

Architecture of Power Internet of Things

WANG Hong-yu, ZENG Ling-kang, CHEN Xi, ZHEN Yan, LI Xiang-zhen

(State Grid Information & Telecommunication Company Ltd. NO. 1, 2nd lane, Baiguang Road, Xuanwu district, Beijing. 100761, china)

hywang@sgcc.com.cn

Abstract: Utilizing Internet of Things technologies in Smart Grid is an important approach to enhance information exchange ability of power system, and it is beneficial for the power system infrastructure for effective management. This paper based on the construction and development characteristics of smart grid, concludes architecture of Power Internet of Things, summarizes the perception of advanced sensor technology to power grid monitoring, security, information exchange, asset management, feasibility of application. It also analyzes requirements and development of massive information transmission, storage, security issues introduced by Power Internet of things.

Keywords: Smart Grid, Internet of Things, Wireless Sensor Network, Radio Frequency Identification

电力物联网体系架构初探

王宏宇 曾令康 陈 晰 甄 岩 李祥珍

(国网信息通信有限公司, 北京市宣武区白广路二条一号, 北京 100761)

hywang@sgcc.com.cn

摘要: 在智能电网中采用物联网技术是提升电力系统信息化水平的重要手段, 有利于对电力系统基础设施进行有效管理。本文针对我国智能电网的建设和发展特征, 梳理概括了电力物联网的体系架构, 归纳了先进感知传感技术在电网状态监测、安全防护、信息交互、资产管理等方面的可行性应用, 并对电力物联网所涉及的海量信息传输、存储, 安全体系等方面的需求和发展方向进行了分析。

关键词: 智能电网、物联网、无线传感器网络、射频识别

1 前言

电力物联网^[1, 2]是指通过智能传感和通信装置在电力系统中实现有效的信息感知和获取, 经由无线或有线网络进行可靠信息传输, 并对感知和获取的信息进行智能处理, 实现自动化信息交互与处理的网络。电力物联网在智能电网发电、输电、变电、配电、用电、调度等各个环节均有广泛应用。

智能电网的实现, 首先依赖于电网各个环节重要运行参数的在线监测和实时信息掌控。在智能电网中引入物联网技术可有效整合电力系统基础设施资源和通信设施资源, 促进先进信息通信系统服务于电力系统运行, 提高电网信息化水平和现有电力系统基础设施的利用效率, 在电网建设、电网安全、生产管理、

运行维护、信息采集、安全监控、计量及用户交互等方面发挥巨大作用, 可以全方位提高智能电网各个环节的信息感知深度和广度, 为实现电力系统的智能化以及信息流、业务流、电力流提供高可用支持。

电网各个环节重要运行参数的在线监测, 对设备状态的预测、调控, 基于可靠监控信息建立输电线路的辅助决策和配电环节的智能决策, 加强与用户间的双向互动, 开拓新的增值服务是建设智能电网的部分核心任务。而这些智能化任务的实现, 必须依托于透彻的信息感知、可靠的数据传输、健全的网络架构及海量信息的智能管理和多级数据的高效处理等技术。物联网利用传感技术、射频识别技术 (RFID)、智能视频识别技术、地理信息技术等, 实现对物体的识别、监测、管理与控制, 其技术特点是能在多种场合下满足智能电网发、输、变、配、用等重要环节上信息获取的实时性、准确性、全面性的需求。目前, 物联网中的射频识别、无线传感器网络、地理信息等

资助信息: 国家科技重大专项 2010ZX03006-005-02

Funding information: National Science and Technology major projects 2010ZX03006-005-02

技术在电力系统生产、管理等各个环节都有所应用，在一定范围内协助实现了有效的电网态势感知，提高了电力规范化管理能力，但其具体应用分散于各系统中，功能单一、信息孤立，基于物联网技术的系统化解决方案和信息管理平台尚未形成。

2 电力物联网体系架构

根据信息处理的三个关键环节，可以将电力物联网在逻辑功能上抽象为三层^[3]，如图 1 所示。

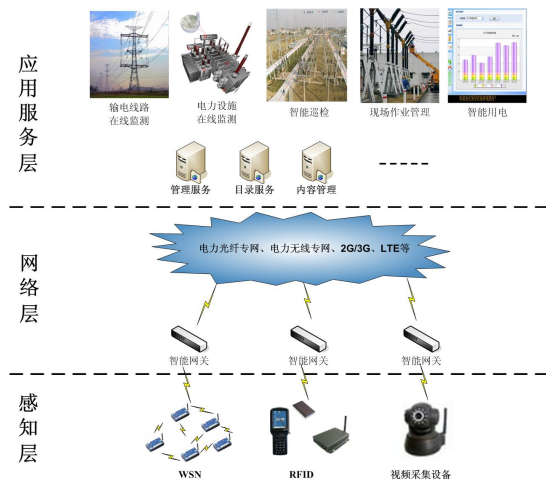


Figure 1 Power of Things technology architecture

图 1 电力物联网技术架构

感知层包括传感器等数据采集设备以及数据接入到网关之前的传感器网络。例如RFID标签和用来识别RFID信息的扫描仪、视频采集的摄像头、各种传感器以及由短距离传输技术组成的无线传感网。电力物联网感知层以传感网和通信网的结合为切入点，通过异构网络实现协同工作以形成可管理的感知网。感知层可进一步划分为两个子层，首先是通过传感器、智能视频识别等设备采集数据，然后通过RFID、工业现场总线、微功率无线、红外等短距离传输技术传递数据。感知层是电力物联网发展和应用的基础，RFID技术、感知和控制技术、短距离无线通信技术是感知层涉及的主要技术，其中又包括芯片、通信协议、RFID材料、智能节点等细分领域。

目前感知层的无线传感网技术标准众多，但电力物联网的标准和规范较少，一方面是由于物联网技术在电力系统中的应用刚起步，尚处于探索阶段；另外，

物联网设备在强电磁环境下应用的可行性以及对电力设备的潜在影响需进行严格论证和验证。

网络层（也称传送层）解决的是感知层所获得的数据在一定范围内，通常是长距离的传输问题。这些数据可以通过电力专网、电信运营通信网、国际互联网、小型局域网等网络传输，实现有线与无线的结合、宽带与窄带的结合、感知网与通信网的结合。

网络层中的感知数据管理与处理技术是实现以数据为中心的物联网的核心技术。感知数据管理与处理技术包括传感网数据的存储、查询、分析以及基于感知数据决策和行为的理论和技术。云计算平台作为海量感知数据的存储、分析平台，将是物联网传送层的重要组成部分，也是应用层众多应用的基础。

应用服务层解决的是信息处理和人机界面的问题。网络层传输而来的数据在这一层里进入各类信息系统进行处理。应用服务层也可按形态直观地划分为两个子层，一个是应用程序层，进行数据处理，另一个是终端设备层，提供人机界面。电力物联网的应用服务架构如图 2 所示：

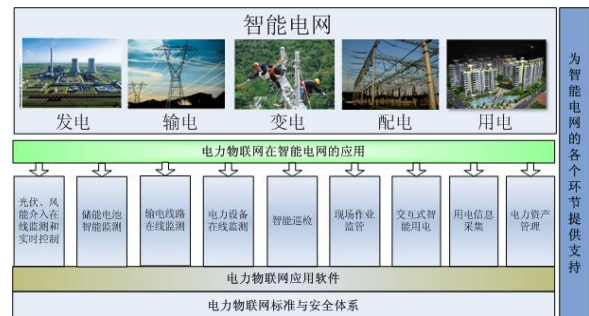


Figure 2 Application Services Architecture Power of Things

图 2 电力物联网应用服务架构

3 先进感知技术

3.1 传感技术

传感技术是指利用物理效应、化学效应、生物效应感受物体或环境的被测量，并按照一定规律转换成可用输出信号的过程。传感技术在电力物联网中的应用体现以无线传感器网络（WSN）为主。无线传感器网络是由部署在监测区域内的微型传感器节点组成，通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统，以协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息，其特点是低功耗、低成本、分布式和

自组织。

随着先进传感技术的发展和产品的成熟,无线传感器网络在电力系统的应用愈加广泛。在输电领域,可利用温度传感器监测输电线路的实时温度,在确保电网安全可靠运行的同时协助实现电网的动态增容,提高资源利用效率;利用倾角或张力传感器监测导线覆冰;利用震动传感器监测导线微风震动和杆塔震动;利用重力传感器监测导线舞动;利用红外和震动传感器实现杆塔防盗等等,气象传感器、泄漏电流传感器等也有广泛应用。在变电环节,可利用传感技术实现变压器/断路器/母线关键节点的温度监测、避雷器泄漏电流监测、组合电器 SF6 泄露监测、二次设备环境监测、设备防盗等。在配电部分,实现配电设备温度监测,开关、刀闸等状态监测,安全防盗等。在用电领域的应用更加广泛,结合光纤、电力线载波、无线等通信技术实现复杂环境下的可靠用电信息采集,在家庭内部实现家电智能控制、环境状态调节、安防等智能用电功能。

3.2 射频识别技术

射频识别(RFID)是一项利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电磁场)实现无接触信息传递并通过所传递的信息识别目的的技术。

RFID 系统覆盖了从 124kHz 到 5.8GHz 的众多工作频率,124kHz、135kHz、13.56MHz、470MHz、900MHz、2.4GHz、5.8GHz 是电力物联网的常用频率,分别应用与不同场景和需求。低频系统信号穿透能力强,一般能穿透除金属材料外的任意物品而不影响正常读写。高频 RFID 系统可实现更远的传输距离,但其穿透能力较弱。

RFID 系统的硬件结构由基站/读写器、天线、标签三部分构成,根据是否需要供电,标签分为有源标签和无源标签两类。无源标签结构简单,通常由标签芯片和天线两部分组成,芯片在制造过程中嵌入唯一身份编码,天线接受射频信号辐射激发芯片发送预置编码,即系统只有读取功能。无源系统读取距离短、成本较低、易于维护、可在苛刻环境中正常工作。上述特点决定了无源 RFID 系统适用于电力系统设备管

理、智能巡检、绿色机房、资产管理等方面。有源系统即标签需电池或电源供电,可实现读写操作,其传输距离较远,经常结合传感器使用实现电器设备温度在线监测等功能。

3.3 智能视频感知

目前可应用于电力设施及其所在环境的视频监测和分析技术主要分为常规(可见光)视频感知、红外线视频感知以及紫外线视频感知技术。常规视频感知应用十分广泛,其功能主要是实时监测电力设施状态、所处环境的自然条件、人员接近、现场作业等。结合视频分析平台,系统可实现电力设施状态自动监测和安全防盗,如出现输电线路覆冰、舞动,非法人员入侵等情况,视频分析平台可自动发出报警信息,协助工作人员进行电力设施管理。

温度是体现设备运行状态的特征参数,电力设备运行异常经常伴随着局部或整体温度过高的情况。在输电线路、变压器、断路器、线路关键节点、配电设备上安装温度传感器是监测线路和设备运行状态的常用办法,但传感器仅能监测单个安装点的温度,无法全面覆盖。利用红外线光谱来监测设备温度是一种全面的解决方案,能够通过调整焦距实现由点到面的温度监测,结合视频分析平台,在线路或设备局部温度过高时红外线光谱亮度超过预设值而发出报警。

利用紫外线光谱可实现输电线路和设备的放电监测,例如发生输电线路绝缘子放电时,紫外线监测光谱亮度将远高于常规值,放电火花在紫外光谱上将有明显体现,有利于分析软件发现异常并生成报警信息,而常规视频监控在强日照情况下不易于发现放电现象。

3.4 地理信息技术

电力地理信息系统(GIS)是通过数据和通信化界面记录显示电力设施所处的地理位置,并将输电线路、变电站、配电网络、其他电力设备、电力用户与电力负荷和生产管理等核心业务连接形成电力信息化的生产管理综合信息系统。GIS 系统提供的电力设备设施地理位置和状态信息、电网运行状态信息、生产管理信息、电力市场信息与自然环境信息集中于统一

系统中。

电力 GIS 具备如下特点：电力系统运行参数实时性及信息的动态变化性，需要对瞬间信息及时收集、处理和分析。电力 GIS 对数据处理、存储容量和传输速度均有较高的要求；电网的多属性数据要求 GIS 具备足够的稳定性和可靠性，根据电力行业技术标准及电力企业业务需求，系统具有良好的可维护性；电力 GIS 能够实现数据的一次输入和多次输出，以保证数据的一致性操作，实现数据的统一管理和多层保护等，构建高可靠性和高准确性的业务系统。

4 数据传送网络

电力物联网中大量的通信节点所产生的海量数据，必然对通信网络带来压力。数据在传输过程中有可能应用光纤、无线、电力线载波或多种方式融合的传输手段，根据具体业务需求和通信资源分布情况，选择电力光纤专网、电力无线专网、电信运营无线宽带网络作为长距离数据传送网络。

目前电力专网主要以光纤通信为主，传输介质包括光纤复合架空地线（OPGW），光纤复合相线（OPPC），全介质自承式光缆（ADSS），光纤复合低压电缆（OPLC）等。目前正在建设以 OPLC-OPPC-OPGW 为主的分级式电力光纤通信网络，形成贯穿用户到特高压网架的立体光纤网络，实现电力光线到户和“三网融合”、用户交互、信息咨询、家庭安防等智能用电服务。

骨干通信网为基于 SDH 的宽带通信网络，带宽以 2.5G 网络为主，由于电力设施和业务的分布密集程度存在一定程度的差异性，部分 2.5G 网络已很难满足智能视频感知等电力物联网相关新业务的需求，需升级为 10G 网络。电力无线专网是以 IEEE802.16、LTE、McWill 等为代表的前 4G 无线宽带技术为基础的专用网络，目前电力无线宽带专网正处于规划阶段，建成后 will 形成全面覆盖、接入方式便捷的宽带综合业务通信平台，有能力为多种电力物联网业务提供数据传送支持。

目前无线公网通信主要包括 GPRS、CDMA、3G 等，GPRS 覆盖最为广泛，通常能够提供几十 Kbps 的带宽，仅能满足部分数据容量较小的业务需求。无线公网通信方式具有建设成本较低的优点，但其缺点也十分明显，首先，网络设计以语音通话优先，同一基站覆盖范围内用户较多时对数据传输产生影响，实时性无法保证，另外，输电线路架设的偏远地区缺乏

信号覆盖或信号较差，由于本质上无线公网和互联网是相通的，无线公网通信方式的安全性亦存在隐患。

在实际网络建设过程中，经常应用光纤和无线相结合的通信方式，同时发挥光纤远距离通信低损耗和无线接入点数量不受限制的优势，例如，在输电线路在线监测系统中采用电力光纤专网和 Mesh 无线系统组成的数据传送网络。Mesh 无线系统可通过多跳的方式连接多个终端或网关，在郊区覆盖几十平方公里的范围，同时为单个终端提供几十 Mbps 的带宽，足以满足高清视频监控等多种业务的带宽需求。Mesh 基站连接 OPGW 光纤出口，以进行数据远距离传送。

5 电力物联网应用

电力物联网在发电与储能领域的应用包括水库智能在线调度和风险分析、风能实时监测和风电功率预测、分布式太阳能接入管理、储能电池等间歇性能源柔性接入等方面；在输电环节的应用以输电线路综合在线监测为主，同时也包含杆塔、金具、线缆的综合防盗；在变电和配电部分的应用包括设备状态在线监测、设备现场作业管理、智能巡检等；电力物联网在智能用电环节拥有广泛应用空间，主要有：智能电表及高级量测、智能插座、智能用电交互与智能用电服务；除此之外，电力物联网的主要应用还包括：电动汽车及其充电站的管理、绿色数据中心与智能机房等众多方面。

6 电力物联网安全体系

目前，国内外许多研究机构致力于物联网安全关键技术的研究，特别是在无线传感器网络安全性研究方面，国际上，ITU-T^[4]、美国仪表协会^[5]正在制定相关标准，中国通信标准化协会组织也在积极开展无线传感器网络安全标准的研究与起草工作。

电力物联网的安全需求包括设备和用户信息的机密性、完整性、业务本身的可用性等方面。电力物联网安全体系需要提供数据加密、认证鉴权、设备和用户身份认证和应用接入认证等手段保证用户的合法性，信息的机密性、完整性，业务的可用性等方面。由于网络部署区域的开放特性和无线电通信的广播特性，需引入先进的安全机制对电力物联网信息采集设备本身的可靠和安全提供保证，提高抵御入侵能力，确保数据采集、融合、传输等基本功能的正常进行。其次，采用适用于电力物联网的先进数据鉴别机制，增强其在遥感、遥测、遥控、遥信及电力市场交易中

的应用可靠性。

现阶段可行的安全机制包括：为保证传感器、终端设备与电力物联网平台之间的数据交互安全，通信协议采用接入密码安全验证和报文摘要的方式，以实现在报文交互中对通信双方的身份验证并确保报文的完整性；采用报文内容加密的方式，以保证报文内容的安全性。通信协议通过在报文之后增加接入密码安全验证并对整个消息体进行摘要处理，以实现传感器、终端设备与平台之间交互报文来源的身份验证并保证报文的完整性，从而确保通信安全。通信协议支持通过对内容体中的数据进行加密，以保证数据在传输过程中的安全性，加密报文可分为部分加密报文和完全加密报文。

致谢

基金项目：国家科技重大专项：2010ZX03006-005-02 面向智能电网的安全监控、输电效率、计量及用户交互的传感器网络研发与应用验证。

References (参考文献)

- [1] He Ke. The Key Technologies of IOT with Development & Applications [J]. Radio Frequency Ubiquitous Journal. 1. 2010.
何可. 物联网关键技术及其发展与应用[J]. RFID 技术与应用. 1. 2010.
- [2] Lv Tingjie. The Origin and Development of Things of Internet [J]. Information and Communications Technologies. 2010, 4(2).
吕廷杰. 物联网的由来与发展趋势. 信息通信技术. 2010, 4(2).
- [3] R. Leon, V. Vittal, and G. Manimaran, "Application of sensor network for secure national energy infrastructure," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 2, pp. 1021-1028, Apr. 2007.
- [4] Draft Recommendation X. usnsec-1 "Security framework for USN", ITU-T, Jul. 2008.
- [5] "Wireless Systems for Industrial Automation: Process Control and Related Applications", ISA100 Wireless Compliance Institute, 9th Sept. 2009.