

基于 LoRa 组网的低功耗建筑工地定位系统

李肖华^{1,2}, 梁立振², 胡阳³, 杨聪², 任远航², 甘子阳², 许欣², 洪兵²

(1.安徽理工大学安全科学与工程学院,安徽 淮南 232001;
2.合肥综合性国家科学中心能源研究院(安徽省能源实验室),安徽 合肥 230031;
3.安徽安天利信工程管理股份有限公司,安徽 合肥 230031)

摘要:在建筑工地智能化发展的背景下,将物联网技术集成到安全帽中具有重要意义。为满足建筑工地智能化管理中对实时定位与监控的需求,本文设计了一种基于 LoRa 组网的低功耗定位系统,可安装在安全帽上。该系统采用低功耗主控芯片 STM32L431RCT6,结合 AHT30 温湿度传感器和 ATGM336H-5N31 多模定位模块,构建智能安全帽,并通过 LoRa 通信模块实现自组网传输架构。系统引入数据中继机制,通过标识符设计,在监控终端节点上实现信息的高效转发,有效扩展了通信覆盖范围,可实现温湿度以及定位等信息的实时采集。实验测试表明,系统可以长时间稳定运行以及完整收发数据,并且具有中转机制的监控终端搭配 2 400 mAh 锂电池可以实现 22 h 的续航。系统具有成本低,稳定性强等特点,为新型建筑工业化发展提供了可行的物联网解决方案。

关键词:LoRa 自组网; 建筑工地; 低功耗设计; 数据中继机制; 智能安全帽; 物联网监测系统

中图分类号: TN929.5-34; TU714

文献标识码: A

Low-power construction site positioning system based on LoRa networking

LI Xiaohua^{1,2}, LIANG Lizhen², HU Yang³, YANG Cong², REN Yuanhang², GAN Ziyang², XU Xin², HONG Bing²

(1. School of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Institute of Energy, Hefei Comprehensive National Science Center (Anhui Energy Laboratory), Hefei 230031, China; 3. Anhui Antian Lixin Engineering Management Co., Ltd., Hefei 230031, China)

Abstract: In the context of the development of intelligent construction sites, it is of great significance to integrate Internet of Things (IoTs) technology into safety helmets. In order to meet the demand of real-time positioning and monitoring in the intelligent management of construction site, a low-power positioning system based on LoRa networking is designed, which can be installed on safety helmets. In the system, the STM32L431RCT6 low-power microcontroller is used to construct the intelligent safety helmets by combining with AHT30 temperature-humidity sensor and an ATGM336H-5N31 multi-mode GNSS module, and the power positioning system based on LoRa networking is designed, which can be installed on safety helmets. In the system, the STM32L431RCT6 low-power microcontroller is used to construct the intelligent safety helmets by combining with AHT30 temperature-humidity sensor and an ATGM336H-5N31 multi-mode GNSS module, and LoRa communication is used to implement ad hoc network transmission architecture. By introducing the data relay mechanism, the system can realize efficient information forwarding on monitoring terminal nodes by means of the identifier design, effectively extending the communication coverage range and enabling real-time collection of information such as temperature, humidity, and positioning. The experimental tests show that the system can operate stably for an extended period and transmit and receive data seamlessly. Furthermore, the monitoring terminal equipped with a relay mechanism and a 2400 mAh lithium battery can achieve a battery life of 22 h. The system has the characteristics of low cost and strong stability, providing a feasible IoTs solution for the industrialization of new buildings.

Keywords: LoRa ad hoc network; construction site; low-power design; data relay mechanism; smart safety helmet; IoTs monitoring system

0 引言

随着《住房和城乡建设部等部门关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》的发布,我国建筑行业正加速向智能化、数字化和绿色化方向迈进^[1]。新型建筑工业化强调通过技术创新和信息化手段提升建筑行业的整体效率和质量,推动建筑全过程的精细化管理^[2]。在这一背景下,如何利用先进的物联网技术实现施工现场的高效管理,成为实现新型建筑工业化的关键环节之一^[3]。

建筑工地作为建筑施工的核心场景,其管理面临着人员流动频繁、设备分布广泛、环境复杂多变等挑战^[4]。尤其在大型工地中,实时定位和监控工地资源不仅有助于优化施工流程,还能提升安全管理水平,减少意外事故的发生。安全帽作为安全施工的重要设备,集成物联网技术已成为必然需求^[5-6]。围绕上述问题,学界近年来涌现出一系列研究成果。例如,钟菁等^[7]提出了一个适用于智慧工地多场景的人员融合定位方案,使用蓝牙和 GNSS 技术进行室内外融合定位,通过 NB-IoT 网络远程传输至服务器进行定位解算与定位显示。周圩颖^[8]等通过 4G 模块实时传输数据至腾讯云管控平台,结合 MySQL 数据库与可视化大屏设计了一款可以实现建筑工人健康状态、环境指标及位置的动态监控的智能安全帽。Jaju V^[9]等通过 RFID 标签确定建筑工人的实时位置,并且通过 WiFi 将工人的位置上传到云端,管理者可以实时在电脑或者手机上查看工人当前的位置。上述监测系统的研究各具特色,而低功耗广域网 (LPWAN) 技术的迭代升级为监测系统提供了新路径。以 LoRa 为代表的非授权频谱通信技术凭借其突出的远距离传输、低成本部署和灵活组网特性^[10],在智慧工地监测领域展现出显著的应用潜力。龚结龙等^[11]通过优化传输参数和三维多点位防碰撞算法,设计了一种基于 LoRa 自组网的群塔防碰撞物联网系统,并在实际工地应用中实现了 100% 的预警成功率。

以上研究对建筑工地的智能化发展起到了积极的作用,但所应用的通信技术相对老旧,难以满足智能安全帽在长时间佩戴场景下的低功耗与人体工学适配需求。例如 4G 功耗相对较高,要实现长时间续航需要更大的电池,这样会进一步提升安全帽的重量,会导致佩戴舒适度下降^[12]。例如 NB-IoT 是由运营商主导的网络,使用授权频段,部署在现有的蜂窝网络上,比如 LTE、GSM 等,这意味着它的网络建设需要运营商的支持,不像 LoRa 那样可以由企业自主搭建^[13]。并且与 NB-IoT 技术相比,LoRa 则在功耗和响应实时性方面性能更优^[14]。针对建筑工地场景特性,本研究提出新型低功耗定位架构:搭载 STM32L431RCT6 低功耗微控制器实现传感器数据融合,基于 LoRa 协议构建多级中继网络架构,有效突破传统无线传输距离限制,形成广域覆盖能力。

1 定位系统总体框架

基于 LORA 组网的低功耗建筑工地定位系统需要实现对建筑工地工人当前的位置信息和温湿度信息进行实时采集,并通过 LORA 通信模块进行数据传输,最终通过接收端显示在上位机界面中。该系统的整体架构如图 1 所示,核心模块包括数据采集设备(监控终端)、数据接收单元(接收终端)和上位机管理平台三部分。

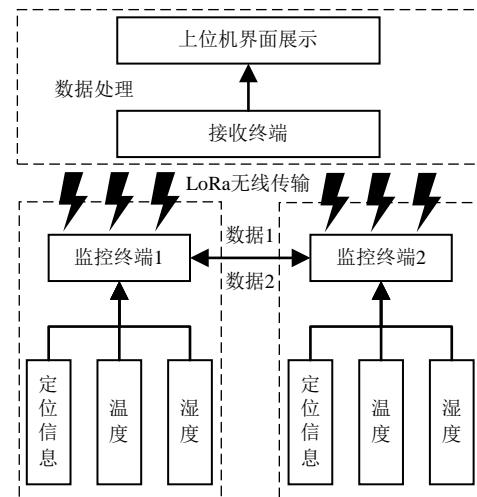


图 1 建筑工地定位系统总体架构

系统具体工作流程为：由监控终端采集工人当前的位置信息和温度，并通过发送端把信息发送到另一个监控终端，另一个监控终端不但收集自己的信息，还需要接收监控终端 1 发送的信息，并且再次进行传输监控终端 1 的信息，每个终端会重复发送两次自己或者其他终端的数据，而远程监控平台的接收端只能自动接收数据，不能自动发送数据，最后在远程监控平台的上位机界面展示当前工人 的位置和温度信息。

2 系统硬件实现

系统硬件由监控终端和上位机接收端两部分构成。监控终端集成主控单元、定位模块、温湿度模块及 LoRa 模块，使用容量为 2 400 mAh 的 5 V 锂电池供电，实时采集工地人员位置与环境数据，采用 LoRa 透明传输模式发送并同步中继转发信息。接收端则通过 LoRa 模块与无源天线，接收无线数据并通过 UART 接口把数据传输给上位机界面，系统的整体硬件结构图如图 2 所示。

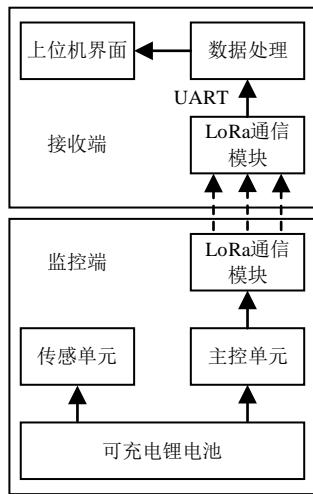


图 2 系统硬件结构框图

2.1 监控端硬件设计

监控终端硬件由主控 MCU、LoRa 通信模块、温湿度传感器及卫星定位模块构成。

主控采用 STM32L431RCT6 超低功耗 MCU(80 MHz, 1.71~3.6 V)，通过 I²C/USART 等接口实现

多模块协同控制^[15-16]，并且可以通过 STM32 Cube MX 工具配置外设参数，降低开发复杂度。

LoRa 模块选用大夏龙雀 DX-LR01 (ASR6601 芯片)，支持 433-475MHz 频段、+22dBm 发射功率与三种传输模式^[17]，模块通过 USART2(PA2/PA3) 与主控通信，在使用前需要使用 AT 指令进行配置，调试的指令如表 1 所示。

表 1 LoRa 模块 AT 指令配置

AT 指令	功能
AT+BAUD8	设置波特率为 115200
AT+MODE0	设置工作模式为透明传输
AT+LEVEL7	设置传输速率为 13020bit/s
AT+CHANNEL00	设置工作频段为 433Mhz
温湿度采集采用 AHT30 传感器 (-40-120°C/0-100%RH, ±0.5°C/±3%RH)，通过 I ² C 协议连接 PB6/PB7 引脚，PCB 内置 10kΩ 上拉电阻实现稳定通信。	

定位模块选用 ATGM336H-5N31，该模块支持北斗/GPS 多系统定位 (2.5m 精度)^[18-19]，通过 XH414 法拉电容和 AT24C128M EEPROM 实现热启动优化，数据通过 USART3 (PC4/PC5) 传输至主控。系统采用集成化 PCB 设计，在减小体积的同时降低整体功耗，各模块通过标准通信协议实现数据交互。监控终端硬件连接图如图 3 所示。

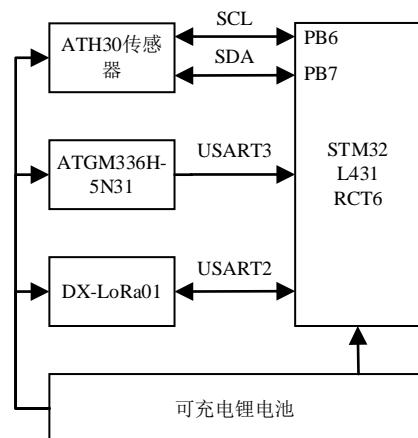


图 3 监控终端硬件连接图

监控端 LoRa 模块使用 433 MHz 的无源小尖椒天线, 增益为 3 dBi, 定位模块使用 25 mm×25 mm, 厚度为 4 mm 的陶瓷有源天线, 增益为 30 dBi。监控终端 PCB 尺寸为 5.5 cm×3.6 cm, 这个尺寸能兼顾良好的散热与一定的便携性, 并且满足集成在智能安全帽上的要求, 监控终端 PCB 设计图如图 4 所示。

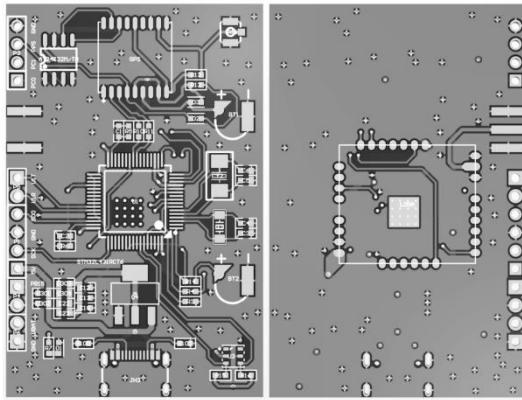


图 4 监控端 PCB 板正面和背面

2.2 接收端硬件设计

接收端由 LoRa 模块及外围电路构成, 通过串口将监控端的位置与温湿度数据上传至 PC 平台实时显示。为支持调试功能, 接收端临时集成定位模块(调试完成后移至监控端), 并引出 LoRa/定位模块串口便于测试。接收端配备长度为 150 mm, 增益为 5dBi 的无源吸盘天线, 用于增强信号接收, 接收端的 PCB 板如图 5 所示。

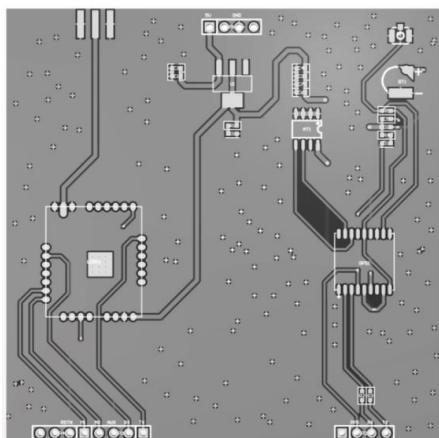


图 5 接收端 PCB 板正面图

3 系统软件设计

系统软件设计主要由嵌入式软件与远程监测平台软件构成, 其中, 嵌入式软件设计采用了 CubeMX 配置 HAL 库运行环境, 在 VS code 中使用 C 语言进行核心代码编写, 使用 ST-LINK 将程序烧录于监控端上。远程监测平台软件则使用野火多功能调试助手, 该软件可以调试定位模块, 存储实时数据, 适合本次实验的要求。

监控终端软件的核心功能在于实现多源传感器数据的周期性采集与无线传输。主控制器首先完成硬件初始化配置, 随后依据预设时间间隔触发数据采集任务。在工作周期内, 主控单元通过轮询机制依次调用各传感器接口获取检测数据, 经数据封装处理后通过 LoRa 通信模块进行远程传输。监控终端软件原理图如图 6 所示。

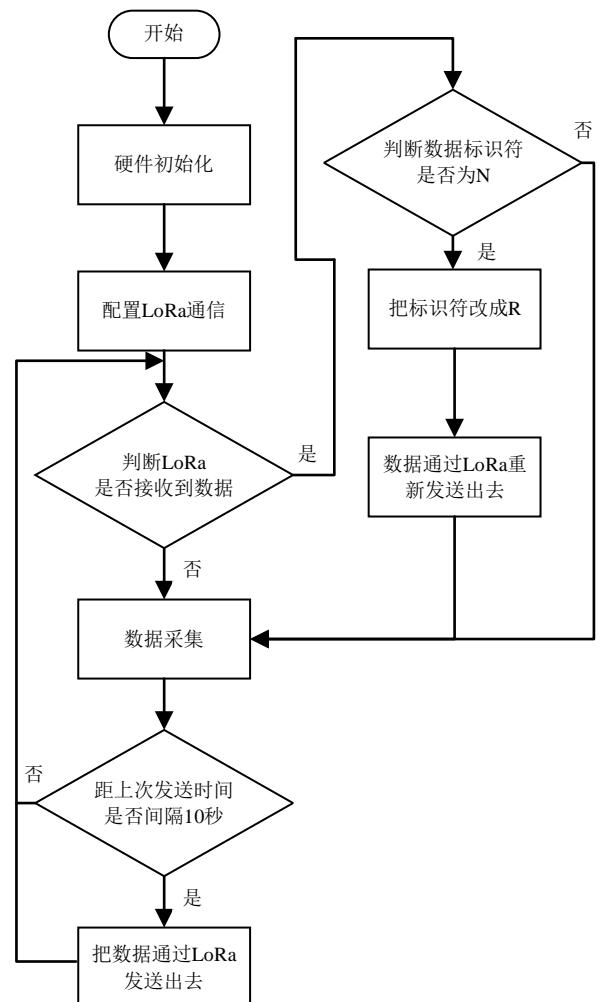


图 6 监控终端软件原理图

在硬件架构层面,该监测终端采用多接口并行通信方案:温湿度检测单元选用 AHT30 传感器,通过 I2C1 总线(SCL/SDA 引脚)与主控制器建立连接;定位模块采用 USART3 异步串行接口实现地理信息交互;无线通信部分则通过 USART2 串口驱动 LoRa 模块完成数据包发送。整个软件系统基于 ST 公司 HAL 库架构进行开发,主程序由初始化模块和循环任务调度模块构成,其中初始化阶段完成外设参数配置,主循环负责周期任务执行与通信协议处理。

在初始化阶段,程序按以下步骤执行。

- 1)调用 HAL_Init()初始化 HAL 库;
- 2)配置系统时钟,设置外部晶振 HSE 作为时钟源;
- 3)初始化 I2C1 接口用于温湿度传感器通信;
- 4)初始化 USART2、USART3 串口,USART2 配置波特率为 115 200 b/s, USART3 配置波特率为 9 600 b/s;
- 5)初始化 AHT30 温湿度传感器;
- 6)配置串口接收中断,实现异步数据接收。

在主循环中,系统执行以下任务。

- 1)每 10 s 采集一次温湿度数据:
 - ①通过 AHT30_Read()函数读取温度和湿度值,将数据格式化为 "temperature: xx.x humidity: xx.x %";
 - ②添加板子标识符(N1:或 N2:)后通过 LoRa 发送;
 - 2)GPS 数据处理(中断方式)。
 - ①通过 USART3 接收 GPS 数据;
 - ②每 5 秒发送一次完整的 GPS 数据帧;
 - ③添加板子标识符后通过 LoRa 发送。
 - 3)LoRa 数据转发处理。
 - ①接收到新数据后检查标识符类型;
 - ②对于对方发送的新数据(N1:或 N2:),转换为中继数据(R1:或 R2:)后转发;

③对于已经转发过的数据(R1:或 R2:),不再进行转发;

④实现数据的单次转发,避免数据在节点间循环。

数据格式定义。

1)新数据格式:

- ①板子 1 发送: "N1:数据内容\r\n";
- ②板子 2 发送: "N2:数据内容\r\n"。

2)中继数据格式:

- ①板子 1 转发: "R1:数据内容\r\n";
- ②板子 2 转发: "R2:数据内容\r\n"。

该系统采用中断驱动串口通信,通过标识符机制与时间控制策略实现多节点数据采集与中继,在提升实时性及可靠性的同时避免数据冲突和重复转发。接收端软件配置 LoRa 模块后,通过串口(参数: 115200,8,1,无)接入上位机平台,开启日志模式即可完成数据接收、存储及可视化处理。

4 系统测试

为了测试系统可行性和稳定性,在安徽省合肥市聚变堆主机关键系统综合研究设施(CRAFT)园区对系统无线通信稳定性以及系统功耗进行测试。

4.1 建筑工地定位系统方案设计

本实验在 CRAFT 园区中进行,CRAFT 园区长约 650 m,宽约 550m,地图以及实验点位如图 7 所示。

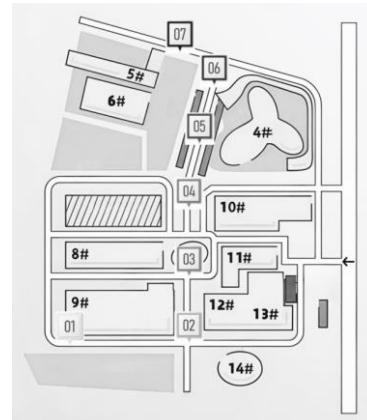


图 7 测试地点地图

首先第一轮实验为不中转点对点传输数据实验,在 CRAFT 园区左下角 9 号厂房旁 1 号点位放置监控端 1,接着手持笔记本电脑配上接收端从中间往北边走 150 m、300 m、400 m、475 m、550 m 和 625 m,依次到达点位 3、4、5、6、7,同时在该点位停留 2 min 左右,发送 24 条定位数据以及 12 条温湿度数据(N1),以接收数据的完整性来判定单端通信的稳定性。

接着第二轮实验为监控端 2 发送数据给监控端 1 进行中转数据,然后监控端 1 把监控端 2 的数据发送给接收端,同时也把自己的数据发送给接收端,首先在 9 号厂房和 12 号厂房中间的 2 号点位放置监控端 2,接着同样往北边走 150 m、300 m、400 m、475 m、550 m 和 625 m,到达点位 3、4、5、6、7,同样在该点位停留 2 min 左右,监控端 1 发送 24 条定位数据以及 12 条温湿度数据(N1),监控端 2 发送 24 条定位数据以及 12 条温湿度数据(N2),中转发送 24 条定位数据以及 12 条温湿度数据(R2),同样以接收数据的完整性来判定单端通信的稳定性。

而系统功耗在 LoRa 中转发送的情况下进行测试,测试采取两种方式,第一种采用直流电源进行供电,收集实时的电压电流信息,进而计算监控终端功耗;第二种则采用 2 400 mAh 的 5 V 锂电池进行供电,监控终端 1 设置为收到数据后进行中转发送,监控终端 2 则不进行中转数据,用于验证中继机制对功耗的影响,当电池电量耗尽,或者监控终端无法正常发送数据时,记录下结束时间,计算续航,进而判断监控终端的稳定性和功耗。

为了保持 LoRa 天线的所处的高度与正常佩戴安全帽的高度相匹配,测试监控板与接收板均与距离地面高度约为 1.5 m,同时天线直线朝上。图 8 为上位机监控软件界面,图 9 为测试的两块监控板以及一块接收板实物图。



图 8 上位机监控软件界面

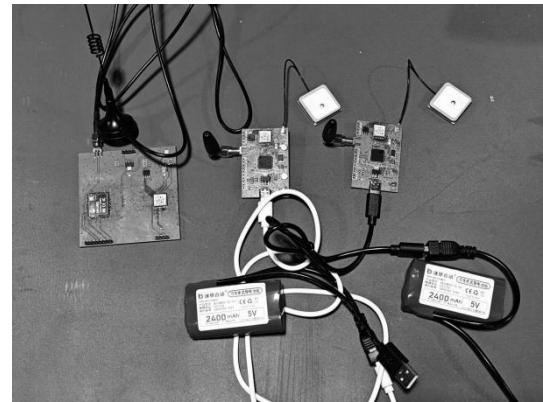


图 9 两块监控板以及一块接收板实物图

4.2 无线通信稳定性测试

针对 CRAFT 园区密集分布的铁皮厂房、混凝土建筑等障碍物,基于真实场景模拟需求,选择手持笔记本电脑配上接收端进行测试,第一轮实验结果如表 2 所示。

表 2 稳定性测试第一轮实验 (N1)

接收点位	发送完整数据包	接收完整数据包	掉包率
3	36	33	8.3%
4	36	11	69.4%
5	36	14	61.1%
6	36	0	100%
7	36	0	100%

可以发现,到接收点 3 的时候出现了少量掉包,接收点 4 和 5 则出现了大量掉包,接收点 6 能接收到少量不完整数据,接收点 7 则接收不到数据。推

测是因为接收点 3 与监控端 1 之间隔着一个铁皮厂房, 而铁皮厂房屏蔽性强, 接收点 4 和 5 与监控端 2 距离两个铁皮厂房, 接收点 6 和 7 距离监控端 3 个铁皮厂房, 所以会出现相应的接收数据情况。

接着进行第二轮实验, 这个时候在接收点 2 处放置监控端 2 用于中转数据, 距离地面高度与监控端 1 保持一致, 与第一轮实验进行相同的测试, 测试结果如表 3、表 4 和表 5 所示。

表 3 稳定性测试第二轮实验 (N1)

接收点位	发送完整数据包	接收完整数据包	掉包率
3	36	0	100%
4	36	6	88.9%
5	36	0	100%
6	36	0	100%
7	36	0	100%

表 4 稳定性测试第二轮实验 (R1)

接收点位	发送完整数据包	接收完整数据包	掉包率
3	36	36	0%
4	36	36	0%
5	36	36	0%
6	36	36	0%
7	36	36	0%

表 5 稳定性测试第二轮实验 (N2)

接收点位	发送完整数据包	接收完整数据包	掉包率
3	36	35	2.8%
4	36	36	0%
5	36	36	0%
6	36	35	2.8%
7	36	36	0%

可以发现, 由于加入了新的监控端, 频段相同, 射频波抵达时间相同, 导致接收端在点位 3 时完全

接收不到 N1 的数据, 而距离拉远一点到点位 4 的时候, 就能少量接收到 N1 的数据, 但是还是存在大量掉包, 而更远的点位就和第一轮实验一样, 已经完全接收不到数据了。而使用 N2 进行中转 N1 的数据, 也就是 R1 的数据, 在到达任一点位, 都能实现百分百的接收到数据, 而 N2 大部分的时候和 R1 一致, 少数情况例如在点位 3 和点位 6, 存在着少量掉包, 推测这里是发送端连续发送两次数据, LoRa 芯片处理过慢, 所以存在着少量的丢失数据, 如果用处理速度更快的芯片可以解决这个问题。

4.3 系统功耗测试

由于 LoRa 芯片几乎一直在收发数据, 所以总体上功耗会相对偏高, 表 6 为采用直流电源进行实时功耗测试, 表 7 为两块监控终端采用 2400mAh 锂电池进行续航测试。

表 6 直流电源实时功耗测试

测试项目	监控终端 1		监控终端 2	
	电压 (V)	电流 (mA)	电压 (V)	电流 (mA)
待机	5	58	5	59
发送数据	5	118	5	121
接收数据	5	59	5	59

表 7 监控终端锂电池续航测试

终端号	续航时间
监控终端 1	22 时 1 分
监控终端 2	27 时 52 分

可以发现, 监控端在待机和接收数据时的功耗是一样的, 但是发送数据的功耗略高, 推测是因为接收和发送数据频繁, 所以 LoRa 芯片一直在工作状态。监控终端 1 因为需要实时中转监控 2 的数据, 所以发送的数据量比监控终端 2 多了 1 倍, 在这种情况下, 使用 2400 mAh 的 5 V 锂电池仍然有 22 时 1 分的续航, 后续优化功耗以及降低发送频率的话, 可以达到更长的续航。

5 结语

本文设计了基于 LoRa 组网的低功耗建筑工地定位系统, 系统以 STM32 作为核心搭配温湿度传感器以及定位模块采集数据, 通过 LoRa 中转站让数据的传输距离进一步提升。经过测试表明, 设置 LoRa 中转站可以完整接收到温湿度以及定位数据, 并且相比不进行中转数据的稳定性更好。整个系统开发时间短, 运行稳定, 并且功耗和成本低, 具有很好的工程应用价值。

注: 本文通讯作者为洪兵。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部等部门关于加快新型建筑工业化发展的若干意见[J].工程建设标准化,2020(9):18-21.
- [2] 本刊编辑部.关于加快推进新型建筑工业化和智能建造促进建筑业高质量发展的建议 [J].中国建设信息化.2021(6):16-17.
- [3] 关于加快新型建筑工业化发展的若干意见[J].上海建材,2020(5):1-4.
- [4] 海小龙.浅谈建筑工程施工现场安全监督管理[J].人民黄河,2024,46(z2):156.
- [5] 齐瑞洁,袁玉英,孙立云,等.基于改进YOLOv8n的施工现场安全帽检测算法 [J].电子测量技术,2024(13):100-109.
- [6] 朱梦洁,刘玉森,张鹏飞.智能安全帽在水利工程施工过程中的探析[J].人民黄河,2024,46(z2):182.
- [7] 钟菁.智慧工地中智能安全帽管理系统研究[D].北京:北京邮电大学,2024..
- [8] 周圩颖,徐楠,王辉,等.智能安全帽及其管控平台设计[J].物联网技术,2023(7):98-100.
- [9] JAJU V, SULAM S. Smart helmets [M]// HEMACHANDRAN K, MANJEET R, ZITA ZOLTAY P, et al. Handbook of artificial intelligence and wearables. [S.l.]: CRC Press, 2024: 286-298.
- [10] 周军超,陈鑫,杜林,等.基于LoRa物联网的白酒发酵云监测系统设计[J/OL].计算机应用与软件,1-7[2025-03-20]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-JYRJ20241108002.htm>.
- [11] 瓣结龙,吴海建.基于LoRa自组网的群塔防碰撞物联系系统设计[J].智能物联技术,2018(1):27-30.
- [12] 马云飞.低功耗海洋监测浮标网络关键技术研究与实现 [D].济南: 齐鲁工业大学,2024.
- [13] 杨志宏.NB-IoT的技术特点与应用[C]//2017智能电网新技术发展与应用研讨会论文集.南京: 中国电力科学研究院,2017:453-457.
- [14] 祁海禄.基于LoRa的停车位状态信息采集系统设计[J].测试技术学报,2018(3):207-214.
- [15] 陈昭明.基于扭矩转角法的测角扭矩扳手设计与研究 [D].镇江: 江苏科技大学,2023.
- [16] 王海强.多参数检测及健康管理系统的应用与实现[D].长春: 长春理工大学,2023.
- [17] 凌启东,宋世林,周征宇.基于LoRa通信的滚动轴承运行状态采集系统设计[J].电子制作,2024(5):75-78.
- [18] 张锦荣,王康谊,张云逸,等.基于北斗/GPS的水中应急定位系统设计[J].国外电子测量技术,2021(6):87-93.
- [19] Wang T, Han W, Zhang M, et al. Unmanned aerial vehicle-borne sensor system for atmosphere-particulate-matter measurements: Design and experiments[J]. Sensors, 2019, 20(1): 57

作者简介: 李肖华 (2001—), 男, 瑶族, 湖南永州人, 在读硕士研究生, 研究方向为建筑安全。

梁立振 (1984—), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 副研究员, 研究方向为负离子束束传输特性研究、加速器中子源应用技术开发。

胡 阳 (1986—), 男, 安徽淮南人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电路与系统。

杨 聪 (2001—), 男, 安徽亳州人, 在读硕士研究生, 研究方向为蒙特卡罗模拟计算。

任远航 (1999—), 男, 安徽合肥人, 在读硕士研究生, 研究方向为光通信。

甘子阳 (2002—), 男, 河北邯郸人, 在读硕士研究生, 研究方向为智能识别。

许 欣 (2002—), 女, 安徽芜湖人, 在读硕士研究生, 研究方向为电子信息。

洪 兵 (1989—), 男, 湖南常德人, 博士研究生, 副研究员, 研究方向为中子探测与中子物理实验、核电子学。