



5.8 GHz 光纤融合通信在输电线路监测系统中的应用

全杰¹, 刘艳丽², 杨德龙¹, 雒宏礼³, 王欢³

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206;
3. 千江(上海)信息科技有限公司, 上海 200051)

摘要: 目前输电线路监测系统大多采用 2G/3G 无线公网进行通信, 但大山深处 2G/3G 信号较弱或无信号, 使得通信时断时续或直接中断, 导致采集到的状态监测数据难以可靠地传输到主站, 或者当有高清视频需求时, 2G/3G 无法满足这种高带宽要求。针对该问题, 提出 2G/3G+5.8 GHz 或 OPGW+5.8 GHz 融合通信模式, 将信号自动切换到 5.8 GHz 通信模式, 在主干线路与光纤复合架空地线(OPGW)融合后传回主站。在光纤融合通信基础上设计了输电线路监测系统及工作流程, 最后给出了应用实例和未来发展前景。

关键词: 输电线路监测; 2G/3G 通信; 5.8 GHz 通信; OPGW; 融合通信; 切换流程

中图分类号: TN915.853

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016201

Application of 5.8 GHz optical fiber converged communication in transmission line monitoring system

TONG Jie¹, LIU Yanli², YANG Delong¹, LUO Hongli³, WANG Huan³

1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China

2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

3. Qianjiang(Shanghai) Science and Technology Development Co., Ltd., Shanghai 200051, China

Abstract: When in the depths of the mountains, 2G/3G signal is weak or don't exist, or when the high definition video is needed, 2G/3G couldn't meet requirements of such high bandwidth, so that communication is intermittent or interrupt, resulting in the condition monitoring data is difficult to transmit reliably to the master station. To solve this problem, 2G/3G+5.8 GHz or 5.8 GHz +OPGW converged communication mode was proposed, the signal could be switched automatically to the 5.8 GHz communication mode, and transmits back to the master station after converging the main line and OPGW. Based on the optical fiber converged communication, the transmission line monitoring system and work flow were designed and the application example and the future development prospect were given finally.

Key words: transmission line monitoring, 2G/3G communication, 5.8 GHz communication, OPGW, converged communication, switching process

收稿日期: 2016-01-21; 修回日期: 2016-07-13

通信作者: 刘艳丽, 18811313711@163.com

基金项目: 国家电网总部科技项目“输电线路在线监测装置质量提升关键技术研究及应用”(No.GC71-15-040); 国家发展和改革委员会项目“面向智能电网的物联网光纤传感与中短距无线通信新技术研发及产业化”(发改办高技[2012]2766号)

Foundation Items: The Science and Technology Project of State Grid Headquarters “Key Technology Research and Application of Quality Improvement in Transmission Line Online Monitoring Device”(No.GC71-15-040), The Project of National Development and Reform Commission “The Research and Industrialization of Optical Fiber Sensing for the Internet of Things and Short-Range Wireless Communication New Technology in Smart Grid”(High Technology of National Development and Reform Commission [2012]2766)

1 引言

我国的输电网络覆盖广阔、地理环境复杂,对于输电线路监测而言,尤其是输电线路途经山区,跨越江河、湖泊,穿越无人区等情况下,监测数据通常采用 2G/3G 进行传输^[1],但信号弱甚至无信号,容易形成盲区。而在该区域 5.8 GHz 频段较干净,受雨衰影响不大,配合定向天线,适合远距离传输,因此采用 2G/3G+5.8 GHz 相融合的通信方式可以有效地解决上述问题^[2]。

输电线路主要有光纤覆盖线路和无光纤覆盖线路,其运行环境复杂且多变。目前大部分线路上都铺设了光纤复合架空地线 (optical fiber composite overhead ground wire, OPGW) 或全介质自承式光缆 (all-dielectric self-supporting optical cable, ADSS), 其可靠性好、抗干扰能力强等特点,使得光纤传输得到广泛应用。但并不是每一个杆塔上都可以接入光纤,光纤接入点每隔 3~5 km 才有 1 个。光纤覆盖且有光纤接入点的杆塔,可采用无线+OPGW 通信;光纤覆盖但无光纤接入点的杆塔或无光纤覆盖的线路上,须借助无线方式通信。

由此可见,将 2G/3G 和 5.8 GHz 无线通信相结合,或在无线覆盖盲区将 5.8 GHz 和 OPGW 相结合,最终在主干线路与 OPGW 融合后传回主站是输电线路监测系统的一

个很好的通信方案。

2 输电线路监测系统概述

2.1 输电监测系统模型

近几年,国家电网公司加大推行从“定期巡检”到“状态检修”的转变,加强对输电线路状态的监测,在灾害发生前进行及时的预警和处理,以提高电网运行的稳定性。我国的输电线路在线监测系统主要对导线覆冰、导线微风振动、绝缘子串风偏(倾斜)、杆塔倾斜、绝缘子污秽、气象监测(微气象环境的温湿度、风速、风向、日照辐射强度)等进行监测。输电线路在线监测系统模型如图 1 所示。

通信包含两部分:第一部分是本地融合通信,也称现场融合通信,是指各类传感器与子站系统间的通信,其中,传感器安装在杆塔或导线上。传感器节点采集监测数据,通过 Wi-Fi、WiMAX 等无线网络传输到子站系统,子站系统完成数据存储和处理。第二部分是远程融合通信,指杆塔子站系统与主站系统的较远距离的通信,其中,子站系统包括状态监测装置及状态监测代理,安装在杆塔上。子站系统以 GPRS 公网或电力专网的形式,把监测数据传到主站。主站系统存储并处理监测数据,为输电线路的运维提供参考。

2.2 输电线路监测通信方式现状

安全可靠的通信方式是输电线路的关键。目前输电

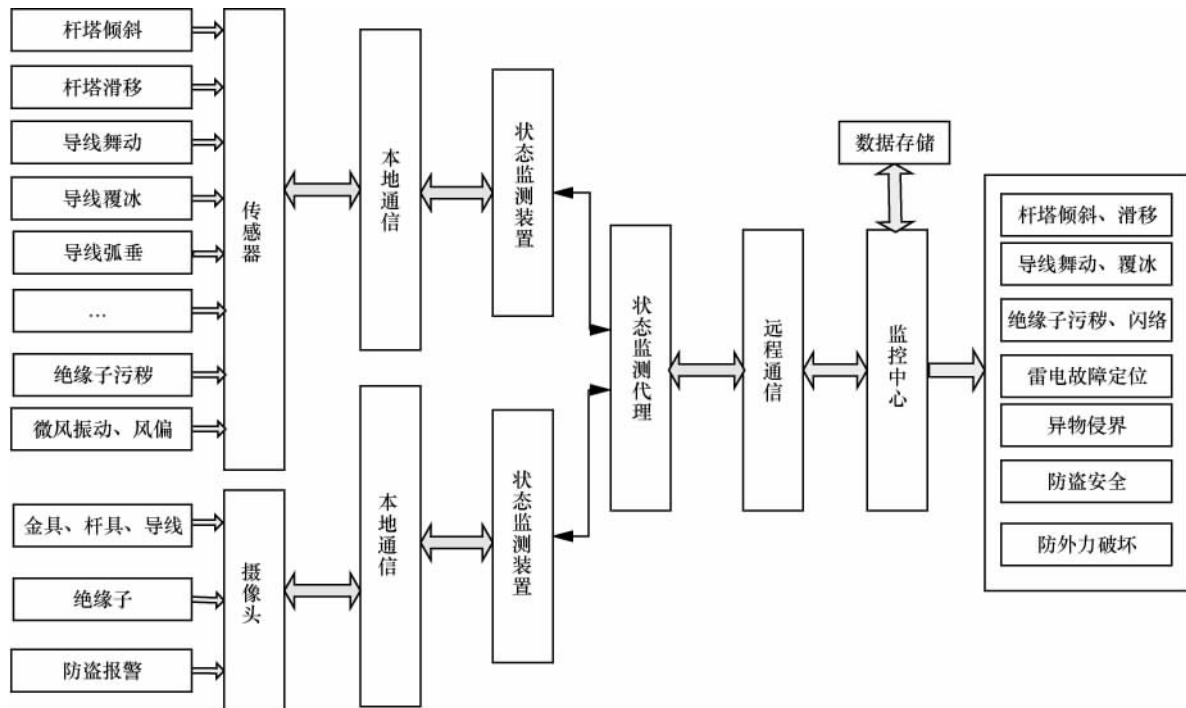


图 1 输电线路在线监测系统模型



线路状态监测系统中,主要采用光纤 EPON、工业以太网交换机、无线 Wi-Fi 技术和公网技术。本文对当前主流的输电监测通信方式,包括光纤通信方式、无线公网方式(2G/3G)、5.8 GHz 无线专网通信方式进行技术比较和分析,见表 1。

通过比较知道,3 种通信方式各有利弊:2G/3G 无线公网技术成熟、建设成本低,缺点是通信性能和数据安全性差,部分边远地区存在覆盖面问题^[4];而边远地区的 5.8 GHz 频段较干净,配合定向天线,能实现远距离、大容量传输,但靠近城区时易受干扰;光纤方式抗干扰、实时性好、安全性高,但是不可频繁将 OPGW 光缆开口。因此,扬长避短,在已有的 2G/3G 输电线路监测系统中,如存在信号弱或信号不稳定的问题,或者有高清视频需求时,引入 5.8 GHz,将 2G/3G 和 5.8 GHz 相融合。视频的需求通常是“间歇性”的,而且限于杆塔上电池供电系统的容量,视频和 5.8 GHz

通信设备处于“用时开闲时关”的状态,只在有高清视频需要时才打开 5.8 GHz 网络,另外当 2G/3G 不能稳定提供服务时,也会切换到 5.8 GHz。这种低带宽业务使用 2G/3G,高带宽业务使用 5.8 GHz,同时 5.8 GHz 作为 2G/3G 备用通道的融合模式,既保护了已有的投资,又提高了较低供电能力下各种业务运行的可靠性。在新建输电线路监测系统中,如有高带宽业务的需求,可以将 OPGW 与 5.8 GHz 通信相结合,既充分利用了光纤通信强大的优点,又解决了没有光纤接入点和 2G/3G 通信盲区的问题,并且满足所有高清视频的带宽要求。

4G 时代的到来,为人们带来了相对于 2G/3G 网络通信速度更快、网络频谱更宽、智能性更高、频率使用效率更高的通信技术,将 4G 技术应用到输电线路监测系统尤其是高清视频监控中,达到提升输电线路巡视效率的目的,更有效地维护电力的稳定、安全和连续,也已经成为一种

表 1 输电监测通信方式比较

对比项目	光纤方式	2G/3G 无线公网	5.8 GHz 无线专网	对比分析
系统带宽	光纤通信方式包括 EPON、SDH 等,每个节点可以获得 2 Mbit/s 左右的带宽,最大可以达到 30 Mbit/s	上行带宽小,2G 网络带宽为 56~114 kbit/s,3G 网络带宽为 100~200 kbit/s	点到多点模式,每个节点可以提供 2~5 Mbit/s 带宽;点到点的模式,最大带宽为 300 Mbit/s	光纤方式提供带宽最大,5.8 GHz 无线专网次之,2G/3G 无线公网最小;2G/3G 方式带宽有限,不支持图像传输;其他带宽符合图像传输要求
系统实时性	系统时延较低、实时性高	需要与运营商 IP 网络网关转换,系统时延大于秒级	系统时延小(通常为 5ms)、效率高	光纤方式和无线专网有较高的实时性,2G/3G 方式实时性较差
系统可靠性	需选择工业级产品,系统可靠性高	需选择工业级模块,比民用代价大,但网络本身是面向民用级	本身符合工业级需求,具备野外特性,可靠性好	都需要采用工业级产品,符合电力高可靠性的需求
系统安全性	电网有线内网,安全性高	运营商提供网络,安全性差	无线内网,无线数据有特殊编码、封装和加密,安全性高	公网方式需考虑通信安全问题;光纤专网,5.8 GHz 无线专网安全性高
系统可用性	系统可用性强,稳定可靠	覆盖取决于运营商建设;有信号盲区;会受到恶劣气候、树木遮掩、电磁波的干扰	会受到恶劣气候、树木遮掩、电磁波的干扰,需从调制方式、天线、规划等方面进行优化设计	光纤系统可用性最高;无线方式均存在天气、遮挡、电磁波的干扰;需要选用先进的调制方式、天线方式提升可用性
系统抗干扰性	光纤系统抗干扰性强	抗干扰性一般;本身为民用系统,完全取决于运营商	物理层采用 OFDM、收发分集和自适应调制等多种先进技术实现非视距传输 ^[2]	光纤系统抗干扰性最高;无线公网完全取决于运营商;5.8 GHz 无线专网可以采用先进的调制技术提高抗扰性
系统施工难度	需要施工光缆;不建议频繁将 OPGW 光缆开口;OPGW、ADSS 施工都有完善的施工规范	无线设备,无需光缆,施工代价低	无线设备,无需光缆,施工代价低	OPGW 在短距离内,不应频繁开口;无线方式施工方便
系统成本	包括光缆成本、光缆施工成本、光纤通信设备成本	包括通信设备成本、安装、施工成本、租用运营商网络费用	包括无线专网设备价格、安装、施工成本	如需视频应用,无线公网后期费用最高,光纤前期费用最高
系统维护	光纤通信系统为电网自有网络,需要维护网络和设备	只考虑维护终端设备	系统为电网自有网络,需要维护设备,无线网络无需维护	公网方案所需维护量最小;无线方式需维护设备;光纤有线方式需维护设备和网络

可行的技术手段。但 4G 无线通信网络还存在很多问题,如网络覆盖问题,输电线路尤其是国家特高压输电线路途经的高山、森林、沙漠等地区,在未来很长时间内,为普通公众提供服务的运营商都不会建立有效的覆盖;如何保证楼区、山区及其他有障碍物等易受影响地区的信号强度等问题;且后期流量费较高,同时市场一时难以消化,设施难以更新。总的来说,4G 通信可以局部、有条件地应用于输电线路监测系统。同理,未来的 5G 在输电线路监测方面可能面临比 4G 更大的问题。

3 基于 5.8 GHz 的光纤融合通信方案设计

图 2 为基于 5.8 GHz 光纤融合通信的输电线路监测系统。系统由传感器、本地通信(也称现场通信)、状态监测设备(condition monitoring device, CMD)、状态监测代理(condition monitoring agent, CMA)、基于 5.8 GHz 的光纤融合通信网络和主站组成。系统前端是若干部署在高压塔或输电线路上的采集设备或传感器, CMD(通常安装在高压塔上)内置采集模块和本地融合通信模块,通过本地融合通信方式和传感器进行通信,即状态监测设备发送(下行)采集命令,采集命令通过本地融合通信方式传给传感器,传感器接到命令后将状态监测数据通过本地融合通信方式上传给状态监测代理,从而完成输电线路状态监测数据

的采集。传感器也可通过本地融合通信方式按周期、定时、主动上传状态监测数据。

3.1 本地融合(现场融合)通信

对于杆塔监测现场通信而言,采用本地融合通信,需要将现场的监测数据,如杆塔倾斜、导线弧垂、导线舞动、导线温度、微风振动等数据,经 CMD 可靠地传输到 CMA。尤其是在 CMD 与各检测传感器之间采用融合通信提高可靠性,本地融合通信如图 3 所示。不仅可以进行无线融合,也可进行有线融合,甚至有线—无线混合融合。其中无线融合包括蓝牙(bluetooth)、ZigBee、Wi-Fi 等;有线融合包括 RJ45、同轴(EOC)、RS232/RS485 等。将监测数据以融合通信方式传送给 CMD,并进行预处理,多个 CMD 的数据汇集到 CMA,并进行数据标准化处理,做好远程传送数据的准备。

3.2 状态监测代理与主站间远程融合通信

如图 4 所示,远程融合通信是连接 CMD、CMA 和网络省、总部主站的桥梁。传感器完成状态监测数据的采集后,首先以现场通信的方式将数据传输到 CMD,随后 CMD 将数据上传到 CMA,在 CMA 中汇聚并进行智能化处理,然后通过远程融合通信方式,直接接入状态信息接入网关机(condition information acquisition gateway, CAG), CAG 布置在主站侧,可完成图像或视频等信息的接入。

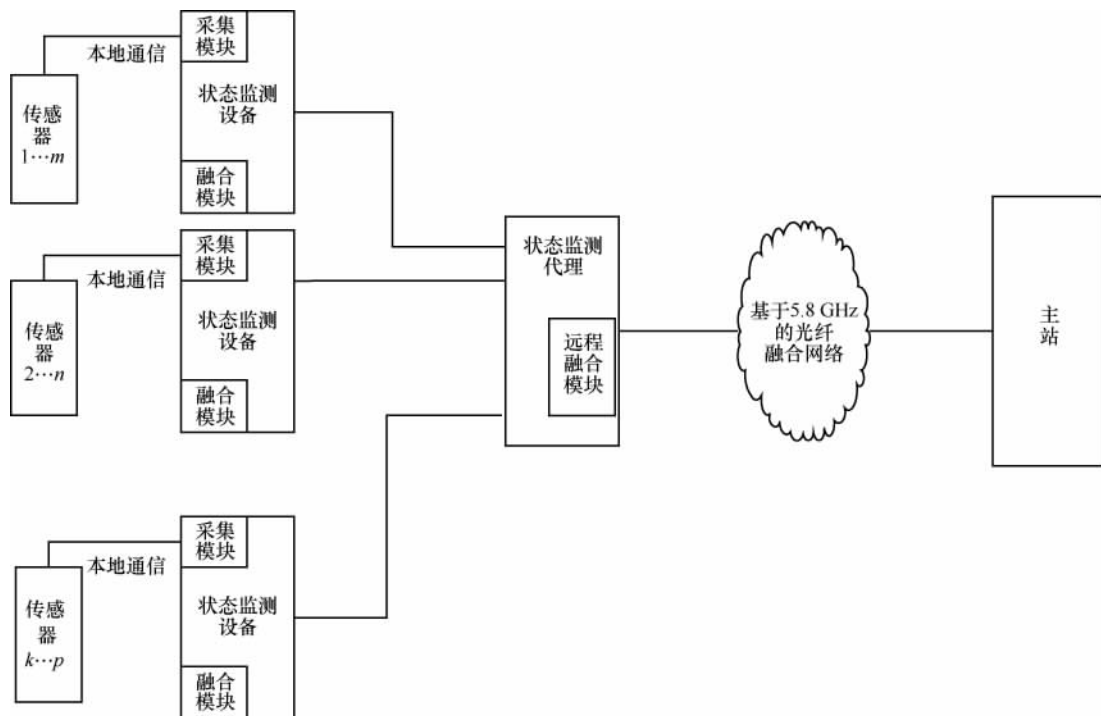


图 2 基于 5.8 GHz 融合通信的输电线路监测系统

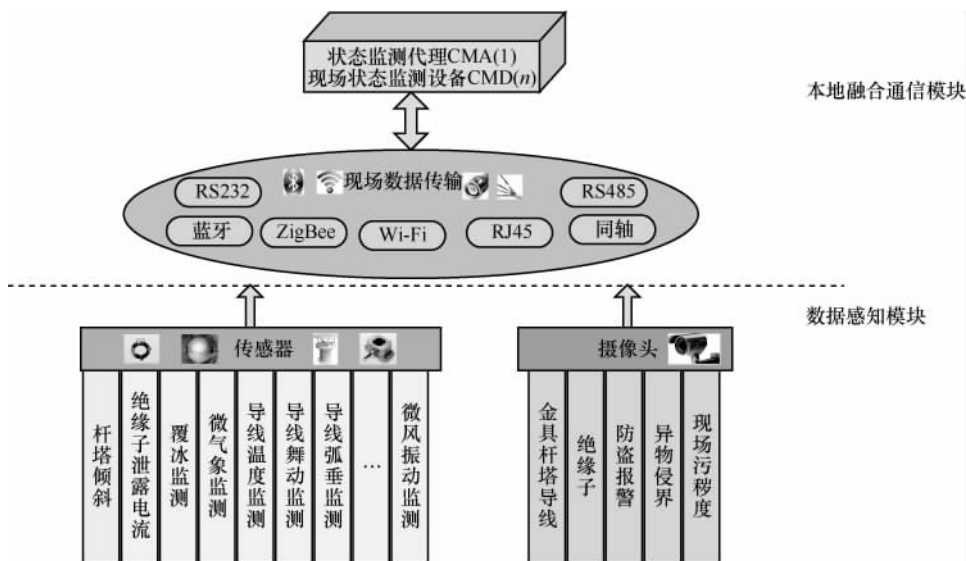


图3 本地融合通信模块

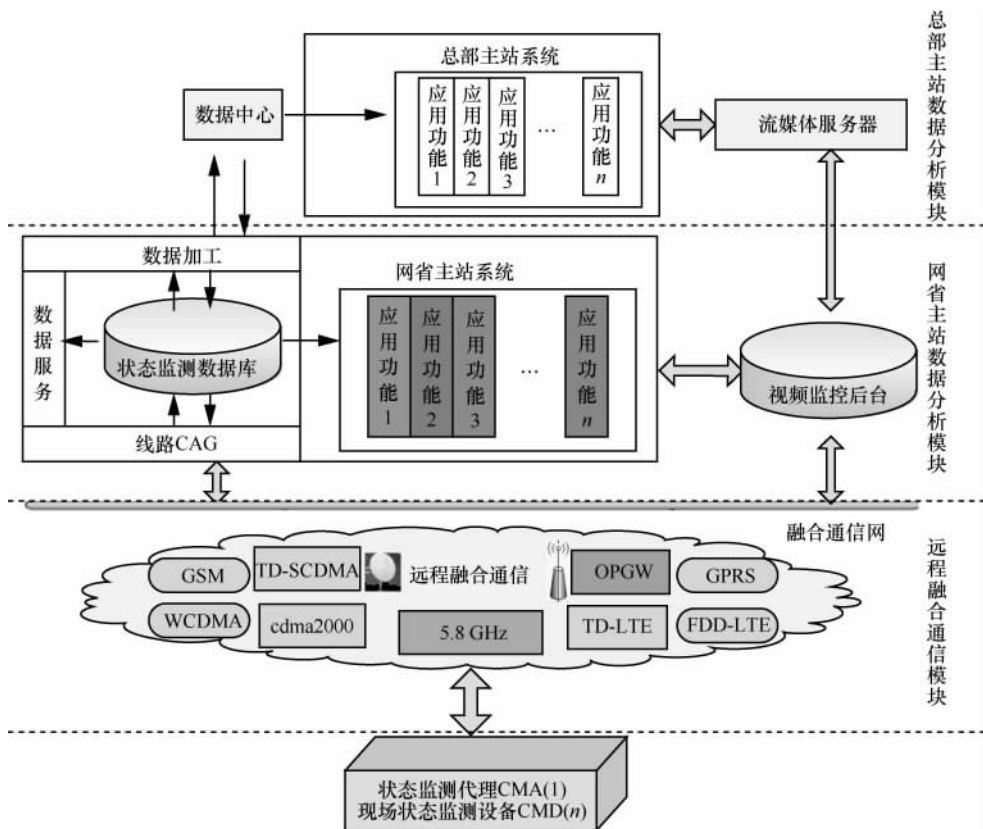


图4 远程融合通信模块

基于 5.8 GHz 的光纤融合通信,完成主站系统与输电线路 CMA 之间的心跳交互、数据交互、读配置交互、写配置交互、控制交互和远程更新等交互过程^[9]。当前主要采用 2G/3G 无线通信实现监测数据的远程传输(上行)或者主站命令的下达(下行),当监测设备处于大山深处信号弱区

或信号盲区时,监测数据很难正常传送到主站,因此采用融合通信方式是一个很好的选择。基于 5.8 GHz 做融合,如图 2 所示,在 CMA 内置远程通信融合模块。远程通信融合模块如图 4 所示。将 GSM 或 GPRS、WCDMA 或 cdma2000 或 TD-SCDMA、FDD-LTE 或 TD-LTE 网络,有效

地连接、融合起来,则可以让来自 CMA 的监测数据保持畅通,顺利到达主站;利用部署在输电线路上的 OPGW,将 5.8 GHz 和 OPGW 有效连接、融合,将数据接入变电站,再通过已建 SDH(synchronous digital hierarchy,同步数字体系)网络接入主站服务器。

基于 5.8 GHz 构建光纤融合通信监测网络,能充分利用 OPGW,兼具地线和融合通信的功能。由于光纤具有抗电磁干扰、自重轻、较高的可靠性、优越的机械性能等显著特点,这种技术在新敷设或更换现有地线时尤其适合和经济^[5]。对于无 OPGW 敷设线路,采用 5.8 GHz 无线进行接续,由于 5.8 GHz 属于电力专网,既保证了高带宽,又保障了网络安全。

3.3 数据采集与通信切换

对于输电监测而言,一个典型通信场景如下:首先由主站系统下达采集命令,该命令首先由 OPGW 光纤传输,

接着由 2G/3G 网络进行传输;2G/3G 信号切换模块会对信号进行实时监测,一旦该信号小于信号强度门限值(一般门限设置范围为-100~-90 dBm),同时持续时间大于 30 s (一般时间设置范围为 6~100 s),便主动给主站发送一个通道告警信息,主站下发命令将信道转换到 5.8 GHz 网络;通过 5.8 GHz 网络将采集命令传输到 CMA,CMA 将命令传给 CMD,CMD 通过本地通信网络将采集命令传给相应的输电线路状态检测传感器;传感器将输电线路当前状态数据经本地通信网络回传给 CMD,CMD 收到数据后,将该数据传给 CMA,CMA 收到数据后,将数据进行标准化处理,通过 5.8 GHz 网络进行传输,最终经 OPGW 传回主站。当信号恢复正常时,又切换回 2G/3G 网络进行传送。采集与通信切换流程如图 5 所示。

3.4 融合通信安全模块

融合通信安全模块采用国家密码管理局认可的 SM1

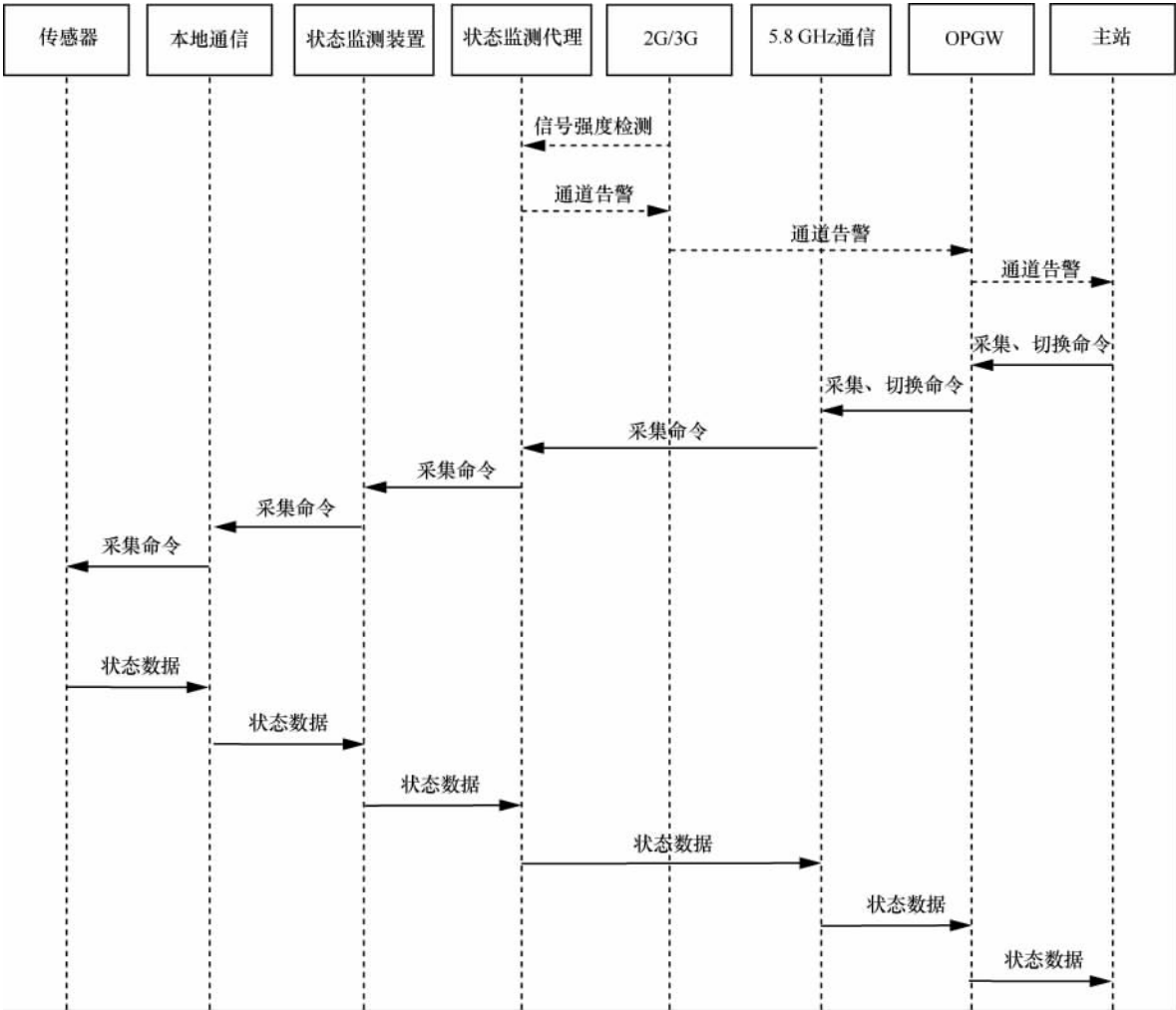


图 5 输电线路状态数据采集与通信切换流程



加密芯片,接口为 ISO 7816-3 和 USB 两种^[6]。融合通信安全模块采用对称 SM1 算法,对数据的加密和解密,采用非对称 RSA 算法在网络层实现身份认证和数据签名。CMA、CAC(condition acquisition controller,状态接入控制器)应采用融合通信安全模块来实现和安全接入平台采集接入网关网络层的身份认证和数据加解密,保证数据在无线或有线网络中的安全可靠传输。

4 应用实例及验证

为确保本文设计的融合通信网络的可行性,采用 5.8 GHz+2G/3G、5.8 GHz+OPGW 融合通信方式,实现 220 kV 青利线等输电线路监测,其中,5.8 GHz 采用点到多点或点到点拓扑方式。当 2G/3G 信号差时,自动切换为 5.8 GHz。若监测节点之间的距离较小(20 km 以内),则选用无线点到多点方式;如果监测点间距太大(50 km 以内),应先实际勘测间距和海拔高度,然后进行成本预算、地理分析、链路仿真等,确定最理想的汇聚节点并将数据全部汇聚,最后以光纤传输方式传送到变电站。

候桥 330 kV 变电站所覆盖的 220 kV 坡恩线、青坡线

等输电线路监测的监测节点有青坡线 17#、青坡线 51#、青利线 55#、坡恩线 78# 等共计 8 级杆塔。青利线 55# 到候桥变采用 OPGW 光缆传输;青坡线 17# 和铜侯 I 回 20# 到青利线 55# 采用 5.8 GHz 传输;青坡线 51# 和青坡线 55# 到候桥变采用 2G/3G+5.8 GHz 的传输方式;坡恩线 72#、坡恩线 75# 和坡恩线 78# 到候桥变采用 5.8 GHz 的传输方式。候桥 330 kV 变电站到青坡线 51#、青利线 55# 到青坡线 17# 链路状况的仿真结果,如图 7 所示。

图 7 中阴影部分(上)表示两个杆塔之间无线设备的模拟菲尼尔区,从图 7 可以看出,菲尼尔区完全正常,没有任何的破坏;阴影部分(下)表示山体或其他遮挡物,直线表示两个杆塔间的 5.8 GHz 无线设备到最高点的距离。

图 8 中阴影部分(上)表示两个杆塔之间无线设备的模拟菲尼尔区,从图 8 可以看出,菲尼尔区完全正常,没有任何的破坏;阴影部分(下)表示山体或其他遮挡物,直线表示两个杆塔间的 5.8 GHz 无线设备到最高点的距离。

坡恩线 72#、坡恩线 75# 和坡恩线 78# 这三级杆塔的移动网络信号非常差,所以采用 5.8 GHz 直接和候桥 330 kV 变电站建立通信,且离变电站距离不远,最远的坡恩线

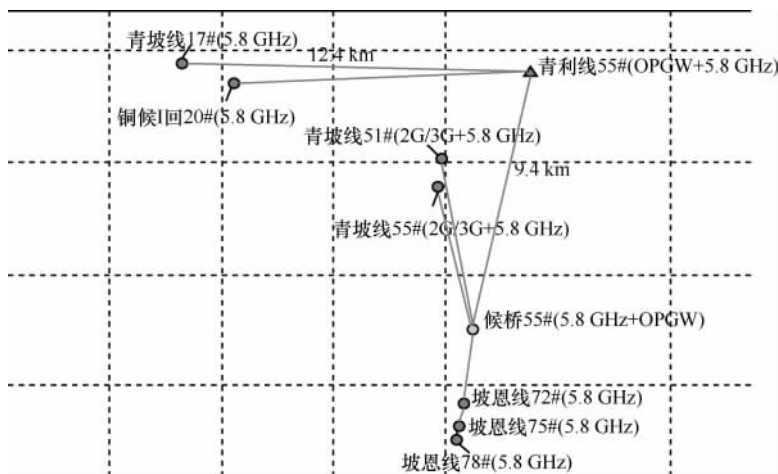


图 6 候桥 330 kV 变电站接入节点无线组网软件拓扑

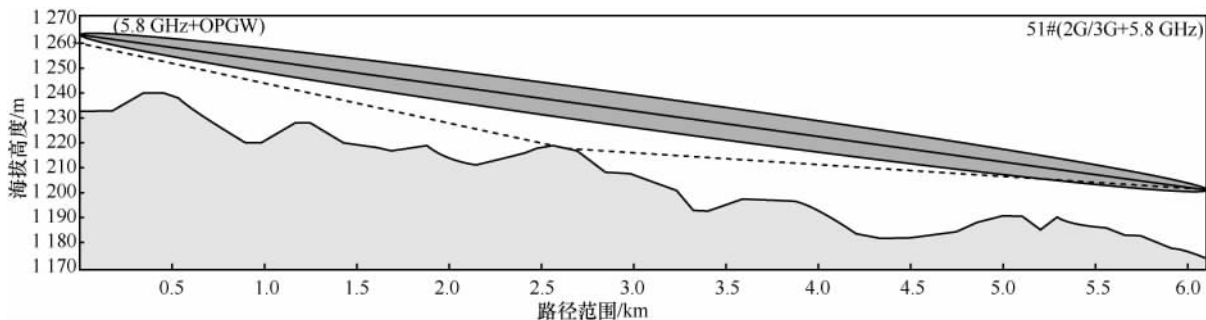


图 7 候桥 330 kV 变电站到青坡线 51# 链路的仿真

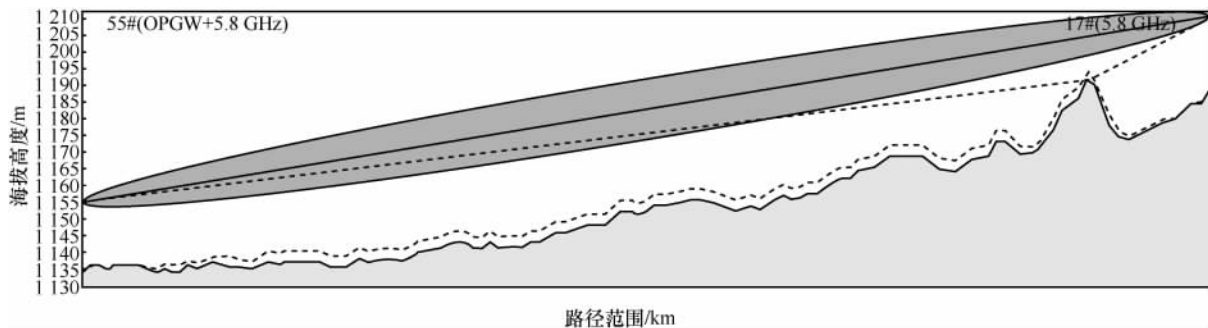


图8 青利线 55# 到青坡线 17# 链路的仿真

78# 杆塔离候桥变电站 3.8 km 左右,模拟仿真结果基本一样。青坡线 51# 和青坡线 55# 两级杆塔的移动网络信号相对好一点,但特殊情况下会突破门限值,导致视频不稳定,所以在青坡线 51# 和青坡线 55# 两级杆塔同时铺设 5.8 GHz 无线设备,当移动网络信号不稳定时,自动切换到 5.8 GHz 回传数据。从图 7 可以看出,候桥 330 kV 变电站到青坡线 51# 杆塔之间 5.8 GHz 无线链路信号质量良好,完全满足视频数据传输。青利线 55# 杆塔铺设 OPGW 光缆,且 OPGW 光缆到候桥变电站已经建立,青坡线 17# 和铜候 I 回 20# 直接回候桥变,通过模拟发现链路中间存在阻挡,无线链路无法建立。通过图 8 模拟发现青利线 55# 到青坡线 17# 5.8 GHz 无线链路质量良好,所以设计为青坡线 17# 和铜候 I 回 20# 杆塔采用 5.8 GHz 将数据回传至青利线 55# 杆塔,再通过青利线 55# 杆塔的 OPGW 光缆将数据回传至候桥变。其他没有仿真的监测节点经过仿真及实际测试也可以连通。试验表明切换流畅。

5 结束语

本文提出了采用 5.8 GHz 和多网融合^[7](如 5.8 GHz+2G/3G 融合^[8]、5.8 GHz+OPGW 融合)的通信模式,在 2G/3G 信号较弱时,设计了自动切换模块,将信号切换到 5.8 GHz 工作模式,最终通过光纤网络传回主站,确保了传输的可靠性。该方法有效避免了特殊地区(如偏远地区、环境恶劣地区)公网信号差而造成监测数据传输不可靠问题,可以实时监控线路状态及周围环境变化,实现输电线路安全预警和辅助决策^[9]。本文的设计有利于推动智能电网输电环节的发展,有很好的应用前景。

参考文献:

[1] 李源源. 智能输电线路监测模式与监测框架研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

LI Y Y. Research on the framework of intelligent transmission line monitoring and monitoring [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.

[2] 张健, 华巧. 5.8G 无线宽带技术在电力系统应用的可行性分析 [J]. 长沙电力学院学报, 2005(11): 9-13.

ZHANG J, HUA Q. 5.8G wireless broadband technology in power system application feasibility analysis [J]. Changsha Electric Power College Journal, 2005(11): 9-13.

[3] 韩如月, 李俊刚, 宋小会, 等. 输变电设备状态监测系统设计与实现 [J]. 高压电器, 2012(1): 58-64.

HAN R Y, LI J G, SONG X H, et al. The design of transmission equipment condition monitoring system [J]. High Voltage Apparatus, 2012(1): 58-64.

[4] 张华芳. 基于 Mesh 的高压输电线路监测通信系统研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2013.

ZHANG H F Z. Research on high voltage transmission line monitoring and communication system based on Mesh [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.

[5] 于祝芳. 论光纤通信技术的特点和发展趋势 [J]. 机电信息, 2010(18).

YU Z F. The characteristics and development trend of optical fiber communication technology [J]. Mechanical and Electrical Information, 2010(18).

[6] 国家电网公司. 输变电设备状态监测系统技术导则 [S]. 2010.

State Grid Corporation. Technical guidelines of transmission equipment condition monitoring system [S]. 2010.

[7] 林克章. 无线网络异构融合机制的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.

LIN K Z. Research on heterogeneous fusion mechanism of wireless network [D]. Xi'an: Xi'an Electronic and Science University, 2007.

[8] 郭丽芳. 基于 2G/3G 网络融合的网络管理流程优化研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.

GUO L F. Network management process optimization based on 2G/3G network integration [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010.



[9] 高超. 输电线路在线监测的建设与应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.

GAO C. The construction and application of transmission line online monitoring [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.

[作者简介]



全杰(1983-),男,博士,中国电力科学研究院高级工程师,主要研究方向为电力物联网、电力无线通信和能源互联网。



刘艳丽(1990-),女,华北电力大学电气与电子工程学院硕士生,主要研究方向为电力无线通信。



杨德龙(1989-),男,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为电力系统通信。



维宏礼(1975-),男,千江(上海)信息科技有限公司技术总工程师,主要研究方向为通信与数据分析、输电线路无线通信专网。



王欢(1989-),女,千江(上海)信息科技有限公司工程师,主要研究方向为输电线路无线通信专网。