张兵,邢丽莉,朱小毅,等.基于物联网技术的便携式地震流动观测网关设计[J].地震工程学报,2022,44(4):890-895.DOI:10. 20000/j.1000-0844.20210302002

ZHANG Bing, XING Lili, ZHU Xiaoyi, et al. Design of a portable gateway for ground motion observation based on Internet of Things[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2022, 44(4):890-895. DOI:10.20000/j.1000-0844.20210302002

基于物联网技术的便携式地震流动观测网关设计

张 兵¹, 邢丽莉², 朱小毅¹, 薛 兵¹, 苏 鹏¹, 李 珍¹, 孙晓叶²

(1. 中国地震局地震预测研究所,北京 100036; 2. 防灾科技学院,河北 三河 065201)

摘要:针对地震野外流动观测网络系统的无公用网络、流动性强、范围广、密度大、环境复杂的观测 模式特点,又为了解决地震野外监测的低成本、高效传输、快速部署的台阵组网难题,以 LoRa 为主 要通讯网络,结合 Wifi和 ZigBee 无线网络技术,设计实现一种便携式、低功耗、快速组网的无线复 合通讯网关。实验测试表明,该网关在 LoRa 组网下可以实现 2 km 范围内最高 21 kbps 空中传输 速率的网络通讯状态,适用于地震野外监测高效传输、快速部署的台阵组网。

关键词:网关;LoRa;Wifi;ZigBee;流动观测

中图分类号: P315-39 文献标志码:A 文章编号: 1000-0844(2022)04-0890-06 DOI:10.20000/j.1000-0844.20210302002

Design of a portable gateway for ground motion observation based on Internet of Things

ZHANG Bing¹, XING Lili², ZHU Xiaoyi¹, XUE Bing¹, SU Peng¹, LI Zhen¹, SUN Xiaoye²

(1. Institute of Earthquake Forecasting, CEA, Beijing 100036, China;

2. Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China)

Abstract: The network system of seismic mobile field observation has the characteristics of no public network, strong mobility, wide range, high density, and complex environment. To realize the low-cost, efficient transmission, and rapid deployment of array networking in seismic field monitoring, the LoRa network was taken as the main communication network in this paper. Combined with the wireless network technology of Wifi and ZigBee, a portable wireless composite communication gateway with low power and fast networking was designed and implemented. The experimental test results show that the gateway can achieve the highest air transmission rate of 21 kbps within 2 km under Lora network, and it is suitable for efficient transmission and rapid deployment of seismic field monitoring.

Keywords: gateway; LoRa; Wifi; ZigBee; mobile observation

收稿日期:2021-03-02

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(ZY20180119);国家重点研发计划"重大自然灾害监测预警与防范"重点专项 (2018YFC1503904);中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2020IEF0507);廊坊市科技支撑计划项目 (2021011057);中央高校基本科研业务费专项(ZY20180119)

第一作者简介:张 兵(1983-),副研究员,主要从事地震仪器设备研发。E-mail:zhangbing@ief.ac.cn。

通信作者:朱小毅,研究员,主要从事地震仪器设备研发。E-mail:zxy_bj2008@126.com。

0 引言

地震密集综合观测台阵网络具有覆盖地域广、野 外通讯环境复杂、观测节点间距离长(数公里至数十 公里)等特点。目前,我国地震监测固定台站组网均 基于地震专网,流动观测大多采用4G移动网络^[1-2]。 对于无公共网络地区,基本上采用卫星通信、移动基 站、数传电台等方式将测点接入,但是存在以下不足: 卫星通信费用高、只能逐点接入;移动基站价格高、覆 盖区域小;数传电台带宽窄,只能点对点传输^[3-4]。如何基于无线传感器网络动态路由机制和宽带无线传输技术,实现在野外无公共网络环境下观测系统高效组网,是台阵监测必须解决的难点。

近年来,随着物联网技术的发展,各种无线通信 技术源源不断地涌现,如 Wifi、ZigBee 及 LoRa (Long Range Radio,远距离无线电)等^[5-6],上述无 线网络技术的特点如表1所列。

Table 1 Characteristics of three wireless network techniques 特性 Wifi LoRa ZigBee 传输距离 短距离(10~50 m) 短距离(10~200 m) 远距离(1~20 km) 单网接入节容量 约 50 个 200~500个 500~5 000 个 $1\!\sim\!500~\mathrm{Mbps}$ 传输速率 100 kbps $0.3 \sim 50 \text{ kbps}$ 理论约2年/AA电池 理论约 10 年/AA 电池 电池续航 数小时 适合领域 户内场景为主 小范围传感器应用 无蜂窝网络的户外场景

表 1 三种无线网络技术特点

由表 1 可以看出, LoRa 和 ZigBee 由于传输距 离相对较远、网络容量较大、功耗低等特点适用于无 移动通信网络的地震密集综合观测台阵前端监测节 点高效组网, Wifi 传输速度高、距离近则适用于台 阵监控管理系统。无线通信网络是一个包括各种网 络的有机整体,因此需要将不同网络的协议体系进 行融合,以提高网络的通信能力。

针对地震野外流动观测网络系统的流动性强、 范围广、密度大、环境复杂的观测模式特点,本文基 于Wifi、ZigBee和LoRa网络技术,设计实现了一种 适用于地震野外流动观测的复合通讯网关,融合多 种网络,解决困扰地震野外监测多年的低成本、高效 传输、快速部署的台阵组网难题。

1 野外地震综合观测台阵网络架构设计

针对野外观测环境无公用网络的情况,设计了 一种新型基于物联网技术的地震综合观测台阵网络 架构如图1所示。野外地震观测节点主要采集气体 组份、地磁、电磁波、温度和压力等数据,经过 GPS 授时后封装成 ZigBee 协议数据包通过 ZigBee 网络 传输到汇聚节点,汇聚节点通过 ZigBee 网络 传输到汇聚节点,汇聚节点通过 ZigBee 网络将数据 转发到网关,网关将接收到 ZigBee 协议数据解析后 封装成 LoRa 协议数据包通过 LoRa 网络转发给下 一个网关或者封装成 TCP/IP 数据包通过 TCP/IP 网络传输到台阵监控管理系统进行数据处理^[7-8]。 该网络架构具有无线、自组织组网的特点,不依赖于 公用网络的基站等基础设施,可以实现野外观测现 场快速布网,适合地震流动观测工作。



Fig.1 Network architecture diagram of array

2 观测数据传输网关设计

为了实现地震野外观测数据跨不同网络实时传输,设计了融合 Zigbee、LoRa 和 Wifi 3 种网络的复合通讯网关,主要由 MCU(Micro Controller Units, 微控制单元)主控芯片、LoRa 收发模块及收发天线、Wifi 模块、ZigBee 模块、以太网控制器和 RJ45 通讯模块五大部分组成^[9],如图 2 所示。

由于野外观测无市电供电,对此采用锂电池供 电的低功耗处理器芯片 STM32L431 作为系统主控 芯片 MCU,用于执行程序、协议转换以及协调各外 围功能模块工作,LoRa 模块由收发天线和收发模 块两部分构成,其中 LoRa 收发模块选用 SX1278 主 控芯片,并通过 SPI 总线与主控芯片进行数据通讯。 LoRa 收发模块有中继器和集中器两种角色,可以 实现 LoRa 组网和 LoRa 网络的扩展,实现远距离通 信。Wifi、ZigBee 这两种通讯方式使用 TTL 通讯 方式与网关 MCU 进行连接。RJ45 有线通讯方式 通过 DM9000 以太网控制器与网关 MCU 进行连 接,通过 MCU 配置相关运行参数。



图 2 复合网关硬件结构图



3 观测数据网络通讯设计

为了实现观测数据长距离的网络通讯,设计了 不同网络间的协议转换,数据传输网络组网如图 3 所示。Wifi 通讯方式主要用于网关与手机等便携 式设备的无线数据交换,用于浏览实时观测数据。 ZigBee 通讯方式用于网关与传统 ZigBee 自组网节 点的数据交换。RJ45 有线网络通讯方式用于网关 与 PC 服务器的数据交换。当 ZigBee 网络连接经 过多个 ZigBee 通讯节点连接当前 LoRa 网关和其 他网关时,则将 ZigBee 网络连接对应的网络设定为 多通道通讯模式,当该 ZigBee 网络连接为当前复合 网关连接单个 ZigBee 通讯传感器时,则将 ZigBee 网络连接对应的网络设定为单通道通讯模式。复合 通讯网关与其他网关通过 LoRa 通讯模块相连或通 过 ZigBee 多路由无线通讯相连实现组网^[10-11]。采 集的地震野外观测数据通过 ZigBee 自组织网络节 点,经过网络多跳传输到复合网关的 ZigBee 模块, 然后MCU通过判断网络通讯状态,选择上述3种



- 图 3 网络通讯示意图
- Fig.3 Schematic diagram of network communication

网络中的其中一种网络进行传输数据到台阵监控管 理系统。

在野外流动观测现场布设网络设备后,复合网 关先由 MCU 主控芯片判断 ZigBee 网络连接对应 的网络为多通道 ZigBee 网络还是单通道 ZigBee 网 络。若与当前复合网关连接的 ZigBee 通讯节点还 与其他通讯节点相连接,则 MCU 主控芯片将该 ZigBee 网络连接对应的网络确定为多通道模式,若 与当前复合网关连接的 ZigBee 通讯节点没有与其 他通讯节点相连接时,则 MCU 主控芯片将该 Zig-Bee 网络连接对应的网络确定为单通道模式^[12-13], 如图4所示。

当 ZigBee 网络配置为多通道通讯模式时,由系统 MCU 主控芯片会通过网络质量监测程序或软件对 LoRa 网络和 ZigBee 网络进行实时网络传输质量检测判断,当 LoRa 网络传输质量优于 ZigBee 网络传输质量时采用 LoRa 网络进行数据传输服务,当 ZigBee 网络传输质量优于 LoRa 网络传输质量 时采用 ZigBee 网络进行数据传输。

观测数据在进行多网关通讯时,若出现因 LoRa 模块使用的频段受全频干扰、覆盖等造成的通讯中 断、信号质量低等情况时,在通讯范围内可以配置启 用 ZigBee、Wifi 或者通过网线进行连接,从而在连接不同类型的网络后快速准确的确定相应的数据传

输网络,保证通讯的可靠性,实现观测网络的自我修 复性。



图 4 复合网关网络通讯流程



野外地震观测节点主要采集气体组份、地磁、电 磁波、温度和压力等数据,在上述3种网络中,将网 络传输报文协议设计为包头、8位传感器数据类型、 8位传感器地址、16位整型传感器数据、包尾,用于 在不同网络中进行数据解析^[14-15]。

4 野外测试及分析

运用研发的复合网关,主要针对 LoRa 网络运行性能进行测试,如图 5、图 6 和图 7 所示。在北京市白家疃山区开展野外测试,该区域是山前同侧缓坡,有树木覆盖和楼宇坐落。将两个网关进行点对点 LoRa 组网,锂电池供电电压 3.3 V,外接 3 db 增益胶棒天线,发射功率使用最大值 20 dbm,信道为 20,工作频率为 418 MHz,工作在功耗最高的运行 RUN 状态,默认模块为接收模式,当有数据发送时 切换为发射状态,发送完毕后恢复接收状态。复合 网关中加入数据校验算法,校验不通过的数据包直 接全部丢弃。两个网关天线被架高于 2 m,收发天 线处于可视空旷环境,可视距离 5 m,中间存在树木 和楼宇遮挡,周边无大型无线电干扰源。

通过对网关 Wifi、ZigBee 和 LoRa 3 个模块同时工作和同时休眠分别进行功耗测量,平均功耗约为1 W。

两个复合网关在直线距离 3 m, SNR(信噪比) 为 15, RSSI(信号强度)为-54, 数据循环发送时间

间隔为 500 ms,空中数据传输速率等级分别为 10 (对应速率为 21 875 bps)、5(对应速率为 977 bps) 和 1(对应速率为 268 bps)时分别测试 LoRa 网络通 信误码率(BER),结果如图 5 所示。



由图 5 显示的测试结果可以看出,在相同距离 下,传输数据在 20 B 及以下时,不是传输速率越高 误码率越低,传输数据在 20 B 以上传输速率越高, 则整体误码率越低;在最高空中数据传输速率下,只 有在 160 B 传输数据的情况下误码率为 0;当传输 数据较多时,空中数据传输速率越低,误码率越高。 误码率较高的主要原理是传输数据量和传输速率不 匹配导致发送缓冲区溢出造成的。从整体上看,需 要平衡传输数据量和传输速率两个参数才可以达到 最优的网络传输质量。

将传输数据设置为 10 B,空中数据传输速率等 级设置为 10,数据循环发送时间间隔为 500 ms,在 100~2.5 km 的传输距离内进行网络性能测试结果 如图 6 和图 7 所示。





Fig.6 BER test results with different transmission distances



transmission distances

从图 6 和图 7 测试结果可以看出,在 21 875 bps 的最高空中数据传输速率下,整体上随着距离 的增加,误码率逐渐升高,信号质量逐渐降低,变化 趋势接近线性,但是在 100 m 和 2 500 m 时均有突 变,200~2 000 m 的距离内变化相对稳定。

5 结论

该复合通讯网关集成了 Wifi、ZigBee 和 LoRa 3 种无线网络技术,以 LoRa 为主要的通讯网络,但可以自主根据信号质量进行网络切换,锂电池供电,具

有低功耗、快速组网和方便携带等优点。通过实验 测试,该网关可以实现2km范围内最高21kbps空 中传输速率的网络通讯状态,通过优化传输数据量 和传输速率可以获得更好的网络通讯,通过节点多 跳技术可以扩展更广的区域范围,适用于地震野外 监测高效传输、快速部署的台阵组网。

参考文献(References)

[1] 马红虎,党文杰.4G通信在应急流动监测中的应用[J].科学技术创新,2018(18):70-71.
 MA Honghu, DANG Wenjie. Application of 4G communication

in emergency flow monitoring[J].Scientific and Technological Innovation,2018(18):70-71.

[2] 刘永强,郑康,李冉,等.基于移动终端的地震前兆观测系统应 用分析[J].山西地震,2018(2):53-56.

LIU Yongqiang,ZHENG Kang,LI Ran, et al. Application analysis of earthquake precursor observation system based on mobile terminal[J].Earthquake Research in Shanxi,2018(2):53-56.

- [3] 胡兴尧,柳存喜,黎莎,等.雅砻江台网复杂地形条件下水库地 震监测通信组网[J].大坝与安全,2018(6):42-49.
 HU Xingyao,LIU Cunxi,LI Sha, et al.Communication network for reservoir seismic monitoring of Yalong River under complex terrain [J].Dam & Safety,2018(6):42-49.
- [4] 张明,李慧峰,吕奥博,等.浙江省地震观测台站综合防雷系统 升级[J].地震地磁观测与研究,2017,38(3):175-179.
 ZHANG Ming,LI Huifeng,LÜ Aobo, et al. Integrated lightning protection system upgrade in earthquake observation stations in Zhejiang Province[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2017,38(3):175-179.
- [5] MODARRESI A, SYMONS J. Technological heterogeneity and path diversity in smart home resilience: a simulation approach
 [J].Procedia Computer Science, 2020, 170 (C):177-186.
- [6] AFTAB N,ZAIDI S A R,MCLERNON D.Scalability analysis of multiple LoRa gateways using stochastic geometry[J].Internet of Things,2020,9:100132.
- [7] 张兵,邢丽莉,李军,等.无线自组织网络在地震救援中的应用研究[J].自然灾害学报,2013,22(2):191-196.
 ZHANG Bing,XING Lili,LI Jun, et al. Application of wireless self-organization network to post-earthquake rescue[J].Journal of Natural Disasters,2013,22(2):191-196.
- [8] 张兵,邢丽莉,李军,等.一种基于物联网的地震救援辅助系统
 [J].自然灾害学报,2014,23(3):200-204.
 ZHANG Bing,XING Lili,LI Jun, et al.Post-earthquake rescue aid system based on IOT[J]. Journal of Natural Disasters, 2014,23(3):200-204.
- [9] XING Lili,ZHANG Bing,WU Qiong, et al.Research of an embedded IOT gateway applied to post-earthquake rescue[J].International Journal of Online Engineering,2015,11(9):52-55.

(5):1228-1233.

versity, 2019.

- [10] FLORITA N J B.SENATIN A N M.ZABALA A M A.et al. Opportunistic LoRa-based gateways for delay-tolerant sensor data collection in urban settings[J]. Computer Communications, 2020, 154(C): 410-432.
- [11] 杨江,王平,陈志高,等.水管倾斜仪观测频带拓展方法研究
 [J].地震工程学报,2019,41(5):1228-1233.
 YANG Jiang, WANG Ping, CHEN Zhigao, et al. A method for expanding the observation frequency band of water tube tilt-meters[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41
- [12] EDUARO Sallum, et al. Improving quality-of-service in LoRa low-power wide-area networks through optimized radio resource management[J]. Journal of Sensor and Actuator Networks, 2020, 9(1):10-10.
- [13] 李军,张兵,邢丽莉.基于 GPS/GPRS 的嵌入式定位系统在地

震行业的应用[J].西北地震学报,2009,31(3):285-289. LI Jun, ZHANG Bing, XING Lili. Based on GPS/GPRS embedded GPS applications in seismic industry[J]. Northwestern Seismological Journal,2009,31(3):285-289.

- [14] 何丽.基于 ZigBee 的物联网网关协议转换技术研究[D].长沙:湖南师范大学,2019.
 HE Li.Researches on protocol conversion technology of IoT gateway based on ZigBee[D].Changsha; Hunan Normal Uni-
- [15] 白若琛, 庞成鑫, 贾佳, 等. 多协议融合 LPWAN 能源物联网云 平台的设计[J].计算机科学, 2019, 46(增刊 1):589-592.
 BAI Ruochen, PANG Chengxin, JIA Jia, et al. Design of cloud platform for energy Internet of Things based on LPWAN multi-protocol[J]. Computer Science, 2019, 46(Suppl01):589-592.

(「 1 3 读 000 立)

(上接第 889 页)

LI Qiang, YOU Xinzhao, YANG Shaomin, et al. Aprecise velocity filed of tectonic deformation in China as inferred from intensive GPS observations[J]. Science China Earth Sciences (in Chinese).2012,42(5):629-632.

- [26] 张希,江在森,对华北 GPS 监测区近期地壳应变连续分布的估计[J].地震学刊,1999,19(2):17-22.
 ZHANG Xi, JIANG Zaisen. Estimation for continuous distribution of recent crustal strain in GPS monitoring area of North China[J].Journal of Seismology,1999,19(2):17-22.
- [27] 王伟,杨少敏,谭凯,等.用 GPS 分析天山现今地壳变形与应 变率场[J].大地测量与地球动力学,2014,34(3):75-80.
 WANG Wei, YANG Shaomin, TAN Kai, et al. Present-day crustal deformation and strain rate field of Tianshan Mountain analyzed with GPS data[J].Journal of Geodesy and Geodynamics,2014,34(3):75-80.
- [28] CAMPBELL G E, WALKER R T, ABDRAKHMATOV K, et al. The Dzhungarian fault: Late Quaternary tectonics and slip

rate of a major right-lateral strike-slip fault in the northern Tien Shan region[J].Journal of Geophysical Research: Solid Earth,2013,118(10):5681-5698.

- [29] BURCHFIEL B C, BROWN E T, DENG Q D, et al. Crustal shortening on the margins of the Tien Shan, Xinjiang, China
 [J].International Geology Review, 1999, 41(8): 665-700.
- [30] 祝意青,刘芳,李铁明,等.川滇地区重力场动态变化及其强震 危险含义[J].地球物理学报,2015,58(11):4187-4196.
 ZHU Yiqing,LIU Fang,LI Tieming, et al. Dynamic variation of the gravity field in the Sichuan-Yunnan region and its implication for seismic risk[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015,58(11):4187-4196.
- [31] 江在森,马宗晋,牛安福,等.GPS技术应用于中国地壳运动研究的方法及初步结果[J].地学前缘,2003,10(1);71-79.
 JIANG Zaisen, MA Zongjin, NIU Anfu, et al. Approaches and preliminary results of crust movement researches based on the GPS in China[J].Earth Science Frontiers,2003,10(1);71-79.