

基于LoRa的架空线路物联网感知技术研究

路永玲, 刘 洋, 胡成博, 徐江涛

(国网江苏省电力有限公司电力科学研究院(国家电网电力系统人工智能联合实验室), 江苏 南京 211103)

摘要: 物联网技术通过大规模传感器协同和信息通信网络, 大幅提升电网设备状态感知水平。开展了LoRa低功耗广域物联网通信技术在架空线路状态感知中的应用研究, 提出基于LoRa的架空线路低功耗广域物联网通信三层网络架构, 分析多跳组网过程和加密过程, 提出基于LoRa的架空线路小型化状态感知装置设计方案, 列举两个基于LoRa的架空线路物联网感知技术实际应用场景, 为电力设备物联网技术推广应用提供指导。

关键词: 架空线路; 物联网; LoRa通信; 状态感知

LoRa-based communication technology for overhead line internet of things

LU Yongling, LIU Yang, HU Chengbo, XU Jiangtao

(State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute (Electric Power System Artificial Intelligence State Grid Corporation Joint Laboratory), Nanjing 211103, China)

Abstract: Internet of things technology improves the state awareness level of power grid equipment through large-scale sensor collaboration and information communication network. The application of LoRa low-power wide-area in-ternet of things communication technology in overhead line state awareness is studied. LoRa-based three-tier network architecture of low-power wide-area internet of things for overhead lines is proposed. The communication and encryption between sensors and communication modules, communication modules and base stations, base stations and base stations are analyzed. A design scheme of miniaturized state awareness device for overhead line based on LoRa is proposed. Two scenarios of application of LoRa-based state-aware technology for overhead line are listed, which can provide guidance for the popularization and application of the technology of internet of things for power equipment.

Key words: overhead line; internet of things; LoRa communication; state-aware

0 引言

传统输电线路在线监测系统由于技术、机制等原因, 与一次设备的集成度不高, 一般独立安装维护, 部分装置功能单一, 结构庞杂, 体积笨重, 耗电巨大, 受输电线路电磁环境影响大, 组

网方式不灵活, 维护工作量大, 设备智能化、小型化和集成化程度低^[1-2]。

近年来, 物联网技术发展迅速^[3-4], 低功耗广域网络(LPWAN)伴随着物联网的兴起而出现^[5-6], 各单位开展了基于无线传感器网络和LPWAN的架空线路状态监测^[7-8], 在一定程度上提升了架空线路状态感知水平。本文基于LPWAN中

国家电网公司指南项目(5210EF180009)

的LoRa通信技术开展架空线路物联网感知技术研究,从网络架构、感知装置和现场应用等多方面进行探讨分析,

进一步提高输电线路信息化和智能化水平,从而为保障坚强智能电网安全可靠运行提供重要支撑。

1 基于LoRa的架空线路低功耗广域物联通信解决方案

1.1 基于LoRa的架空线路低功耗广域物联通信网络架构

在输电线路路上布置集成LoRa通信组件的各类传感器,传感器通过LoRa组件与布置在杆塔的LoRa基站通信;LoRa基站间可以通过多跳方式实现自组织组网,将从传感器处获得的感知数据通过APN或电力光纤网回传至电力内网,并利用云平台处理利用,基于LoRa的架空线路低功耗广域物联^[1]通信网络架构如图1所示。整个网络架构主要由三层网络组成^[9]。

1) LoRa接入网。监测装置通过点对多点的方式接入到基站节点,在标准的LoRa WAN通信协议上,针对电力传感器的使用特点,进行协议裁剪和优化。

2) 无线多跳组网。基站节点间通过无线多跳实现远距离信息传输,具备自组网、自适应路由等能力,优化数据的调度和传输质量。

3) 现有网络设施。利用成熟的APN技术,在基站加装APN终端模块,实现基站接入电力专网能力;或者利用电力已铺设电力光纤网,通过有线接入方式并经加密和防火墙,实现电力内网的接入。

1.2 适应于架空线路的多跳无线组网信息传输过程分析

架空线路上采集的数据根据性质不同,可以有多个QoS的划分。一般说有以下三种:①一般的监测数据,此类数据对时延不敏感,一般为周期性采集传输;②紧急突发事件的监测数据,此类数据需要及时传输到后台,对延时要求很高;

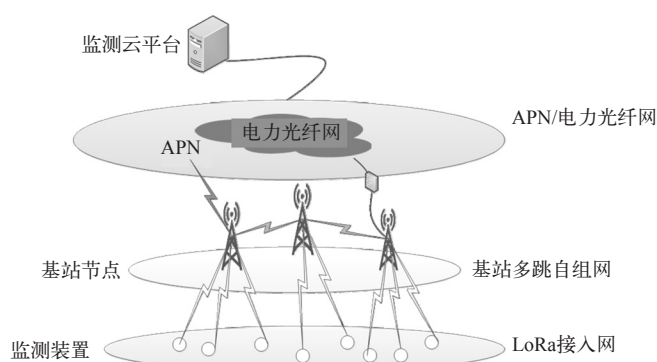


图1 基于LoRa的架空线路低功耗广域物联通信网络架构

Fig. 1 LoRa-based overhead line low-power wide-area interconnection communication network architecture

③应用需要数据,根据实际需要获取的输电线路上的信息数据,一般对延时要求较高。为了动态、高效地感知设备运行状态就要考虑不同性质感知数据的传输方式。

将架空线路抽象成为线性链式网络,如图2所示。为了避免无线传输干扰,LoRa基站间多跳自组网中,每个基站在一个给定的时隙上,利用分配的信道将网关本地传感器采集到的数据传输至后台云端。本文将LoRa基站分成两组,编号为奇数的LoRa基站作为一组,编号为偶数的节点则是另一组。在一个发送时隙内,一组的节点发送它们的数据,而另一组的接收数据,如图3所示。例如,在奇数时隙中,奇数的LoRa基站节点利用分配的信道,发送它们的数据到下一跳节点。随后,在偶数时隙时,奇数节点则接受偶数节点发送来的数据。

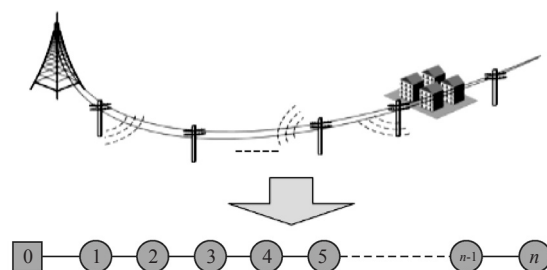


图2 架空线路线性网络等效于链状网络拓扑

Fig. 2 Overhead linear network equivalent to chain network topology

当出现紧急信息需要迅速传输至后台时,发送该数据的LoRa基站则不再选择下一跳LoRa网关

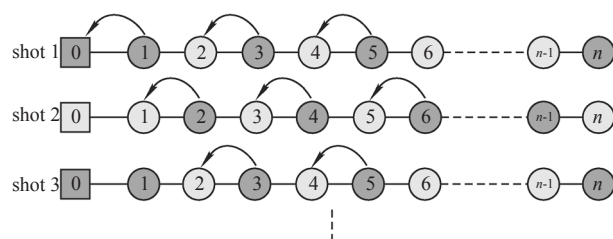


图3 LoRa基站自组网中数据传输过程

Fig. 3 Data transmission process in LoRa base station Ad-Hoc network

节点作为中继。如图4所示,标红的LoRa基站节点需要传输一个延时要求高的数据至后台,可以选择距离后台近的LoRa基站节点作为中继。由于远距离的传输LoRa基站节点的发射功率将增加,考虑到发射功率和传输延时之间的平衡,节点将选择合适的中继进行数据传递。图4中,红色LoRa基站节点有三个节点可以选作中继节点(由虚线指示)。

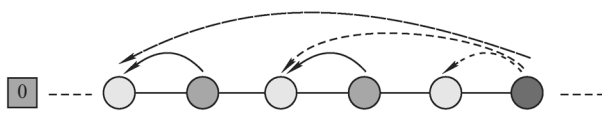


图4 紧急数据传输模型

Fig. 4 Emergency data transfer model

LoRa基站自组网中,各基站间无线传输干扰是一个不得不面对的问题。当出现紧急信息传输的情况,LoRa基站的发送功率增加容易引起对其他节点数据传输的干扰。若 m 为节点的最大跳数,则图5中给出了单一LoRa基站节点传输的干扰范围。

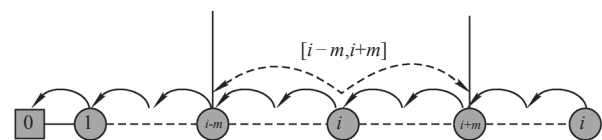


图5 LoRa自组网基站干扰范围

Fig. 5 Base station interference range of LoRa Ad-Hoc network

在区间 $[i-m, i+m]$ 内的节点会被节点 i 的传输干扰,因而它们不能分配同一个信道行进数据传输。对于节点 i ,定义其干扰范围为 $[\max(1, i-m), \min(i+m, n)]$,其中 $(i \in 1, n)$ 。

网络中需要的信道数 $|f|$ 与最大跳数 m 之间的关系可以定义为

$$|f| = \begin{cases} (n/2) & n \leq m \\ (m/2) + 1 & m < n \leq 2m \\ m + 1 & n \geq 2m + 1 \end{cases}$$

1.3 基于LoRa的架空线路通信网络加密方案

本文采用LoRa自身的用户认证策略、安全接入平台加密算法及传感器SM7加密算法,实现全链路和全通信终端的数据加密和身份认证^[9]。

1) 数据加密过程。传感器数据经过SM7加密,传至基站处经过SM7解密,在基站处经APN加密通道加密,数据在安全接入平台处通过安全模块APN加密数据解密。

2) 终端认证过程。传感器接入网络时,LoRa通信基站通过SM7加密算法对传感器进行双向身份认证,基站接入网络时通过安全接入平台对其进行身份认证。

2 基于LoRa的架空线路状态感知装置设计

架空线路状态感知装置包含气象、倾斜、温度、弧垂、电流和距离等多个类型,一般由感知、处理、通信和供电这四个基本功能模块组成。基于LoRa的嵌入式状态感知装置,采用模块化、芯片化设计技术提高装置的集成度,总体架构设计如图6所示,主要包括模块化传感器电路、MCU核心板、低功耗高能电池管理模块、LoRa通信模块、天线和高耐候防护外壳几部分。

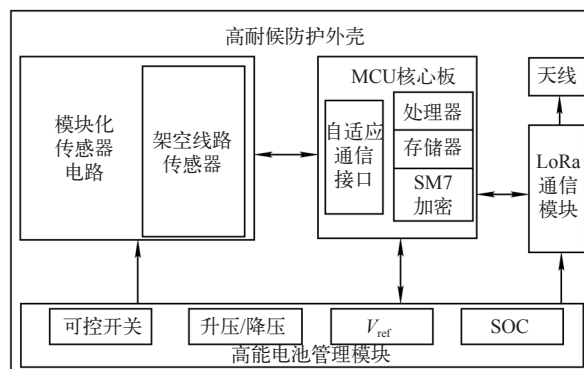


图6 架空线路状态感知装置设计

Fig. 6 Design of overhead line State sensing device

各种传感器电路采用模块化设计,将传感器模块和MCU核心板的接口标准化,使不同的传感

器可以接入同一个MCU核心板。MCU核心板包括标准化的自适应通信接口,处理器、存储器和硬件加密等几部分,是状态感知装置算法和通信协议栈的载体。低功耗高能电池管理模块包括用于切除传感器模块电源的可控开关,用于调节不同类型传感器供电电压的升压/降压模块,用于为传感器提供稳定参考电压的 V_{ref} 模块,用于电池管理的SOC模块。LoRa通信模块为传感器数据与基站进行通信。天线部分需要根据具体应用需求选择内置或者外置天线。高耐候防护外壳是整个设备的最外层,需要根据应用定制外观,以高耐候、便于安装为目标。

3 基于LoRa的架空线路物联网感知技术应用

3.1 典型应用场景一

重要输电通道有些区段会出现多条线路共走廊、两条线路距离不足100 m的情况,如图7所示。两条链式结构的网络并存,优势是杆塔间距较近,线路1上的杆塔LoRa基站能够覆盖线路2上布置的传感器终端,反之亦然。一旦任意一条线路的LoRa基站故障或者容量饱和,可以通过LoRa小区间调度实现跨区信息传输,能有效提高网络的鲁棒性和保障信息传输延时要求。但是存在的问题则是,在布网设计时需要将小区间干扰因素考虑进去,这也是单纯线性结构网络拓扑不会涉及的布网问题。

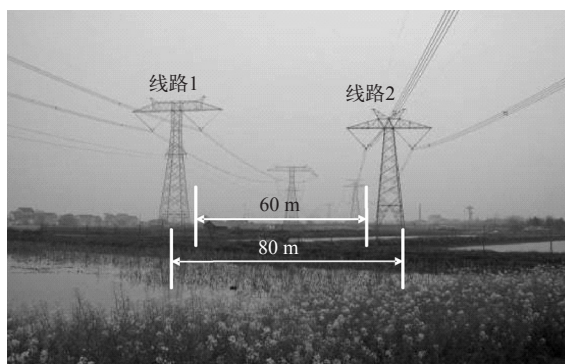


图7 多条线路共走廊应用场景

Fig. 7 Common corridor application scenarios

3.2 典型应用场景二

以某±800 kV线路区段为例(如图8所示),

以提高整个网络的鲁棒性。以1#~3#三个基站布置为例,在线路转弯处布置2#LoRa基站,从直线距离上来看,1#基站与2#基站、3#基站间距相差不大;从线路走势上来看,1#基站、2#基站和3#基站依次布置。

正常情况下,1#基站依次选择后续2#基站,通过多跳方式进行数据传输,接入电力内网;如果2#基站发生异常情况,1#基站则可以选择前后直线距离较近的基站(如3#基站)作为自组网中继,以保障信息及时传输,提高网络系统的鲁棒性。

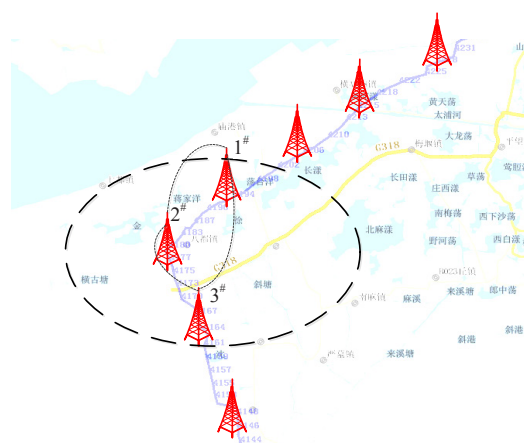


图8 某±800 kV线路典型区段LoRa基站部署示意图

Fig. 8 Schematic diagram of LoRa base station deployment in a typical section of ±800 kV transmission line

4 结束语

对LoRa低功耗广域物联通信技术在架空线路状态感知中的应用进行研究分析,得出如下结论。

1) 提出基于LoRa的架空线路低功耗广域物联通信三层网络架构,包括传感器与LoRa基站采用星形网络拓扑、基站与基站采用多跳方式进行组网以及基站与后台之间采用成熟的电力APN或者光纤网。其中,在传感器与基站之间采用SM7加密算法,基站间多跳数据传输方式根据采集数据的性质进行自动调整。

2) 提出基于LoRa的架空线路状态感知装置总体设计要求,包括传感器、MCU、电池管理模块和外壳等应具备的条件。

3) 提出LoRa通信技术在架空线路状态感知的

两个典型应用场景，为实际应用提供参考。

参考文献

- [1] 唐梦颖, 路永玲, 徐伟, 等. 江苏电网输变电在线监测装置现状分析及应用建议[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(6): 1-4.
TANG Mengying, LU Yongling, XU Wei, et al. Status analysis and application suggestions of on-line monitoring devices on power transmission and transformation equipment in Jiangsu power grid [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(6): 1-4.
- [2] 刘丽榕, 王玉东, 肖智宏, 等. 输电线路在线监测系统通信传输方式研究[J]. 电力系统通信, 2011, 32(4): 20-25.
LIU Lirong, WANG Yudong, XIAO Zhihong, et al. Study on the communication transmission mode of transmission line on-line monitoring system [J]. Power System Communication, 2011, 32(4): 20-25.
- [3] 谭笑, 陈杰, 李陈莹, 等. 高压电力电缆增加段长关键技术研究及应用 [J]. 电力工程技术, 2018, 36(3): 91-96.
TAN Xiao, CHEN Jie, LI Chenying, et al. Research and application of key technologies for increasing section length of high voltage power cables [J]. Power Engineering Technology, 2018, 36(3): 91-96.
- [4] 王小波, 张在琛, 胡成博, 等. 一种改进的UWB空间定位方法研究[J]. 电力工程技术, 2018, 36(3): 72-77.
WANG Xiaobo, ZHANG Zaichen, HU Chengbo, et al. An improved UWB spatial positioning method [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 36(3): 72-77.
- [5] 郑宁, 杨曦, 吴双力. 低功耗广域网络技术综述[J]. 信息通信技术, 2017(1): 47-54.
ZHENG Ning, YANG Xi, WU Shuangli. Summary of low power wide area network technology[J].

Information and Communication Technology, 2017(1): 47-54.

- [6] 潘捷凯, 徐琼琼, 陈莉, 等. LoRa物联网技术在变电站中的应用前景[J]. 电工技术, 2018(24): 125-127.
PAN Jiekai, XU Qiongqiong, CHEN Li, et al. Application prospect of LoRa internet of things technology in substations [J]. Electric Engineering, 2018(24): 125-127.
- [7] 刘宏. 基于无线传感器网络电力铁塔监测系统的研究[J]. 电测与仪表, 2012, 49(8): 51-54.
LIU Hong. Research on power tower monitoring system based on wireless sensor network [J]. Electrical Measurement and Instrument, 2012, 49(8): 51-54.
- [8] 张波, 尚俊娜. 基于LoRa和GPRS的滑坡监测数据传输系统[J]. 通信技术, 2018, 51 (12): 2999-3005.
ZHANG Bo, SHANG Junna. Landslide monitoring data transmission system based on LoRa and GPRS [J]. Communication Technology, 2018, 51 (12): 2999-3005.
- [9] 邵嘉, 庞成鑫, 卢小姣, 等. LPWAN技术在能源物联网领域应用研究[J]. 物联网技术, 2018(12): 44-45.
SHAO Jia, PANG Chengxin, LU Xiaojiao, et al. Application of LPWAN technology in the field of energy internet of things [J]. Internet of Things Technology, 2018(12): 44-45.

作者简介



路永玲

路永玲(1988—), 女, 硕士研究生, 高级工程师, 从事输变电设备物联网技术、架空线路运维管理等工作。

(收稿日期: 2019-04-07) **EA**