



基于LPWAN技术的能源电力物联专网

陈永波¹, 汤奕², 艾鑫伟¹, 徐博¹

(1. 中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京 210012; 2. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210018)

摘要: 基于低功耗广域网(LPWAN)技术, 利用现有电力通信专网实现数据回传的运营级云管端一体化能源电力物联专网方案, 实现了电力通信专网与LPWAN物联网技术的融合, 为能源互联网提供广泛海量的“小数据”连接, 具备低成本、个性化、灵活性优势。可满足四表合一、源网荷互动、电气设备温度监测、配电故障指示器等的连接需求, 还可实现包括发电厂、变电站、电动交通基础设施、分布式发电运维、环境监测等能源互联网业务的海量小数据连接需求。

关键词: 小数据; LPWAN; 电力物联网; 低功耗; 广覆盖; 能源互联网; 电力通信

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017051

Electricity internet of things based on LPWAN technology

CHEN Yongbo¹, TANG Yi², AI Xinwei¹, XU Bo¹

1. ZTE Corporation, Nanjing 210012, China

2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210018, China

Abstract: Based on the low power consumption wide area network (LPWAN) technology, operation-level cloud-side integration of energy and power of the internet of things program was achieved using the existing power communication network to realize the data back-to-back. It realized the integration of electric power communication network and LPWAN internet of things technology, provided a wide range of mass “small data” connection for the energy of the internet. It had advantages of low-cost, personalized and flexible. It could meet the connection needs of four-in-one, the source network load interaction, temperature monitoring of electrical equipment and power distribution fault indicator. It could also achieve massive small data connection needs of power plants, substations, electric transport infrastructure, distributed generation operation and maintenance, environmental monitoring energy internet business and so on.

Key words: small data, LPWAN, electricity internet of things, low power consumption, wide coverage, internet of energy, power communication

1 引言

能源互联网通过信息通信深度融入能源电力系统, 实现广泛的新能源开发利用, 建立电力市场, 为用户提供多样化、自主可控的能源获取渠

道和方法。能源互联网需要海量的数据连接支持, 如新能源的随机性特点需要天气、分布式发电点、储能点、分散负荷点等各种数据与系统实现互动, 保证新能源的消纳和系统的稳定; 需要大量的用户电器设备数据, 实现需求侧响应等互动功能;

收稿日期: 2016-12-11; 修回日期: 2017-02-18



能源电力系统运维需要深度数据连接,实现精细化、可预测、高效率的运维管理,如状态检修、故障预判、动态全寿命周期管理等功能。

在前智能电网时代和智能电网初期,能源电力系统已经实现了生产业务流程中关键节点的数据连接,满足了电力系统的自动化调度管理、安全稳定控制和生产自动化的业务需求。为此,中国电力系统建设了以总线通信+接入网+骨干通信网为主,无线通信为辅的电力通信专网。电力通信专网以高带宽、高实时性、高可靠性和高安全性为主要特点,覆盖了几乎所有的发电厂、中压以上变电站和重要的用户变电站。

为满足越来越多远距离物联网设备的连接需求,LPWAN(low power wide area network,低功耗广域网络)应运而生。LPWAN专为低功耗、远距离、低带宽、大量连接的物联网应用而设计^[1],具有超低功耗、广覆盖、低带宽、低速率、支持海量连接的特点,是物联网领域研究和应用开发的新热点。LPWAN特别适合状态变化慢、采集频次低、越限影响大、业务相关性强、高度分散分布的“小数据”连接,在能源互联网广泛海量的连接需求中,同样存在这样的“小数据”,如电气设备温度、用户电器运行状态、配网设备(如故障指示器)状态、智能表计量数据、分布式发电设备状态、杆塔倾斜状态、电气设备位移状态、基础沉降状态等,不一而足。采用LPWAN物联网技术,与现有电力通信专网融合,建设运营级的能源电力物联专网,实现“小数据”连接,是能源互联网发展的重要支撑。

2 能源电力物联网小数据特性分析

随着智能电网的发展,物联网技术已经在能源电力行业得到广泛应用,例如输电线路在线监测、智能巡检、智能用户服务、电动汽车辅助管理等^[2]。然而能源电力系统中的“小数据”还无法快速、灵活、廉价地有效连接和获取。这是目

前智能电网建设应用的一项短板,也是能源互联网发展迫切需要解决的连接问题。这些“小数据”与已经连接的诸如“三遥”数据相比,具有显著的自身特性。

(1) 业务相关性强,系统运维中对此类数据需求强烈

在电力系统发、输、变、配、用等各环节的日常运营维护和检修过程中,依然遇到诸多数据连接的困扰,包括大量电气设备的运行温度需要监测,以预防设备故障,防止火灾发生;需要连接用户电器,实现双向互动,进行需求侧响应调度;分布式发电的智能运维需要设备状态的连接;杆塔倾斜、设备基础沉降、导线张力等各类电气设施状态数据的连接,实现动态资产管理和状态检修;运维和检修人员迫切希望能够快速高效掌握这些相关数据,为电力系统稳定运行、资产高效管理、分布式新能源维护等业务提供引导,实现智能生产、智慧运维。

(2) 海量数据分布广、分散性强,部分不易供电、连接难

此类数据在整个城市的供电范围内,甚至大范围地分布在城郊、乡村等供电区域,呈现分布范围广的特点,为采集这些数据,需要大范围覆盖网络才能实现。大量的数据分布在地下室、电缆井、设备间、街巷、地下管路、隧道、市场、建筑室内等各种隐蔽和复杂环境场所,数据分布极为分散。而各种车辆、运检施工人员、运输中的设备、工程机械车辆等又呈现频度不一的移动性特征,使得数据的分散性更高,需要渗透性强的网络采集这些高度分散的数据。另外,此类数据的载体往往无法为传感器提供稳定电源,广覆盖、高渗透性能的网络又需要大范围、大量补盲部署,因此网络覆盖设备和传感器均需要尽可能地降低功耗,极大地减轻能源获取的难度,才能方便地利用无所不在的分布式新能源技术(包括光伏发电、压力发电、高能电池、风力发电等)

实现网络覆盖和传感部署。

(3) 单数据价值密度低, 集合后价值高

此类数据在能源电力系统中分布相当广泛, 单点数据价值有限, 但集中起来规模相当庞大, 呈海量特点, 聚合后呈现体量巨大、种类繁多、价值密度低、处理速度要求快等特征。如电气设备和电缆温度的数据, 某城市仅示范项目第一期即部署了 1 万个采集点, 根据规划, 未来将部署 3 万多个采集点, 要想全面实现全市电气设备和电缆温度监测, 需要部署 10 万多点。单点温度的日常采集对日常管理并没有太大作用, 但是一个供电回路或一片供电区域大量的温度监测数据变化趋势可反映出供电设备的状态, 实现故障预判, 防止电气火灾发生。根据相关报道和统计, 2015 年底, 全国安装智能电表约 3 亿只, 每天产生数十 TB 数据, 每年产生上千 PB 数据。电表安装在亿万电力用户处, 分布的广泛性更为显著。智能电表数据集合后的大数据特征显著, 采用大数据技术对用户电表数据进行分析挖掘, 实现用户用电行为的特征分析, 可为电网规划、负荷预测、需求响应等各类能源电力应用提供高价值的基础数据信息。

(4) 状态变化缓慢稳定, 采集频次需求低

大部分此类数据的状态变化缓慢, 呈现稳态特性, 如设备基础沉降、电气设备温度、杆塔倾斜、导线张力等, 其状态均在分钟级、小时级、日级或更长的时间尺度内缓慢变化, 而不像工业生产过程的秒级以下尺度的高实时性变化。因此对此类数据采集的频次很低就能满足需要, 例如: 对设备应力形变、基础沉降的监测, 每日采集一次或两次数据即可, 如果采用变化量越限方式采集, 则数天甚至数月一次的频率也能满足监测需要; 对智能电表数据的采集, 如果只采集计量用数据, 则每月或两月一次即可, 即使要监测用户用电的行为特征, 10 多分钟一次的频率也能满足大部分应用需求。

(5) 日常关注度低, 越限十分关键, 影响较大

此类数据状态变化如前所述, 平常较为缓慢, 但是在量变累积过程中或出现意外因素将导致突变。人们在日常运维工作当中, 往往忽略此类数据。在数据发生突变时, 数据会突然提升为关键数据, 受到强烈关注。例如: 某变压器铁芯温度在正常情况下, 是不被关注的。但是在发生电气故障时, 温度突然快速上升, 则会受到强烈关注, 在必要时需要启动保护动作, 防止故障扩大, 阻止引起火灾等灾难性事故。水电气热等表计同样如此, 在日常生活中, 基本不被关注, 但是一旦收到账单或者对账单有疑问时, 则会很关心这些电表数据。环境监控的消防数据特点更为明显, 站内日常的温感、烟感等火灾报警数据基本上不被人们关注, 甚至大部分消防传感器在整个使用周期都不会发挥作用。但是一旦发生电气火灾等险情, 消防传感器就体现出至关重要的作用, 为火灾的预警、提前处理产生关键作用, 可大幅帮助减少火灾损失。

3 LPWAN技术简述

显然, 上述“小数据”在智能电网建设、能源互联网发展应用中非常关键, 迫切需要接入, 实现能源互联网的各类应用和功能。因此需要支持海量物联节点快捷、方便、廉价接入的物联网技术, 实现大规模小数据采集, 为能源互联网应用发展服务。LPWAN正是针对小数据的连接特点而发展起来的物联网技术, 这种技术所具备的低成本、低功耗、广覆盖、低速率、海量接入等特点十分适合小数据的连接。

3.1 低成本优势

小数据的海量特点, 限制了传统高速物联网的应用和连接规模。传统高速物联网技术, 无论是长距离移动蜂窝网络, 还是短距离无线技术, 均需要较高的网络和终端成本。例如: 基于 2G/3G/4G 等的终端 DTU (data transfer unit,

数据传输单元)和CPE(customer premise equipment, 用户终端设备), 通常在数百元以上, 电力等专业场景设备甚至需要数千元。这样的成本远非成千上万的小数据连接所能接受。在电力系统中, 目前阶段仅仅实现了关键重要性的物联节点(如三遥数据)的连接, 大规模的小数据依然处于无连接或少量连接的状态。

LPWAN物联网技术具备低成本特点, 网络建设成本降低到传统蜂窝基地站的 10% 以下, 传感终端的连接芯片成本降低到 5 美元以下, 甚至到 1 美元。在可预见的数十亿级的规模基础上, 这个成本甚至可降低到美分级。据专业评估, 3GPP 2016 年 6 月底发布的NB-IoT物联网标准, 终端芯片价格约为 5 美元。已经商用规模出货的LoRa技术终端芯片价格仅为 1~2 美元, 在 2015 年出货量达百万片。低成本的网络部署和终端连接, 将对小数据连接起到巨大的推动作用, 使海量级规模的物联连接成为可能, 对能源互联网的建设发展和应用起到关键的推动作用。

3.2 超低功耗

传统物联网技术的功耗在很大程度上限制了小数据的连接应用, 小数据往往在电力不可达的地方, 传统物联网技术终端功耗水平高, 即使节电模式, 也需要数百mA的功耗水平, 这大大限制了小数据的连接数量。

LPWAN技术借助各种PSM(power saving mode, 节电模式)技术可实现更长待机。如NB-IoT借助PSM和eDRX可实现更长待机。PSM模式下终端仍旧注册在网但信令不可达, 从而使终端更长时间驻留在深睡眠, 以达到省电的目的。eDRX等新增的功能进一步延长终端在空闲模式下的睡眠周期, 减少接收单元不必要的启动, 大幅度提升了下行可达性^[3]。

NB-IoT的PSM和eDRX节电机制如图 1 所示。

LPWAN技术针对典型的低速率、低频次业务模型, 电池寿命可达 10 年以上。根据相关仿真数据,

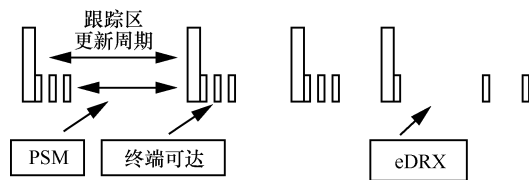


图 1 NB-IoT的节电机制示意

在耦合损耗为 164 dB 的恶劣环境, NB-IoT在PSM和eDRX均部署的情况下, 如果终端每天发送一次 200 byte 报文, 5 W·h 电池寿命可达 12.8 年。

LoRa技术对终端定义了 3 种工作模式: class A、class B、class C, 分别对应不同的数据传输方式和频次。class A 模式功耗最低, 数据定时上送, 适合规律性数据上报而无需响应的应用场景; class B 在上报数据时预留可调度时隙, 根据业务需要接收下传数据, 可以实现响应功能, 功耗略高; class C 实时侦听基站指令, 随时接收指令, 响应性最强, 但功耗较高。LoRa 的接收状态电流为 12 mA, 当发射功率在 14 dBm 时, 电流大约为 32 mA; 而当进入睡眠状态时, 电流消耗小于 1 μ A。而速率自适应ADR机制可以在无线条件允许时使用更高的速率进行发送, 从而减少Tx状态持续时间, 以降低总的电池功耗。电池寿命与NB-IoT技术一致, 均能达到 10 年以上^[4]。

3.3 广覆盖和增强覆盖

LPWAN物联网技术具备广覆盖特点, 对无线覆盖的深度也进行了优化, 实现增强覆盖, 相比传统宏网蜂窝无线通信技术和微网短无线技术, 具备更强的穿透能力和覆盖能力。如LoRa技术支持扩频技术, 不同的扩频因子可以支持不同的灵敏度要求, 支持大约 160 dB 的MCL(minimum coupling loss, 最小耦合损耗), 从而适应不同的覆盖范围需求。典型覆盖范围在无遮挡场景时为 15~20 km, 如草原、平原等; 在城市建筑物林立的场景中, 覆盖范围为 3~5 km。其他LPWAN技术的覆盖范围有差异, 但是均具备广覆盖的特点。

LPWAN技术根据小数据的特点, 采用多种灵

活的工作模式,实现较高的抗干扰能力和增强的适用性能。例如:LoRa物联网技术采用跳频技术实现抗干扰功能,在每次终端唤醒及与基站通信时,均对工作频点进行侦测,选择非干扰频点进行数据收发。

3.4 低速率

LPWAN技术所具备的广覆盖、低功耗和低成本的特点,相比传统无线通信技术来说牺牲了通信速率。典型的LPWAN技术通信速率从数十bit/s到几百bit/s,视传感终端功耗、覆盖和数据量而定。LPWAN采用了PSW、扩频、跳频等各种增强覆盖能力的技术,因而也牺牲了通信速率,在干扰越大、无线信号遮蔽越强(楼道、电缆井、设备内部等)、距离越远的地方,通信速率越低。但对于小数据连接来说,速率要求很低,大多情况下,每天仅需传输几个字节或数百字节的数据。速率不是LPWAN的关键,极低的速率设置对于覆盖功耗和成本来说却能带来显著优势。

3.5 灵活部署

LPWAN一般可支持多种部署方式,一类采用授权频段,如NB-IoT,部署方式包括:独立部署(stand alone),可以利用单独的频带,适合用于GSM频段的重耕;保护带部署(guard band),可以利用LTE系统中边缘无用频带;带内部署(in band)可以利用LTE载波中间的任何资源块。另一类采用非授权频段,如LoRa,支持更为灵活的部署方式。应用集成商可以根据项目需要按点部署,实现项目覆盖。通过弹性云化核心网,可以把分散部署的覆盖点组网,采用“众筹”部署覆盖的方式,实现电信运营级的LPWAN物联网建设。也可以支持物联网运营商进行电信运营级别的物联网建设,实现大范围的网络覆盖。

3.6 海量接入能力

LPWAN技术是一种具备海量接入能力的物联网技术,具备高容量、可扩展性等特点,可支持十亿级别数量的终端接入。

4 云管端一体化LPWAN运营级网络方案

LPWAN技术具有低功耗、广覆盖、低成本的优势,正在各领域促进物联网的全面、深入部署。在能源互联网领域,需要一个与传统电力通信专网融合的一体化能源电力物联专网,优势互补,促进能源电力物联网应用发展。能源电力领域的小数据种类和业务种类繁多,呈现碎片化特点,需要个性化的服务和灵活连接,基于授权频段标准统一的物联网技术缺乏这样的灵活性。为满足个性化的服务和连接灵活性需求,采用非授权行业公用频段(如用于抄表的470 MHz频段、用于电力行业的230 MHz频段)物联网技术,设计一种适合的运营级组网方案以较好地满足这样的需求。此方案采用“云管端一体化”的设计思路,基于非授权频段、轻量级网络、黑盒化的物联终端、承载与应用一体化的安全架构、独立式云化、光伏+电池自供能等应用理念,能够实现快速、灵活、低成本的低功耗广域物联网络部署,满足能源电力物联专网的泛在感知、碎片化的小数据连接需求。

图2是基于电力通信专网与LPWAN物联网技术融合的“云管端一体化”能源电力物联专网的方案架构。

能源电力物联专网由多个功能部分组成,基于连接小数据的功能需求,需要实现小数据的物理连接、数据回传、数据管理、安全认证和数据加密等基本功能。对于运营级的物联网专网网络,还需要实现网络管理、运营管理支撑功能。针对移动性的小数据连接,则需要实现定位服务功能。支持移动化的云化服务,需要实现业务漫游功能。需要通过不同的网元实现上述功能和需求,下面分别介绍各功能部分的不同网元和性能特征。

(1) 无线物联网网关

无线物联网网关(IoT wireless gateway, IWG)是泛感知传感连接的第一级,实现海量泛感知小

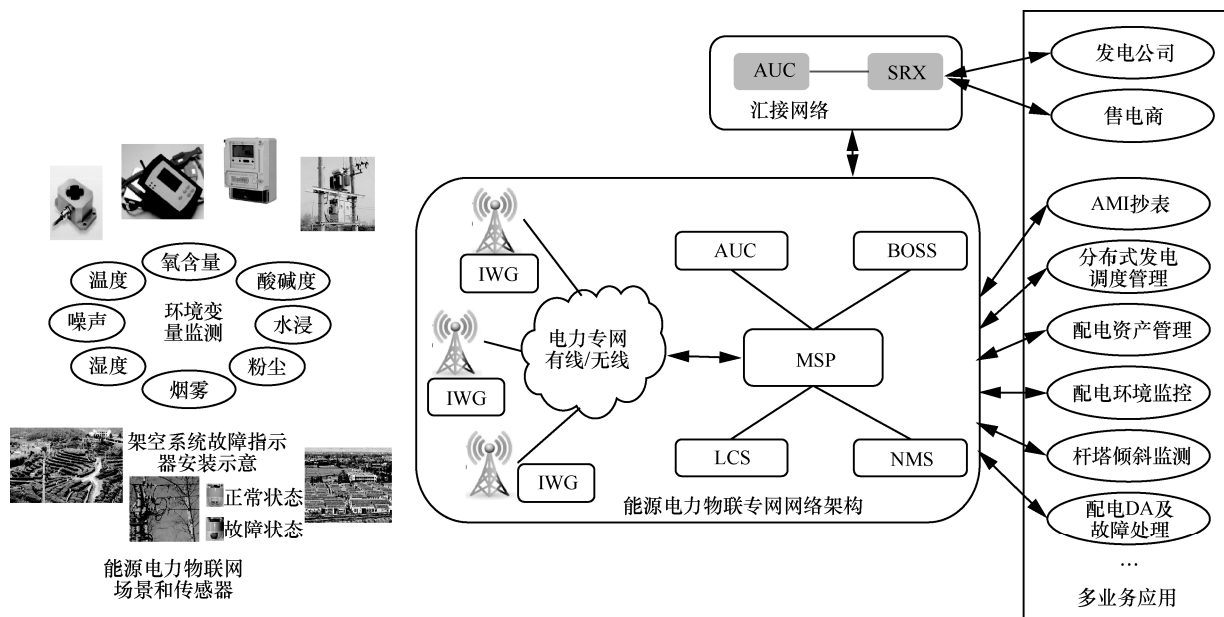


图2 云管端一体化能源电力物联专网架构

数据的物理层无线连接功能。IWG是一个物联网无线微基站，不同于传统公网宏基站的高功耗、高投资，物联网专网微基站应具备即装即用、随时随地部署的特征，方便物联网网络“星火燎原”式的扩展。基于这样的需求，IWG需要多种功能和特性：首先是要具备多信道并发和信道扩展功能，非授权频段（如470~510 MHz）的带宽范围跳频抗干扰，授权频段因不存在干扰，则不需要此类抗干扰技术；再者是IWG接入各类物联网应用节点，要实现链路安全、压缩等功能，应能支持电力通信专网接入，如有线、LTE无线专网等，实现与电力通信专网的无缝融合。在电力通信专网不可达的地方，在符合电力安全规定的情况下也可支持3G/4G/5G及运营商有线、无线回传链路。其次支持就近无线配置管理（如蓝牙/Wi-Fi），支持IWG间高精度时钟同步，为实现低成本/低功耗定位打下基础。最后需要针对安装和环境适应能力进行专门设计，例如支持市电、支持太阳能+储能电池的自供电方案，抱杆、挂墙等灵活多样的部署模式，实现即装即用。根据应用场景不同应支持IP65~IP68高防护等级，-40~70℃的温度范

围，抗恶劣环境室外型工业级设备。

（2）多业务平台

MSP（multi service platform，多业务平台）是物联专网的核心管理系统，物联网泛感知连接的海量小数据汇聚到MSP，进行数据管理。MSP需要实现物联网无线通信底层协议及扩展、无线网络优化管理、数据加解密及解压缩、应用数据上下行分发及第三方应用服务器接口等功能。MSP一般部署在云计算中心，应用服务与IT硬件解耦，具备弹性扩展能力。MSP通过云化网络与公网/专网高速宽带网连接，接收来自IWG的物联网数据。

（3）认证中心

能源电力物联专网高度关注数据的安全性。AUC（authentication center，认证中心）实现传感终端接入鉴权认证、密钥生成功能，终端模块可嵌入电力专用加密芯片，并建设私有保密协议的AUC，保证网络接入及业务安全。

（4）网络管理系统

运营级的物联网系统需要实现对整个网络的轻量化、高效率的电信级管理，为网络运维服务。

(5) 位置计算服务器

能源电力物联专网中有一类具备移动性特点的小数据需要连接,对位置服务有需求,位置计算服务器(location computing server, LCS)实现低成本、低功耗TDOA(time difference of arrival, 到达时间差)定位服务功能。

(6) 业务运营支撑系统

运营级的能源电力物联专网需要运营业务支撑系统(business & operation support system, BOSS),包括用户管理、流量管理、计费管理、账单系统、客户管理系统等。BOSS实现物联网业务的运营功能,可为全行业用户服务。

(7) 业务漫游交换服务器

对于能源电力这样的国家级经营组织单位,需要实现物联网连接的业务漫游功能,例如电力物流、电力工程、电力巡检等。业务漫游交换服务器(service roaming exchange, SRX)实现物联网终端在多个物联网专网网络间的漫游,能够开展全国级统一应用服务。

5 一网共平台多业务应用

在能源互联网“泛感知”的需求下,LPWAN

能够发挥重要作用,运营级能源电力物联专网方案可通过一张网、共平台、多业务应用场景的图景,为智慧能源提供低成本物联解决方案,支持智慧能源互联网的发展应用。一网共平台多业务应用示意如图3所示。

5.1 四表合一应用

抄表是物联网应用的重要方向,智能电网的建设发展极大地促进了智能电表的普及应用。但是在居民日常生活中,功耗、信号覆盖等问题一直困扰着水表、气表、热表的物联网泛在连接。国家电网公司配合各地方政府和水汽热等公用事业公司,已经在全国多地探索了多种“四表合一”的方法^[5]。基于电力通信专网与LPWAN技术融合地能源电力物联专网,提供了一个新的、更为简单灵活的方案。如图4所示,通过LPWAN能源电力物联专网可随时随地、灵活地接入各种水电气热表,方便地实现“四表合一”功能。

5.2 源网荷互动应用

面向广大城乡电力用户的源网荷互动应用是能源互联网的重要发展方向,基于LPWAN技术的能源电力物联专网可十分方便地连接各类用户负荷电器、分布式发电系统与配电网(微网)等,实现源网荷互动业务应用。如图5所示,在一个

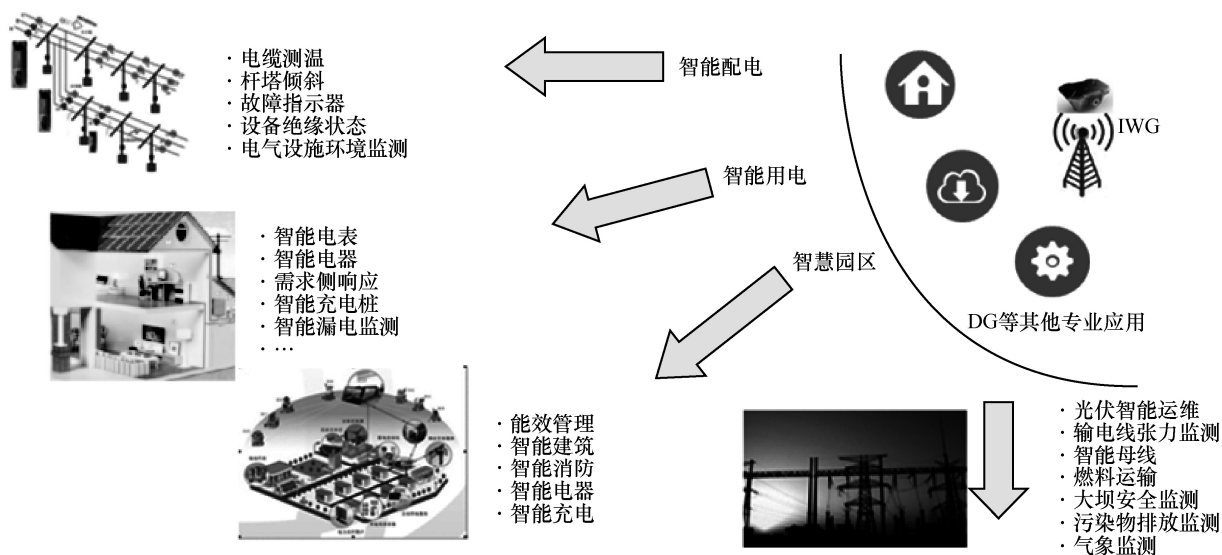


图3 一网共平台多业务应用示意

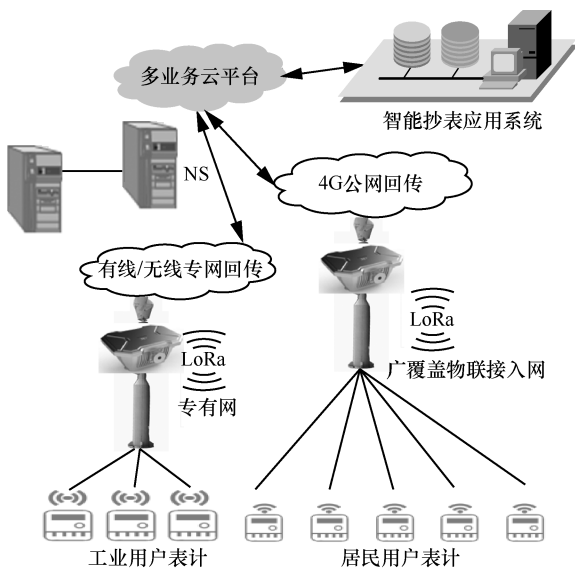


图4 四表集抄业务应用示意

智慧生态岛上, 通过在用户负荷电器上安装具备 LPWAN 终端的智能插座, 在分布式发电系统上安装 LPWAN 终端控制器实现源网荷的互动连接。

5.3 电气设备温度监测

电气设备温度是反映电气设备运行状态的重要参数, 也是判断设备故障状态、防止发生电气火灾的重要方法。电力系统温度监测点众多、分布范围广、高度分散, 长期以来, 受限于通信连接, 无法大规模推广应用。基于 LPWAN 技术的能源电力物联专网则可实现温度传感器的免维护、长寿命、低成本, 这使电气设备温度监测的广泛普及成为可能。图 6 显示了电气设备温度监测部署方案。

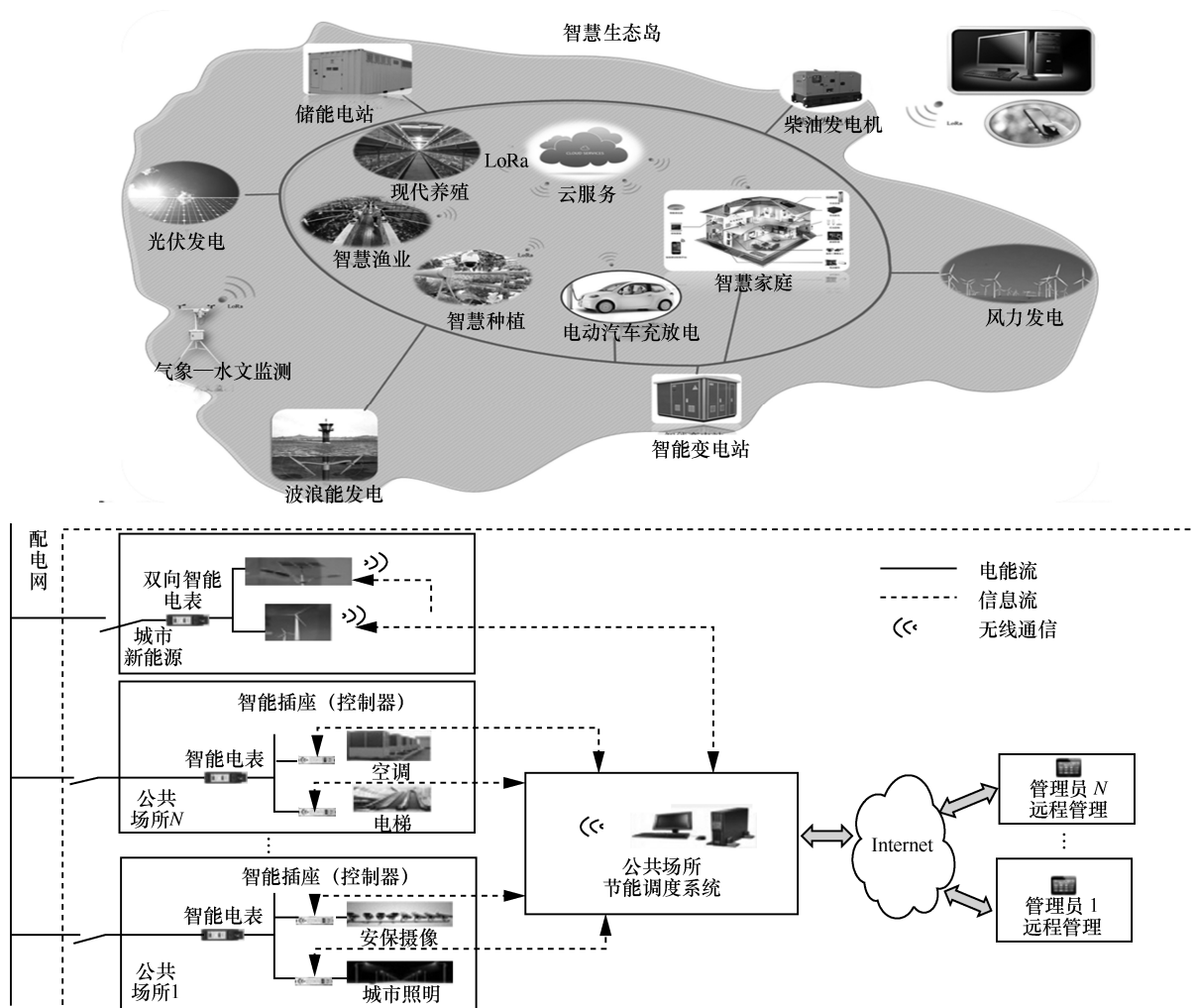


图5 源网荷互动业务应用示意

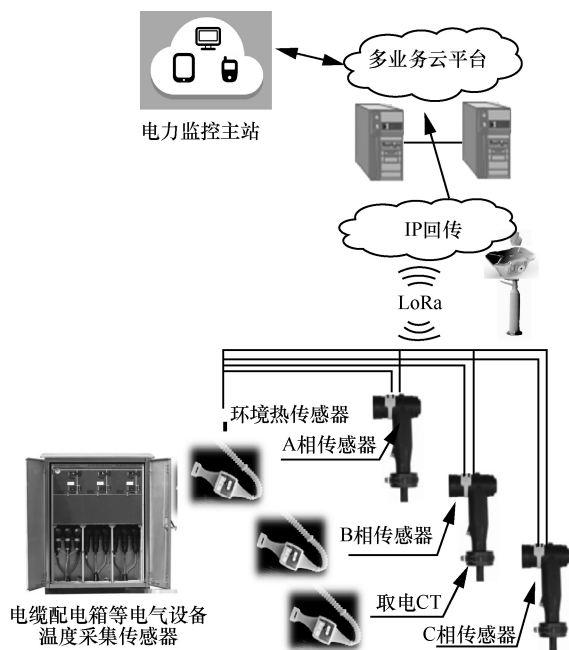


图6 电气设备温度监测部署方案示意

5.4 配电网故障指示器连接

配电网故障检测和定位需要在架空线、电缆等处安装大量的故障指示器，其部署地点与温度监测点类似，呈现高度分散、广泛分布的

特点，同样存在传感器供电困难的问题。采用LPWAN技术的能源电力物联专网，在故障指示器中嵌入LPWAN终端模块，可实现故障指示器黑盒化设计，具备免维护、长寿命和低成本的优势，为故障指示器的大规模部署提供了条件。图7显示了故障指示器在此物联专网中的应用方案，相比传统故障指示器部署方案，减少了集中器，简化了部署的工程复杂度和维护难度。

6 结束语

基于LPWAN技术，融合电力通信专网的能源电力物联专网在能源电力各领域的小数据连接均具有广泛的应用前景。在水电厂，可不受电源、通信连接的限制，部署各种传感器，在全厂、整个水库范围内进行监测，如大坝安全监测、道路边坡、各类管道压力、厂房温湿度环境、水位等。在输电电路上，可随时随地挂设导线张力、杆塔倾斜、绝缘子污秽等传感器，实现输电线路在线监测功能。在智慧园区，基于LPWAN技术的智能温控器、

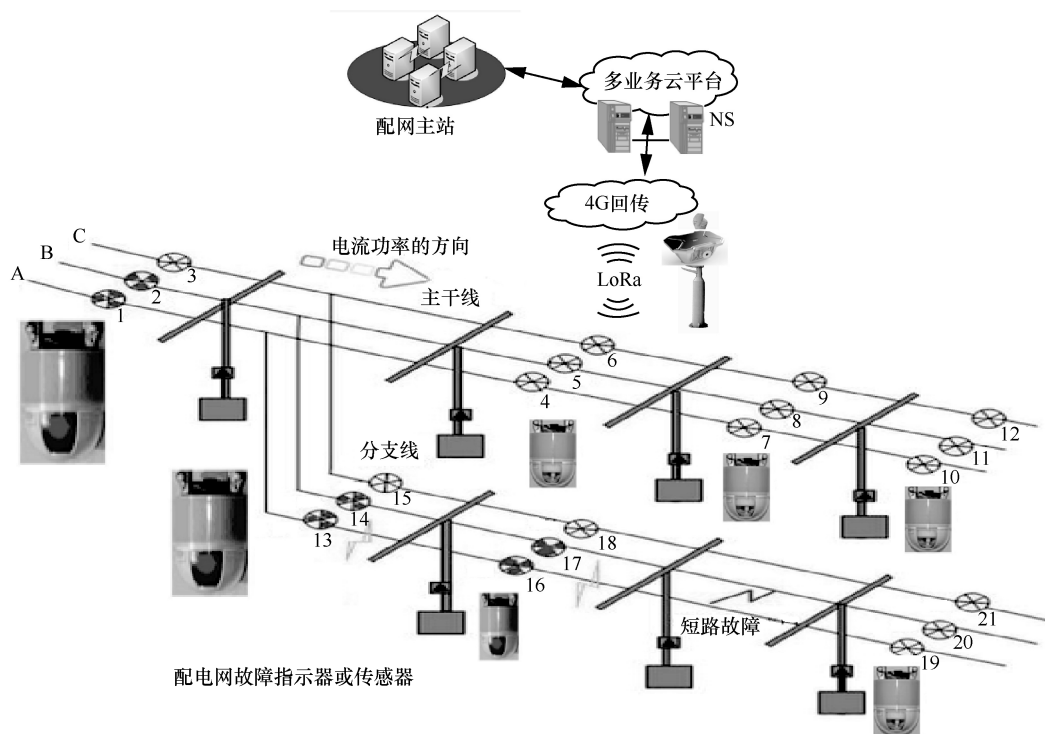


图7 配网故障指示器连接应用



智能电器、智能充电桩、智能电表可随时随地部署,形成园区智慧能源互联网。在火电厂,燃料管理、运输中也可随时部署基于LPWAN的传感器,实现智能燃料应用。

总之,在能源电力领域,采用基于LPWAN技术和电力通信专网相融合,以云管端一体化设计的运营级能源电力物联专网,具备一张网、同平台、多业务的优势,可实现按需、个性化地灵活部署传感器。长期被忽略的小数据连接点及符合小数据特点的数据,均可得到快捷、低成本的广泛部署,提高能源电力生产运营服务,提升运维效率,促进智慧能源互联网发展。

致谢: 本文得到中兴通讯CLAA物联网研发项目刘建业总监及团队的大力支持,为本文提供了基础资料和指导建议,向全体团队同事致以谢意!

参考文献:

- [1] 足以颠覆物联网的“LPWA”技术[EB/OL]. (2015-12-21)[2016-06-20]. <http://www.xzbu.com/1/view-7185334.htm>.
Enough to subvert the internet of things, LPWA technology[EB/OL]. (2015-12-21)[2016-06-20]. <http://www.xzbu.com/1/view-7185334.htm>.
- [2] 甄岩, 李祥珍, 欧海清, 等. 物联网与智能电网[J]. 数字通信, 2012(5): 78-79.
ZHEN Y, LI X Z, OU H Q, et al. Internet of things and smart grid[J]. Digital Communication, 2012(5): 78-79.
- [3] 戴国华, 余骏华. NB-IoT的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016, 40(7): 33-35.
DAI G H, YU J H. Research on NB-IoT background, standard development, characteristics and the service[J]. Mobile Communications, 2016, 40(7): 33-35.
- [4] 刘琛, 邵震, 夏莹莹. 低功耗广域LoRa技术分析与应用建议[J]. 电信技术, 2016(10): 43-45.
LIU C, SHAO Z, XIA Y Y. Analysis and application of low power wide area LoRa technology[J]. Telecommunications Technology, 2016(10): 43-45.
- [5] 徐宁, 李军. 四表合一: 智能用电惠万家[EB/OL]. (2016-02-17)[2016-08-06]. <http://www.indaa.com.cn/dwxw2011>

/khfw/201602/t20160217_1635878.html.

XU N, LI J. Centralized reading of gas, water, heat and electric meters intelligent power consumption, benefit tens of millions of users[EB/OL]. (2016-02-17)[2016-08-06]. http://www.indaa.com.cn/dwxw2011/khfw/201602/t20160217_1635878.html.

[作者简介]



陈永波(1978-), 男, 中兴通讯股份有限公司行业解决方案部能源电力行业架构师、能源互联网规划总工程师, 主要从事能源电力行业发展和趋势研究、M-ICT技术需求分析、方案规划与设计开发工作。同时作为公司CGO(Cool、Green、Open)实验室iLPN城市物联网创新研发项目重要成员, 负责物联网微基站、传感终端微供能系统研究和方案设计及能源电力物联网应用需求分析和方案设计工作。



汤奕(1977-), 男, 博士, 东南大学电气工程学院副教授、博士生导师, IEEE成员, 中国电机工程学会会员, 发表SCI/EI检索论文60余篇, 获得国家发明专利授权和受理50余项。近5年来主持和参与了国家自然科学基金项目2项、国家科技支撑计划项目3项、国家电网公司及省级电网公司项目50余项。近两年主要研究方向为电力信息物理融合系统的建模、机理、分析方法、仿真环境等。



艾鑫伟(1979-), 男, 中兴通讯股份有限公司能源行业总监, 主要从事无线通信在能源行业的应用及发展方向研究工作。一直从事底层驱动开发、上层应用开发、自动化测试开发等相关研发工作, 目前主要从事市场需求分析及产品规划方向工作。



徐博(1990-), 男, 中兴通讯股份有限公司能源行业副总监, 主要从事有线通信在能源行业的应用及发展研究工作。