Convergence of Internet of Things & Smart Grid

LI Xiang-zhen, LIU Jian-ming, ZHEN Yan, CHEN Xi, ZENG Ling-kang

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

xzli@sgcc.com.cn

Abstract: Smart Grid is the typical application scenario for Internet of Things (IoT), IoT technology is the infrastructure for information sensing and transmission for Smart Grid. In this paper, basic IoT applications of power transmission, distribution, consumption, information security technology and standard system of Smart Grid are introduced. Then, power-line monitoring, comprehensive security protection of power facilities and smart inspection of power transmission, distribution and substation are introduced and the convergence scheme of Smart Grid and IoT are discussed. Finally, multiple applications of IoT in Smart Grid are shown in the conclusion section.

Keywords: Internet of Things, Smart Grid, Wireless Sensor Network

物联网与智能电网的融合

李祥珍 刘建明 甄 岩 陈 晰 曾令康

（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）

xzli@sgcc.com.cn

摘要： 智能电网是未来物联网的典型应用场景，物联网技术则是智能电网末梢信息感知和传播不可或缺的基础环节。本文首先阐述了面向智能电网输电、配电、用电等环节的物联网应用需求，以及安全技术、标准体系的研究概况。其次，针对输电线路在线监测、电力设施全方位防护及保电支撑平台、输变配电智能巡检等应用场景讨论了物联网和智能电网相融合的技术方案。最后对物联网在智能电网中的应用进行总结与展望。

关键词： 物联网；智能电网；无线传感器网络

1. 引言

坚强智能电网是安全可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的电网，对于全面提高电网的资源优化配置能力和电力系统的运行效率，保障安全、优质、可靠的电力供应，具有重大意义。为推动我国电力基础生产模式的改变，构建国际领先、自主创新、具有中国特色的智能电网的战略部署被提上了日程。智能电网定位于先进的通信、信息和控制技术，以信息化、自动化和互动化为基本特征，是电力行业的发展方向，也是最有可能实现原创性突破、占据世界制高点的技术领域。

智能电网作为物联网应用的最主要应用场景之一，受到业界的广泛关注，感知、传输、处理在智能电网中无处不在。物联网作为智能电网实现的技术手段之一，可以为实现智能电网提供强有力的通信技术支撑。

物联网技术将在电网建设、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。

本文着眼于实现物联网和智能电网相融合，对物联网应用于智能电网的应用场景进行详细讨论。

2. 物联网和智能电网的融合

物联网技术应用于智能电网，将能有效地为电网中发电、输电、变电、配电、用电等环节提供重要技术支撑，为国家节能减排目标做出贡献。物联网应用

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

978-1-935068-23-5 © 2010 SciRes.

于智能电网是信息通信技术发展到一定阶段的必然结果，将能有效整合通信基础设施资源和电力系统基础设施资源，使信息通信基础设施资源服务于电力系统运行，提高电力系统信息化水平，改善现有电力系统基础设施的利用效率。如图 1 所示，物联网技术在电网各个环节中应用广泛。

智能电网的物联网应用需求明晰，如在发电领域，物联网可用于机组监控、分布式电厂监控、厂区监控、污染物及气体排放监控、能耗监控、煤料监控、抽水蓄能监控、风电厂监控、功率预测、光伏发电站监控、生物质发电、储能监控、电源接入等；在输电线路监控、杆塔防护、智能变电站、配电自动化、状态监测、作业与设备管理等方面也有广泛的应用需求；在智能表计及高级量测、智能用电、多网融合、电动汽车及充电、能效监测与管理、电力需求侧管理等方面更是智能电网物联网应用的主要场景。

Figure 1, things are widely used in the smart grid
图 1 物联网在智能电网应用广泛

物联网技术可以协助实现电力设备的有效管理和全方位防护。长期以来，电力设施被盗一直是政府和电力企业头痛的问题，每年被盗的电力资产损失超过数亿元，损失非常巨大。

针对智能用电及用电信息采集的传输可靠性不高、实时性不强的问题，以及缺乏互动手段要开展相应研究和部署，通过技术手段的支撑和部署来满足对智能电网越来越高的需求。

智能电网各方面都需要物联网的技术支撑，智能电网的大部分业务都与物联网相关。从发电环节的可再生能源并网接入到机组运行状态的监控，从输电线路的在线监控，到电力生产管理、安全评估与监督，从智能电表、用电信息采集，到三表抄收、互动营销，从智能用电、智能小区到多网融合，都需要物联网技术的支撑。

3. 物联网在智能电网中应用的技术方案

物联网要在智能电网中得到更广泛的应用，技术方向必须秉持“面向实际、立足创新、提出标准、建立规范”的理念：坚持实用性与先进性相结合原则，在使用的基础上考虑先进性和前瞻性；掌握国际领先水平的智能电网无线传感核心技术；形成规范化、系统化的电力传感网络应用体系和标准化建议；建设具备智能电网输、变、配、用各个环节典型特征的应用验证工程。

物联网技术应用于智能电网，可实现先进可靠、灵活接入、统一标准的通信信息感知和接入，实现分布式智能信息传输、计算和控制。通过智能传感器把各种设备、设施连接到一起，形成一个统一的信息服务总线，可对信息进行整合分析，以此来降低成本，使电网运行和管理达到最优。将大大提升智能电网信息通信支持能力，将物联网关键技术应用于智能电网，构建电网运行及管理信息感知服务中心，将为占领世界智能电网的制高点提供支撑。

3.1 基于物联网技术的线路在线监测技术研究及系统开发

输电线路的防灾减灾是传感网最重要的应用领域之一。近年来由于自然灾害频繁，给高压输电的安全性、稳定性、可靠性提出了严峻挑战。针对目前输电线路主要以人工监控为主的情况，建设输电线路智能在线监测系统。在试验区内 500kV、220kV 高压输电路上部署导线舞动、微气象、微风振动、覆冰、风偏、导线温度、视频等感知设备，实现输电线路的实时在线监控及动态增容，并解决传感器网络带状网络部署、远距离传输、系统长寿命等关键问题。

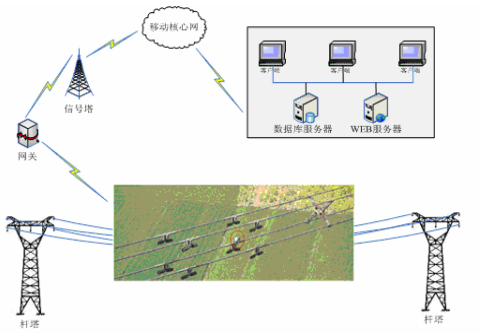

Figure 2 Line-line monitoring network
图 2 线路在线监测网络结构

输电线路监测系统由两部分组成，一部分安装在输电线上，用于监测输电线运行状况，另一部分安装在杆塔上，用于监测杆塔及环境等参量，两者之间的通信通过自建的无线网络实现，与主站系统之间的通信则采用无线传感网+专用光纤网或无线传感网+远程宽带无线实现。

输电线路在线监测网络结构如图 2 所示。

3.2 面向电力设施防护及安全保电的物联网技术研究

目前、部分地区电力输电线路、杆塔被盗严重，加上洪涝灾害、雪灾、冰灾等自然灾害，导致线路损坏、区域断电，影响了正常的生产和群众生活，因此，保电工作非常重要，相应的工作量也很大。为全面提升电网设备、线路、杆塔及其他资产的智能化作业和巡检水平，提升电网的感知能力，将部署输电线路全方位防护系统。实施区域的线路、杆塔监测与保电系统包括部署于线路、杆塔上的地理震动、倾斜角度、防盗螺栓等传感器，通过信息综合分析和后台一体化管理平台，共同完成防护区施工作业监控、杆塔状态监控、偷盗防护等功能,抵御自然灾害及人为外力破坏对电网安全运行的影响；全面提升电网设备、线路、杆塔及其他资产的智能化作业和巡检水平；全面提升电网的感知能力，为电网的安全、高效、经济运行和优化调度提供支撑。

杆塔防护系统工作状态如图 3 所示。

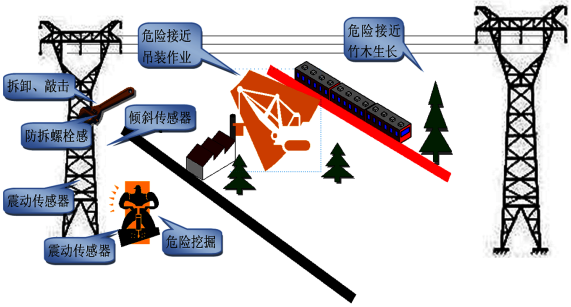

Figure 3 Schematic diagram of tower defense system working status

图 3 杆塔防护系统工作状态示意图

3.3 基于物联网的智能巡检系统开发

我国电网输、变、配设备巡检主要依靠巡检人员定期定时进行人工巡检。由于受气候条件、环境因素等多方面客观因素的制约，巡检质量和到位率无法保证。为切实解决无人值班变电站设备巡检中的质量监督的难题。利用物联网基于传感器网络的电网输、变、配设备智能巡检系统，该系统通过可识别标签辅助设备定位，实现到位监督，从而指导巡检人员执行标准化和规范化的工作流程，对于提高线路巡线的质量和效率，保障电力系统的稳定运行，提高供电可靠率具有重大意义。图 4 为输、变、配电巡检系统组成框图。

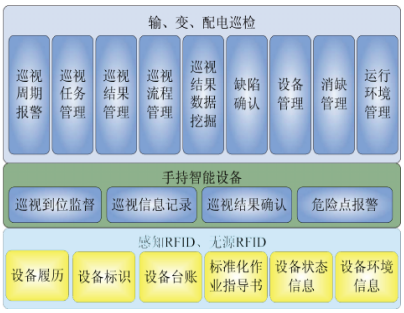

Figure 4, transmission, transformation and distribution inspection system block diagram

图 4 输、变、配电巡检系统组成框图

3.4 电气设备状态检测物联网技术研究及系统开发

设备状态检测也是传感网在智能电网中重要应用之一。用于变电站内电气设备各种状态参数监测和分析。通过物联网技术对电气设备状态参数进行在线监测，通过专家分析系统对设备状态数据及变化状况进行存储、统计与分析，建立准确的设备状态评估、诊断、预测模型，并通过可视化技术进行展示。提高设备利用率，延长设备寿命，减少停电次数/停电时间，提高输电效率。提高变电站电能计量装置准确度，为发电企业、电网企业带来经济利益。

Figure 5 Electrical equipment state detection technology block diagram of Things

图 5 电气设备状态检测物联网技术研究框图

978-1-935068-23-5 © 2010 SciRes.

电气设备状态检测物联网技术研究框图如图 5 所示。系统面向电网设备中的输、变、配用各个环节提供多种不同类型传感器实现对各种用电设备状态的实时监控。

3.5 基于物联网的电力现场作业管理系统研究

电力系统现场作业管理系统，通过开发可读写感知 RFID 标签和手持智能设备，预置工作票内容，在操作前后从作业对象上的 RFID 标签获得设备信息，与工作票进行核实，并通过无线传感、TD-SCDMA 通信方式接入现场监控和指挥系统，实现现场作业远程视频监控，现场作业操作防误与事件记录，现场防误入间隔，防止触电，保障人身及设备安全。

如图 6 所示，基于感知 RFID 与 TD-SCDMA 的配电网现场作业管理系统主要分为包括传感器、RFID 的信息采集层，各种通信方式的通信层，以及后台信息管理系统的支撑层。该系统通过安装在作业车辆上的视频监视设备和设备上的 RFID 标签，远程监控作业现场情况、现场核实操作对象和工作程序，紧密联系调度人员、安监人员、作业人员等多方情况，使各项现场工作或活动可控、在控，减少人为因素或外界因素造成的生产损失。从而有力保障人身安全、设备安全、系统安全，并大幅提高工作效率。

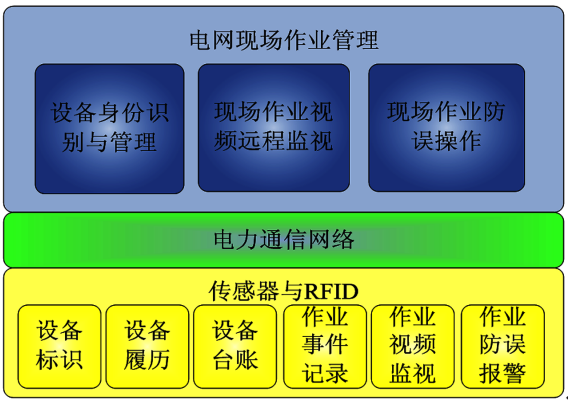

Figure 6 Power site operations management system functions
图 6 电力现场作业管理系统功能构成

3.6 面向智能用电及信息采集的物联网技术研究及系统开发

智能用户服务系统涵盖了智能家电传感网络系统、智能家居系统、无线传感安防系统，用能信息采集系统等模块，主要硬件设备包括智能交互终端、智能交互机顶盒、智能插座等,应用于智能用电系统，为居民用户提供可靠电力供应的同时扩展智能家居体验，实现家庭用电设备的智能化管理和能源的有效利用。

如图 7 所示,该系统与外部的通信主要通过电力线通信（PLC）、光纤到户（FTTH）、无线宽带通信等通信方式相结合的宽带通信平台来实现。可以实现电网与用户之间实时交互响应,增强电网综合服务能力，满足互动营销需求，提升服务水平，加强用户与电网之间的信息集成共享和实时互动,实现用电的智能化、互动化，进一步改善电网运营方式和用户对电能的利用模式，提高终端用户用能效率。

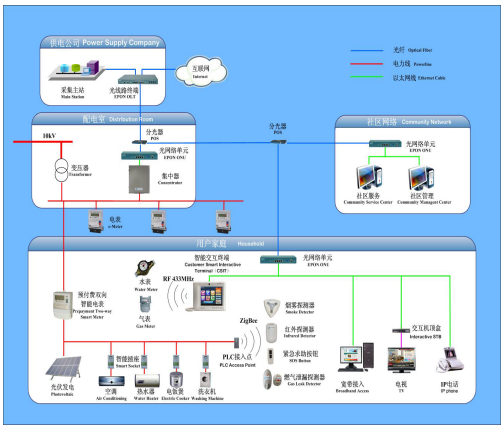

Figure 7 Figure intelligent user service system components
图 7 智能用户服务系统组成图

3.7 物联网在绿色智能机房管理中的应用研究及开发

应用于实现绿色机房建设中全方位的能效优化。通过在机房设备附近安装各种物理环境和工作状况传感器，可综合掌握设备所处状态，有针对性地对环境进行优化，达到减少非必要能源消耗的目的。

针对机房环境和设备特点设计传感器装置，选择可靠稳定而不会对机房设备产生干扰的通信方式，使用信息管理的智能感知调度平台，对机房物理环境、设备运行状况、设备电源等实时监控，在参数异常时发出报警信息，辅助管理机房设备并确保其在理想环境参数下运行。管理平台将根据分析采集的传感器数据实时调整制冷设备等，达到减少能源消耗的目的。

智能机房的基本体系结构如图 8 所示。从对象来看，智能机房可以分为两大部分，一是机房设备和环境管理部分，另外一个是人员规范和作业管理系统。机房设备和环境管理部分利用物联网技术、IT 技术、自动化控制技术将传统机房的环境管理、电源管理、设备管理、安防管理、消防管理等系统集成到一起，成为一个全新机房管理自动化系统；而人员规范和作业管理系统是将传统的门禁管理、巡检管理等系统进行整合，最终成为一个规范化、人性化、智能化的人员作业管理系统。

3.8 基于物联网的电动汽车信息平台研究及开发

研究物联网技术在电动汽车运行状态、电池类型状态监测方面的关键技术、设备定制、实施方案；研究基于物联网的电动汽车、充电站等相关对象统一管理、分析、调度、展示信息化管理平台；对于平台范围内的电动汽车、充电站、相关工作对象实现图形数据和台帐属性数据的统一管理和加解密处理，通过 GIS 图形化方式提供友好直观的展示；面向大量终端的数据快速处理和压力均衡处理，满足大范围内同时处理电动汽车、充电站、相关工作对象实时监测信息的并发处理需求；安置在电动汽车、充电站、相关工作对象能通过短距离无线通信实现自身传感器自组网和网内信息分析；平台通过综合分析来自电动汽车、充电站、相关工作对象物联网的监测信息，综合分析判别，为电动汽车根据当前位置、当前能量状态、自身电池设备型号等信息分析匹配最合适的充电站进行能力补充。

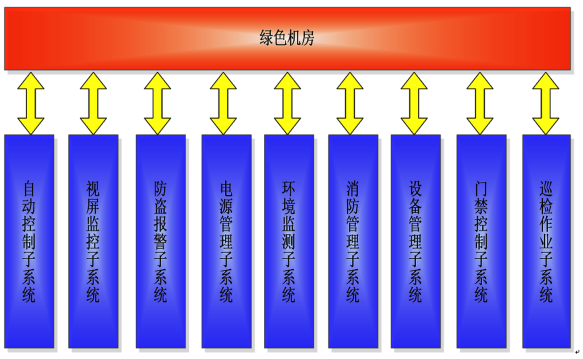

Figure 8 things in the green room management of intelligent research framework

图 8 物联网在绿色智能机房管理中的应用研究框架

3.9 统一的软硬件开发平台与标准体系研究

建立统一的、面向服务的智能电网传感网络应用系统一体化信息共享平台，实现多源/多类型/异构数据一体化组织和管理，实现输、变、配电网信息作为“一张电网”的统一管理；在相关数据一体化组织和管理的基础上，实现统一的数据传输、存储技术，提高电网运行和传感网数据的安全；实现电网运行和传感网数据快速检索和综合分析服务；提供无插件、纯瘦客户端的图形化的快速浏览功能。其网络架构如图 9 所示。

3.10 电力物联网安全体系研究

电力物联网传输链路多样、网络架构多层，完整的安全防护应覆盖信息采集（物联网）、信息传输（无线宽带网络或 IP 网）及信息处理（应用系统）的各个环节。本项目将根据电力物联网在不同应用场景下的安全需求，分析提出网络中各个实体、环境、边界应提供的安全机制。电力物联网安全防护框架如图 10 所示。

4. 总结与展望

物联网被认为是继计算机、互联网之后的第三次数字技术革命，必将给电力发展带来重大曙光，为智能电网的实现做出不可磨灭的贡献。我们也要立足电网、抓住机遇、开拓创新、稳扎稳打，解决遇到的技

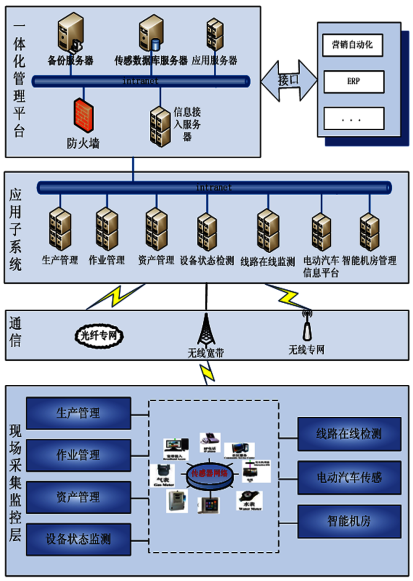

Figure 9 things in the smart grid of the network structure

图 9 物联网在智能电网中的应用网络结构

978-1-935068-23-5 © 2010 SciRes.

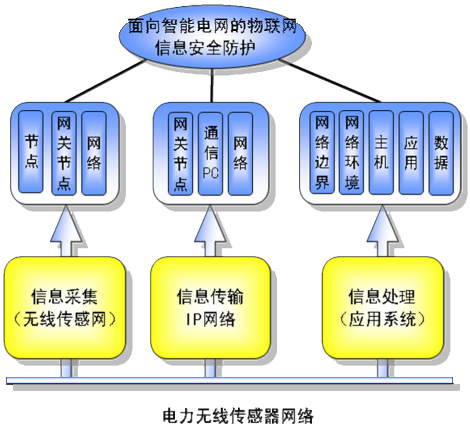

Figure 10 security framework for power diagram of Things
图 10 电力物联网安全防护框架示意图

术难点，把物联网与智能电网技术更紧密有效地结合起来。

物联网为智能电网的各个环节都提供了有利的支撑。同时，一些技术难点也是不容忽视的：智能电网复杂应用环境下的通信可靠性问题，即传感器网络在不同应用环境下的可靠性、自组网特性、信号穿透性、带状传感器可靠组网技术、无线传感器与电力线载波通信的复合应用技术；传感器网络节点的环境取电问题，即应用现场环境取电以及低功耗、长寿命、低成本问题；高电压强电磁干扰恶劣环境适应性问题，即传感网向电网移植，面向实际系统、设备的网络部署、安装等环境适应性、电磁干扰和加固问题；多传感器数据融合及可靠的多标签射频识别技术问题，即多种传感器和多种通信技术所组成系统的可靠、实时通信和数据存储问题。

国家电网公司一直积极推动物联网技术的研究和应用，智能电网的建设以及大批智能电网试点工程的实施有力地推动了物联网技术在电力系统的应用。我们的研究已经取得了阶段性的成果，开发出包括无线图像传感器、无线温度传感器、智能插座以及开发模块等传感与采集器件；包括智能电表、PLC Modem、电力线宽带采集装备、互动终端、巡检终端以及新能源接入设备；包括用电信息采集系统、智能用电服务系统、GIS 及巡检系统以及生产与作业管理系统。智能电网的实践，必将为“感知中国”工程提供了很好的行业应用示范。希望国家电网公司在全力推进智能电网建设的同时，继续加强物联网技术的研究和应用，站在国家发展的高度，推动物联网产业的发展及壮大，为推动我国的信息化建设做出独特的贡献。

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] 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).

[2] WANG Mingjun. Promotion Factors, Research and Development Routes and Difficult Problems of Smart Grid [J]. Distribution & Utilization, 2009, 26(4).

王明俊. 智能电网的推动因素、研发路线和难点问题[J].供用电 2009，26(4).

[3] Wu Shuai, Development and stragedy of Internet of things of China[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly. 5, 2010.

吴帅. 我国物联网的发展现状与策略 [J].科技创业月刊 2010，23(5).

[4] Zhu Zhongying, Progress and Trends of Sensor Network and Internet of Things [J]. Microcomputer Applications. 2010, 26(1).

朱仲英. 传感网与物联网的进展与趋势.微型电脑应用 2010，26(1).

[5] YU Yi-xin, Technical Composition of Smart Grid and its Implementation Sequence[J]. Southern Power System Technology. 2009(2).

余贻鑫. 智能电网的技术组成和实现顺序[J].南方电网技术 2009(2).