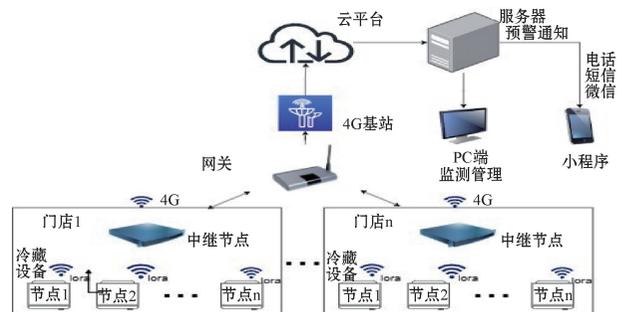


图 2 整体结构

Fig. 2 Overall structure diagram

## 2 硬件设计

### 2.1 节点硬件设计

节点要完成的工作有采集数据显示并上报,事件预警,接收网关指令并对设备进行控制。

主控 MCU 采用 STM32F429, LoRa 模块采用泽耀科技 A39C-T400A22D1a, 选用数字式温湿度传感器 SHT21 采集设备内部温湿度, 选用 MF52103F3950 NTC 温度传感器采集环境温度, 选用 HSTS08L 霍尔电流传感器采集设备压缩机等电机电流数据。选用控制器件 MOS 管, 以及风扇、散热片和半导体制冷器(TEC)组成制冷设备温控模块。设备内部温湿度数据经 I<sup>2</sup>C 接口传输到 MCU; MCU 通过 ADC 读取 NTC 温度传感器采集的环境温度信息; 电流传感器将电流量转化为电压量, 经主控对电压模拟量进行 AD 转换。出现异常状况时, 主控控制蜂鸣器报警, 并通过 LoRa 上传当前设备由异常情况。节点硬件设计及功能说明如图 3 所示。

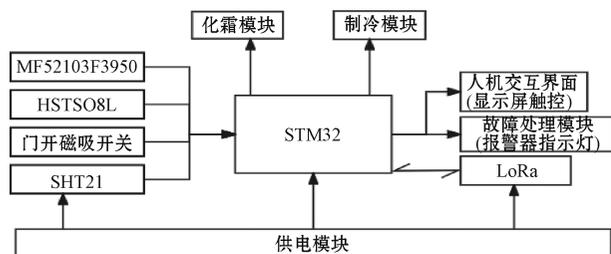


图3 节点硬件结构

Fig. 3 Hardware structure of nodes

## 2.2 网关硬件设计

网关的功能是汇集系统内所有节点采集的数据，上传云服务器，并接收云发布的控制指令。网关硬件主要由主控 STM32F429、4G 无线传输模块、LoRa 模块、存储模块外插 SD 卡、显示模块和报警模块构成。其中 4G 模块是连接网关和云平台的桥梁；由于网关需要汇集处理、存储来自所有节点的数据，所以外插 SD 卡以扩大存储容量。主控外接 RGB 屏显示实时上传的节点数据。网关硬件设计如图 4 所示。

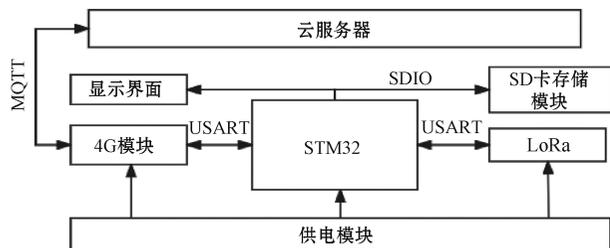


图4 网关硬件结构

Fig. 4 Gateway hardware structure diagram

## 3 软件设计

### 3.1 节点入网

在组网之前需要对节点进行身份标识和分组。系统采用 MAC 地址作为区分节点的唯一标识，然后将节点分组，并为每一组节点分配不同的 NetID 和通信频段，配置完成后，节点准备入网<sup>[15]</sup>。

节点信息被提前写入云，随后节点通过 LoRa 逐个向网关发起入网请求，网关接收请求后向服务器申请通信地址，服务器根据 MAC 地址决定设备是否入网，如果允许就为节点分配唯一通信地址，并由网关向节点下发同意入网帧<sup>[16]</sup>。地址为 2 个字节长度，在 0x00~0xFF 之间（不包括边界值）按顺序进行赋值（相当于组号地址）。节点将分配的地址写入寄存器，并回复网关入网成功。如果超过 10 次没有获取节点的开机地址，那么将重新配网。当网关接收到本组所有节点的回复后，网关会向云服务器回复所有节点入网成功的信息，节点、网关和云成功建立连接。

当有新节点加入网络时，网关接收其入网请求并查询

其初始地址，随后响应一个可入网的指令，然后网关会按照约定好的数据帧格式，依现存的节点地址编号的顺序给新入网节点重新分配一个地址，使节点能响应网关的轮询。此外，如果某节点长期无法采集数据，网关就会删除它对应的地址（即删除此节点），并告知服务器将节点置于离线状态，该节点将不再占用自组网中的资源<sup>[17]</sup>。

### 3.2 节点软件设计

经过传感器开机自检，主控读取传感器信息，并初始化 ADC 采集通道、显示屏、串口等外设，然后等待节点入网。本文设计了一种可靠的串口接收程序的方法，该程序能够接收不定长的数据，并通过特定的结束标志 (0D0A) 来确定数据接收是否成功。

节点设备入网后，节点将按照网关为其划分的固定的周期采样时间采集数据，并在收到网关的指令时立刻将节点数据发送至网关。设计节点与网关通信的数据帧格式如表 2 所示。

表 2 通信数据帧格式

Table 2 Format of communication data frame

命令信息	节点地址	数据
0x0A 网关—>节点	2 Byte	4 Byte
0x0B 节点—>网关		

其中命令信息表示信息传送方向，0x0A 表示节点接收网关指令，0x0B 表示节点数据上传。

在网关没有传来采集数据的指令时，节点设备实时监测设备状态，一旦温度过高或者结霜过厚影响冷柜内部其他器件正常运行，立刻上报网关有异常情况发生，等待网关的下发控制指令，节点随即启动库温电机制冷，或者按照模糊推理规则判断结霜程度进行除霜<sup>[12]</sup>。若是检测到冷柜开门的信息，节点也会上报网关，网关下发关门的语音指令由节点通知用户关门。用户还可以通过按键修改冷柜各个区域温度阈值的信息，修改好的信息将自动保存并上传给网关。

为实现节点低功耗，只需 LoRa 模块在完成数据收发任务以后进入睡眠状态即可。当节点需要与网关互相通信时，LoRa 进入唤醒状态。

节点突然断电后将不在网络中，如果要此节点重新登录，需要重新入网。此时，需要将节点设置成接收信息的状态，设置节点采集库温、设置参数、开关门、照明、除霜等事件状态。查看云上节点管理列表的变化，预计节点管理的该网关登录时间变化为最新登录时间<sup>[18]</sup>。节点程序流程如图 5 所示。

### 3.3 网关软件设计

网关作为节点与云之间的传话者要完成的工作有接收节点上传的信息和数据上传至云端，接收云端发布的命令并下达给节点。

网关主控使用 STM32 开发板，和云通过 4G 连接，和

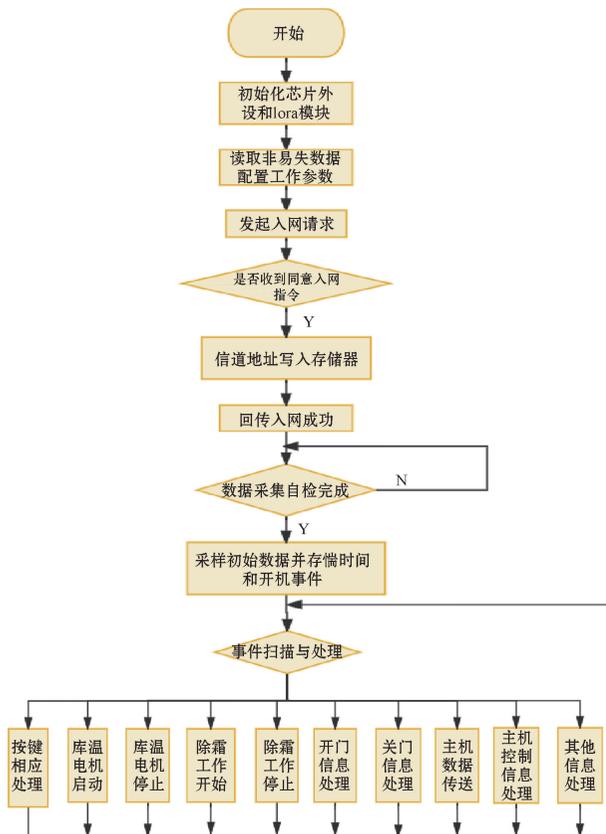


图5 节点流程  
Fig. 5 Node flow

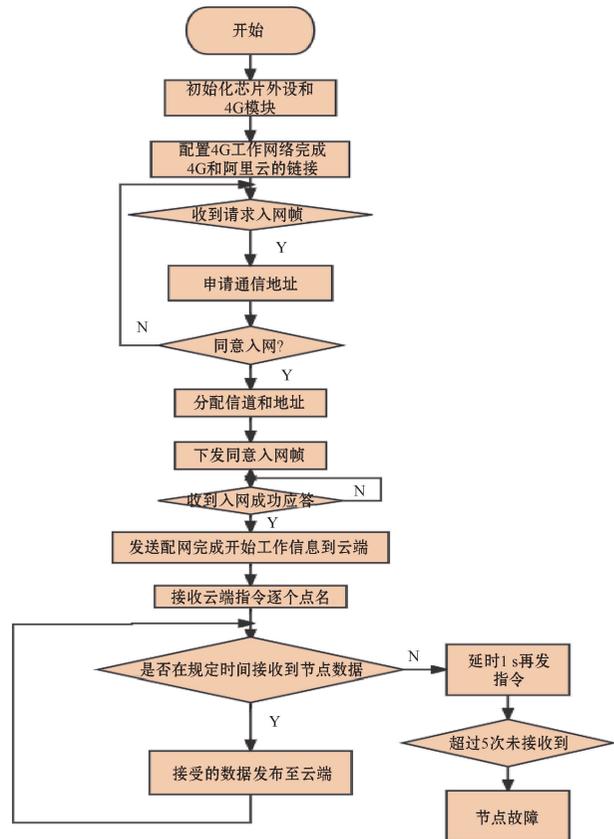


图6 网关流程  
Fig. 6 Gateway flow

节点通过 LoRa 通信。在 4G 和 LoRa 全部完善的情况下，网关接收云的指令逐个点名要求节点上传数据，众多节点数据在网关汇合被送至云端。面对突发温度异常、结霜过厚或者开门的事件，网关也会上报至云端，云经过决策下发相应的控制指令给网关，经网关再传给节点执行指令。

网关为每个节点分配固定的数据上传时间，规定时间到来时，网关向特定节点发送要求上传数据的指令，节点收到指令后整理内存中的数据并发送。假如网关在规定时间内未接收到某节点的数据，则延时 1 s 后再次发送指令，若连续 5 次未接收到此节点数据，在节点没有网络传输问题的情况下，认为对应节点传感器存在故障。网关接收的数据通过 MQTT 协议发布至阿里云服务器，此时可以实时查看节点数据信息，网关和节点在线或离线<sup>[19]</sup>。网关程序流程如图 6 所示。

#### 4 系统测试

物联网终端系统设计的关键<sup>[20]</sup>是网关获取 LoRa 节点采集的设备工作参数，再将这些数据与传感器采集的参数进行比较，从而判断 LoRa 无线传输系统的准确度。系统设计的网关板(图 7(a))和节点板(图 7(b))实物如图 7 所示，分别通过 RGB 屏显示经 LoRa 传输的数据和采集的数据。

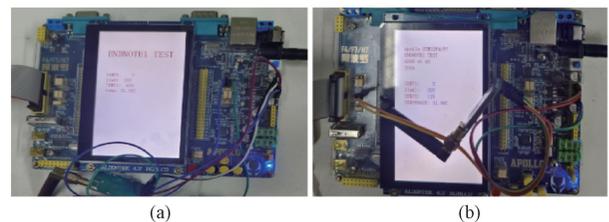


图7 系统硬件实物  
Fig. 7 Physical diagram of system hardware

#### 4.1 组网测试

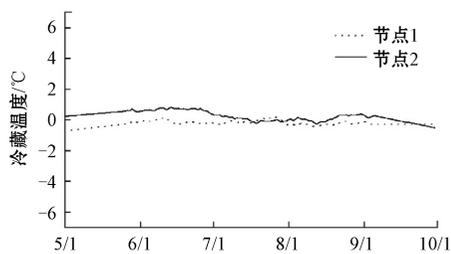
物联网终端由网关和节点按照星型结构组网，如图 8 所示。在 ABCD 布置了终端节点设备，网关设置在中北大学科学楼 B 座。在 4 个监控节点冷藏设备上安装传感器节点，区域内设置一个网关。

搭建终端采集系统测试平台和环境，对系统的功能和性能进行验证。测试平台由节点、网关以及上位机监控界面构成。测试平台的主要功能是网关采用轮询方式向节点发送数据采集命令，节点接收指令对冷藏设备内部温湿度、电机电流、周边环境温度进行采集上报。网关通过串口助手将汇集的节点 1 和节点 2 的数据打印在上位机上。利用搭建的系统，统计冷藏设备从 5 月 1 日~10 月 1 日的运行状况，经平滑处理后的数据如图 9 所示。

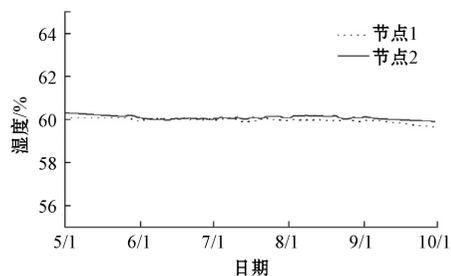


图8 网关与监测节点布置示意图

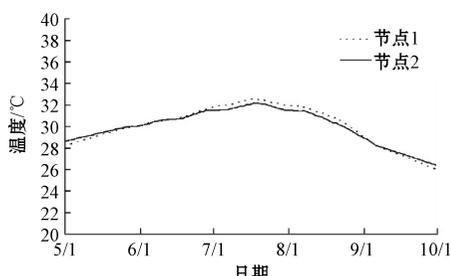
Fig. 8 Schematic diagram of gateway and monitoring node layout



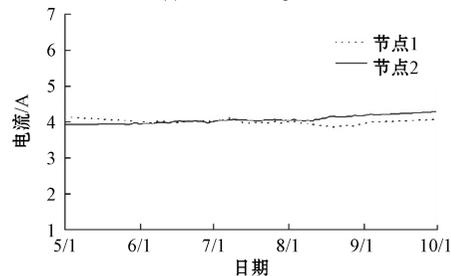
(a) 冷藏温度  
(a) Refrigeration temperature



(b) 冷藏湿度  
(b) Refrigeration humidity



(c) 环境温度  
(c) Ambient temperature



(d) 电流  
(d) Electric current

图9 冷藏设备运行状况

Fig. 9 Operation status of cold storage equipment

折线图直观显示了两个节点冷藏温度在 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 波动(图9(a));冷藏湿度在60%上下波动(图9(b));环境温度在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 月呈上升趋势,7月中旬到8月中旬在 $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,8月至10月温度呈下降趋势(图9(c));冷藏设备工作电流在 $3\sim 5\text{ A}$ (图9(d)),基本符合《冷藏、冷冻食品物流包装、标志、运输和储存》规定的冷藏食品的储存要求。

测试结果表明,该系统能够正常通信;冷藏温湿度和工作电流没有出现较大的波动,说明这段时间设备运行正常;所测的环境温度与5个月间冷藏设备所处环境温度变化大致相符;经自组网汇集的温度与冰箱实际温度之间的误差在SHT21传感器的误差允许范围内,说明该系统具有可靠性。

#### 4.2 通信距离测试

测试系统分别置于无遮挡无电磁干扰的空旷野外和树木茂密、人群密集的道路上。通信模块采用胶棒天线,网关固定在图7中北大学科学楼点(P),由测试者移动节点位置记录获取信号的信号强度(RSSI)。LoRa模块空中速率设置为 $4.8\text{ K}$ ,发射功率设置为 $22\text{ dBm}$ ,信道设置为23(载频 $433\text{ MHz}$ ),测试数据如表3所示。

表3 通信距离测试数据

Table 3 Communication distance test data

组数	距离/m	RSSI/dBm	
		复杂环境	空旷环境
1	60	-54	-64
2	70	-66	-66
3	80	-68	-68
4	90	-80	-82
5	100	-82	-82
6	200	-83	-87
7	300	-84	-88
8	400		-87
9	500		-87

测试结果表明,随着通信距离增加,RSSI衰减趋势明显。LoRa在复杂环境下最大有效距离为 $300\text{ m}$ ,超过 $350\text{ m}$ ,丢包情况严重,通信响应消失;在空旷环境下最大有效距离为 $500\text{ m}$ ,超过 $550\text{ m}$ ,系统将不能通信。

#### 5 结论

本文设计了一种基于LoRa的预制菜冷藏设备物联网终端。针对预制菜冷藏设备需要穿透建筑物实现大范围组网的问题,给出基于LoRa的组网方式,并对多节点冷藏设备数据的传输进行深入研究。监测系统已在实验环境中部署并试运行,实时采集多节点冷藏环境参数,经过长达5个月的运行,测量准确度和实时上传功能均满足要求,能够比较全方位的监测冷藏设备的运行状况。通过

测试 LoRa 传输的信号 RSSI 值,得出 LoRa 在复杂环境和空旷环境中的最大传输距离分别是 350、550 m。相比于其他无线通信方式,LoRa 技术成本更低,能够实现海量节点的数据采集。下一步,将研究 LoRa 动态组网、灵活添加、删除网络节点,并为冷链系统设计一套智能的控制方式,以达到无人监管的目的。

## 参 考 文 献

- [1] 高伟伟,赵敏,陈燕.浅析淮扬预制菜的保鲜技术及其对食品质量的影响[J].现代食品,2023,29(16):66-68.  
GAO W W, ZHAO M, CHEN Y. Discuss on the fresh-keeping technology of huaiyang prepared vegetables and its influence on food quality [J]. Modern Food,2023,29(16):66-68.
- [2] 刘瑛.关于即烹预制菜检测方法的研究与探讨[J].食品工业,2023,44(7):141-142.  
LIU Y. Research and discussion on detection methods of instant prepared vegetables [J]. Food Industry, 2023,44(7):141-142.
- [3] 陈泥,刘伟程,陈雪松.保质期不超过 48 小时运输销售不高于 10℃[N].厦门日报,2022-12-14(A06).  
CHEN N, LIU W CH, CHEN X S. Shelf life not more than 48 hours transport sales not higher than 10℃[N]. Xiamen Daily,2022-12-14(A06).
- [4] 陈世超,田滨,吕宜生,等.冷链云服务系统研究与应用[J].智能科学与技术学报,2019,1(2):125-132.  
CHEN SH CH, TIAN B, LYU Y SH, et al. Research and application of cloud service system for cold chain [J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019,1(2):125-132.
- [5] 邓波,宋宇迎,庄建萍,等.基于物联网技术的智慧冷链监测系统设计及在农产品质量安全检测机构中的应用[J].农产品质量与安全,2023(5):33-36.  
DENG B, SONG Y Y, ZHUANG J P, et al. Design of intelligent cold chain monitoring system based on internet of things technology and its application in agricultural product quality and safety testing institutions [J]. Agricultural Product Quality and Safety,2023(5):33-36.
- [6] 李立夫.基于物联网技术的冷柜集中智能化管理研究[J].自动化应用,2022(9):63-65.  
LI L F. Research on intelligent management of freezer centralized room based on internet of things [J]. Application of Automation,2022(9):63-65.
- [7] 冯桢.保鲜库物联网技术改造系统设计与实现[D].秦皇岛:河北科技师范学院,2023.  
FENG ZH. Design and implementation of the IoT technology upgrade and transformation system for fresh-keeping warehouse [D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology,2023.
- [8] LUO J. A Zigbee and sip-based smart home system design and implementation[J]. International Journal of Online Engineering,2017,13(1):42-42.
- [9] 党耀东,蔡晋辉,柯海森,等.一种冷链温湿度监测系统的设计与实现[J].电子器件,2024,47(2):570-576.  
DANG Y D, CAI J H, KE H S, et al. Design and implementation of a cold chain temperature and humidity monitoring system [J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2019,47(2):570-576.
- [10] 张铮,汪杰,倪西学.面向无人机数据采集的 LoRa 扩频因子预测模型研究[J].仪器仪表学报,2023,44(10):294-302.  
ZHANG ZH, WANG J, NI X X. Research on the LoRa spreading factor prediction model for UAV data collection [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2023,44(10):294-302.
- [11] 高飞,刘吉,武锦辉,等.基于 LoRa 的远程多路起爆系统的设计[J].国外电子测量技术,2023,42(6):79-85.  
GAO F, LIU J, WU J H, et al. Design of remote multiple initiation system based on LoRa [J]. Foreign Electronic Measurement Technology,2023,42(6):79-85.
- [12] 高晋.冷链运输中果蔬品质的多源信息感知系统设计与实现[D].太原:太原理工大学,2022.  
GAO J. Design and implementation of multi-source information perception system for fruit and vegetable quality in cold chain transportation [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology,2022.
- [13] 郝真鸣,葛卫华,郝晋渊,等.嵌入式电梯运行状态监测系统研究[J].电子测量与仪器学报,2019,33(8):187-193.  
HAO ZH M, GE W H, HAO J Y, et al. Research on embedded elevator running state monitoring system [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation,2019,33(8):187-193.
- [14] 王新利,张文慧,吴学红,等.模糊控制技术在食品冷柜除霜中的应用分析[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2010,25(1):73-75,81.  
WANG X L, ZHANG W H, WU X H, et al. Analysis of fuzzy control technology applied in defrosting of food refrigerated display cabinet [J]. Journal of Light Industry,2010,25(1):73-75,81.
- [15] 石皓宁,杨琨,桑胜波,等.基于 LoRa 的自组网健康监测系统[J/OL].太原理工大学学报,1-10[2024-07-11].  
SHI H N, YANG K, SANG SH B, et al. LoRa based self-organized network health monitoring

- system [J/OL]. Journal of Taiyuan University of Technology, 1-10 [2024-07-11].
- [16] 周德胜. 基于 LoRa 的矿用无线通信系统设计[J]. 煤矿安全, 2021, 52(4): 170-173.  
ZHOU D SH. Design of wireless communication system for mine based on LoRa [J]. Safety in Coal Mines, 2021, 52(4): 170-173.
- [17] 李文豪, 陈仲生, 方乡. 面向环境监测的 LoRa 自组网网关设计[J]. 电工电气, 2023(4): 53-59.  
LI W H, CHEN ZH SH, FANG X. Design of LoRa Ad-Hoc network gateway for environmental monitoring [J]. Electrotechnics Electric, 2023(4): 53-59.
- [18] ZHANG J M, DAI Y W. Research and design of adaptive networking method based on LoRa [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2078(1): 012010.
- [19] 田旭飞, 姚凯学, 王凯鹏, 等. 基于 LoRa 和 STM32 的路灯自动监控系统的研究[J]. 计算机工程与科学, 2021, 43(8): 1470-1478.  
TIAN X F, YAO K X, WANG K P, et al. An automatic streetlight monitoring system based on LoRa and STM32 [J]. Computer Engineering & Science, 2021, 43(8): 1470-1478.
- [20] 倪秀琳. 基于 LoRa 的应答器辅助定位系统[J]. 电子测量技术, 2023, 46(18): 179-185.  
NI X L. Balise auxiliary positioning system based on LoRa [J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 46(18): 179-185.

## 作者简介

高永霞, 硕士研究生, 主要研究方向为 LoRa 组网、嵌入式系统设计。

E-mail: 2646434287@qq.com

姚爱琴(通信作者), 博士, 副教授、硕士生导师, 主要研究方向为动态测试技术、近场遥测、遥控遥测技术以及现代通信技术。

E-mail: yaoaiqin@nuc.edu.cn