

中图分类号: TN929.5 文献标志码: B 文章编号: 2095-641X(2014)05-0064-06

智能电网中的移动互联网应用探讨

高志远, 曹阳, 严春华, 鄢蜜昉, 姚建国, 杨胜春
(中国电力科学研究院, 江苏 南京 210003)

66

摘要: 移动互联网对于电力系统的发展具有重要意义。目前移动互联网在智能电网建设中的应用还处于起步阶段。文章简单剖析了移动互联网的现状、关键技术和主要特征, 梳理了目前移动互联网在电力系统中已有的应用, 总结了 4 种未来可能的典型应用模式。从安全性、可靠性、实时性、受控程度、成本、与云计算的结合、标准化等方面分析了移动互联网在电力系统应用可能遇到的关键挑战。

关键词: 智能电网; 移动互联网; SWOT; 无线传感网; 第三代移动通信技术

99

智能电网

0 引言

移动互联网技术作为一种通信支撑手段, 电力系统中已经对其陆续开展了有关研究和应用^[1-4]。但是限于该技术本身不够成熟, 以及安全、成本等因素, 目前移动互联网技术在电力系统中的实际应用较少。

移动互联网技术性能和安全随着 3G 以及 LTE 的发展不断进步。近年来, 移动互联网已成为继云计算、物联网之后 IT 界的一个重大技术发展方向, 并且将继续深入影响社会经济生活的各方面。据统计^[5], 截至 2013 年 6 月底, 中国网民数量达到 5.91 亿, 手机网民规模达 4.64 亿, 手机首次超越台式电脑成为第一大上网终端。

因此, 有必要深入探讨移动互联网及相关技术在电力系统中的应用, 梳理目前已有的应用, 未来可能的应用模式、应用场景, 以及在实际应用中可能遇到的关键挑战。进一步丰富智能电网中各类应用设计的内涵, 为即将到来的移动互联网规模化应用做好准备。

1 移动互联网技术及其 SWOT 分析

移动互联网的核心特征是支持通过移动通信方

式连接互联网, 狭义来说仅指用户通过手机连接互联网, 广义来说则泛指用户通过各种移动设备, 经由各种移动通信方式, 访问互联网。本文取广义的含义。

相比于普通的 Internet 技术, 移动互联网需要解决的最大技术问题是怎样支持用户的移动性, 即不能因为用户的移动中断或影响正在进行的网络访问。解决这一问题主要是通过移动 IP (Mobile IP, MIP) 技术, 比较典型的是 MIP V4 和 MIP V6, 并已形成了相关的 RFC 标准, 目前研究的重点是从 MIP V4 到 MIP V6 过渡标准的建立, 以及从性能、开销等方面对 MIP V6 的完善^[6-7]。

移动互联网代表了未来通信的发展方向, 意味着可以在任何时刻、任何地点访问互联网的服务, 对整个社会生活、生产方式、厂商运营模式以及技术的发展都有重要影响。为了对移动互联网技术在电网中的应用进行全面分析, 本文选择了 SWOT 方法。SWOT 分析框架是美国学者于 20 世纪提出的一种态势定性分析方法, 通过列举事物的优势 (Strengths)、劣势 (Weaknesses)、机遇 (Opportunities)、挑战 (Threats), 从而进行全面分析。移动互联网技术在智能电网中应用的 SWOT 分析见表 1 所列。

表 1 移动互联网技术在智能电网中应用的 SWOT 分析

Tab.1 An SWOT analysis about applications of mobile internet technologies in smart grid

优势(S)	劣势(W)	机遇(O)	挑战(T)
支持电力仪器设备的机(移)动性和随时在线性能;弥补了原来局部的通信能力不足;支持电力信息终端设备的多样化;丰富了智能电网中具有移动特征的电力业务开展;有助于部分地区电力业务的快速部署;增加了部分低成本方案的实现方案,特别是使用才计费的按需使用方式	经验不足,在电力系统中应用很有限;牵涉到新的安全、可靠性问题,特别是基本通信设施非电力部门掌控,和传统的应用方式有所不同;成本方面,虽然在局部原来通信支撑能力不足的地区可提供快速、低成本方案,但普遍推广和传统应用方案比较,是否有优势还有待论证	移动通信发展很快,各类新技术、新应用不断涌现,可靠性、带宽不断提高;移动通信资费不断降低;智能电网中有强劲的移动通信需求,未来有广阔的发展空间	新的安全性问题;新的可靠性问题;移动互联网需要满足电力系统较高的实时性要求;移动互联网部分网络设施在电力部门掌控之外,带来新的受控问题;移动应用需要从全寿命周期成本综合降低成本;综合应用云计算、物联网等各类新型 IT 技术;相关应用规范和标准的建立

2 目前实际应用情况和可能的应用场景

电力系统对移动通信有很强需求,早在 2004 年,文献[8]就提出了移动电力系统(Mobile Power System, MPS)概念。近年来随着智能电网建设的展开和全面建设,更是从多方面开展了对移动互联网的研究和应用。移动互联网在电力系统中的主要应用场景见表 2 所列。

表 2 移动互联网在电力系统中的主要应用场景

Tab.2 Main application scenarios of mobile internet in electric power systems

领域应用	发电	输电	变电	配电	用电	调度
1	电力信息化(包括移动办公)					
2	电网视频监控					
3	应急(抢险)通信					
4	移动现场作业(例如巡检等)					
5	设备在线监控				用电信息 采集	
6	电网防灾减灾					
7		输电线路 在线监测	变电站 自动化	配电自动 化系统	电费缴纳	
8		输电线路 巡检		分布式母 线保护	智能化用电	

表 2 中,调度环节作为电网中心,主要是使用移动互联网的应用成果。配电自动化系统中通信方式的选择是关键问题,移动互联网提供了一种有价值

的备选方案。近年来在智能变电站建设中,也逐步有移动互联网的试点应用,如变电站巡检机器人、移动工程师站等的应用,甚至在 750 kV 洛川智能变电站设计了基于 3G 移动通信网络和 ZigBee 网络的智能多态遥视系统^[9]。

综合表 2 的分析可以看出,移动互联网技术在以下方面具有优势。

1) 能够填补原来电力系统中部分环节和场景下通信能力的不足。由于环境、成本等多重限制,在部分不便架设固定通信网络的情况下,移动互联网就成为重要的通信支撑。如输电线路覆冰在线监测^[10]、海岛可再生独立能源电站能量管理系统^[11]、电力线防盗在线监测系统^[12]等应用中,通过移动互联网补充了原来无法处处覆盖的通信,实现了基于 GSM 或 3G 网络的快速部署、低成本的可行解决方案。

2) 能够使电力系统中原来的通信支撑方案在性能、成本、可靠性等方面获得提升。如在配电网馈线自动化系统应用中,由于目前配用电通信网建设发展不均衡,覆盖范围存在地域性差异,总体上比较薄弱,许多地区在比较权衡后选择了基于移动公网的解决方案,也能够满足要求^[13]。电力抄表也存在类似的情况^[14]。

3) 作为一种新的技术手段,能够实现新的更加自动化、智能化的应用。如可能改变整个电力信息化格局的移动办公方式,目前作为试点的输电线路巡检机器人、智能变电站巡检机器人以及手机缴纳电费业务等。此类应用未来会越来越多,从根本上改变电力系统生产、运转和消费的模式。

3 典型应用模式分析

从通信手段看,移动互联网在电力系统中的应用总体上有结合自建无线网和完全使用公网 2 种思路。公网相比自建无线网具有节省成本、功能全面、支持众多的优势。自建无线网包括物联网、传感网、Ad-hoc 自组网等,具有自主架设、选择性较多的优势。移动互联网的应用如果能与物联网、传感网、Ad-hoc 自组织网络等技术相结合,会获得更大的适应性、更高的性价比。

结合未来智能电网的发展需求,总结了 4 种移动互联网的典型应用模式。

3.1 自建无线网应用模式

自建无线网应用模式如图 1 所示。

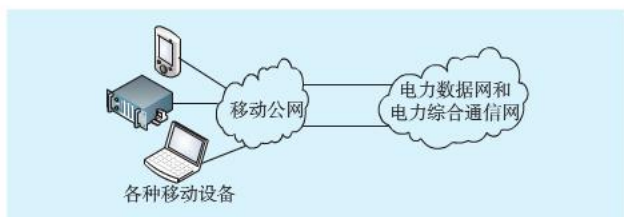


图 1 自建无线网应用模式

Fig.1 The application mode of a self-built wireless network

这种模式利用 RFID、ZigBee 等物联网、传感网技术,自己组建无线网络,以补充有线电力通信系统的不足,适用于部分不便敷设有线通信或有线通信成本很不经济的情况。突出特点是所有网络基本设施都由电力部门掌控。

3.2 移动公网接服务器应用模式

移动公网接服务器应用模式如图 2 所示。

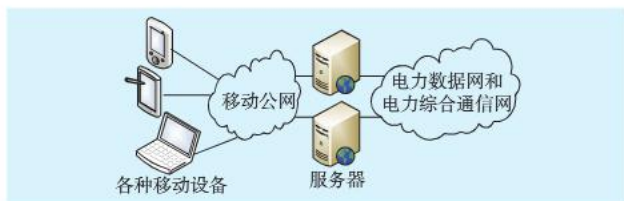


图 2 移动公网接服务器应用模式

Fig.2 The application mode of mobile internet accessing to servers

这种模式利用移动公网作为通信支撑,可以覆盖广大的区域,实现对广域电网信息的各种采集。突出特点是通过公用通信设施大大扩展了电力通信能力,但导致部分通信设施不在电力部门直接控制之下。

3.3 自建无线网接移动公网模式

自建无线网接移动公网模式如图 3 所示。



图 3 自建无线网接移动公网模式

Fig.3 The application mode of a self-built wireless network accessing to mobile public network

这种模式综合了自建无线网和移动公网的优势,并把两者结合起来,形成适应性更广的技术方案。突出特点是在第 2 种模式的基础上,进一步通过自建无线网弥补了现有电力通信和移动公网通信

能力的不足。

3.4 两端移动公网模式

两端移动公网模式如图 4 所示。



图 4 两端移动公网模式

Fig.4 The application mode of connection of two ends of the mobile internet

这种模式实际是对模式 2 的扩展应用,充分利用移动公网覆盖面广、支持移动的特性,形成一种新的移动管理和运行方式,可以支持更广泛的电力业务。

4 关键挑战

4.1 安全性

随着移动互联网的广泛应用,其安全性已经引起全社会的广泛关注和研究^[15]。移动互联网的应用实际还是以 IP 技术为基础,这决定了原来互联网上的安全问题在移动互联网也存在,同时由于其移动应用本身的特点,还引入了新的安全问题。移动互联网的关键安全风险和防护技术如图 5 所示。其中“可靠性”威胁主要是 IT 系统设计和建设本身,属于传统问题,没有单独列出对应的关键技术。

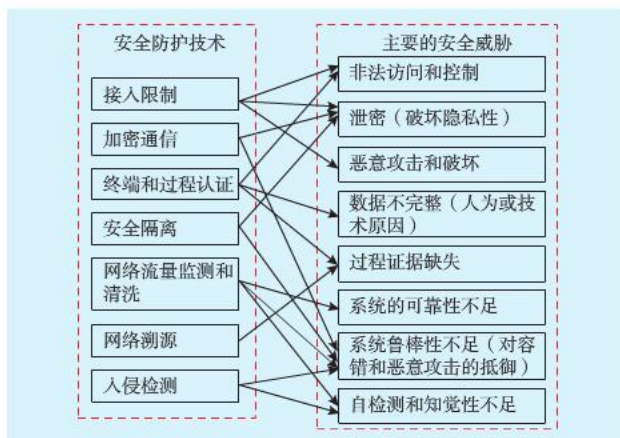


图 5 移动互联网的关键安全风险和防护技术

Fig.5 The key security risks and protection technologies of mobile internet

电力系统是以安全稳定为第一要务的领域,移动互联网在电力系统得到应用,必须具有安全性,在

这方面已经优先开展了大量研究^[16-18]。在电信运营商和设备商提供的移动互联网安全保障的基础上,还需要从以下几个方面进一步加强安全性。①综合应用多种安全技术。如文献[18]中,对安全认证,综合采用了数字证书认证、终端特征识别、安全状态扫描等多种技术,多重保证认证安全。②专用网络和设备。通过对SIM卡、终端乃至网络(VPN)专用,可以屏蔽掉相当一部分威胁。③对原有安全技术的二次加强。如采用对机密应用数据的二次加密、对应用过程的增强型认证、移动应用状态的在线监测和防护等。④技术之外的安全保障。如物理安全、管理制度、防护意识普及等。

4.2 可靠性

电力系统中的应用对运行的可靠性要求非常高,这是与个人用户移动互联网应用的根本不同。无线抄表应用,如果信号短暂故障,可以等到恢复时继续;移动现场作业,一旦不定时出现可靠性问题,则可能造成严重后果。在已有的风险管理、安全设计、形式化验证、预防设计等电力应用系统可靠性设计方法基础上,移动互联网的应用带来了新的风险,也需要更丰富的研究和设计方法。

文献[20]基于齐次马尔科夫过程给出了电力系统的瞬时故障概率 $P(t)$:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n (p_{fi}(t))^{x_i} (1 - p_{fi}(t))^{1-x_i} \quad (1)$$

式中, n 为构成电力系统的元件个数, x_i 表示元件 i 在 t 时刻的状态(1表示停运,0表示运行), $p_{fi}(t)$ 表示元件 i 在 t 时刻的停运概率。这一分析同样适用于由各类设备和子系统构成的应用系统的可靠性分析。但移动因素的加入,增加了其中的复杂性。

移动应用的可靠性受到移动终端的续航能力、移动终端的处理和存储能力、无线信号强弱、链路带宽、误码率甚至当时的使用用户数等众多因素的影响。电力系统应用地域广阔复杂,配用电可能处于复杂的小区环境,输电应用则可能面临复杂的地质条件,各种电力设备、电磁环境可能对移动信号形成干扰,此类因素都增加了电力系统中移动互联网可靠应用的复杂性。

4.3 实时性

移动互联网的实时性,可以定义为从发送数据到接收数据之间的传输时延。这取决于所传输数据包的大小、收发端的空中接口性能、传输所经过的网络

时延、途经各个节点的缓存和处理时延、所购买传输业务的优先级等多种因素。移动互联网覆盖地域广大,同一张网在不同地点、不同时刻的性能可能都有所差异。目前GPRS网络大约可以达到56 kbit/s甚至114 kbit/s,实际应用中128 B以内数据包在收发两端的平均时延可以在1 s之内,1 024 B内数据包在收发两端的平均时延则在2 s内。

纵观电力系统的各类应用,对实时性的要求可以分为4类:①毫秒级以内的实时性要求,如保护采样和动作等;②秒级实时应用,如采集监控系统中的事件顺序记录等;③10 s以上乃至分钟级的应用,如对部分人机接口和高级分析计算等;④非实时生产和管理类应用,没有实时性要求,如无线抄表、管理信息系统等。目前电信移动互联网可以确保满足第3类和第4类要求;对于第2类秒级应用,经过优化设计和实验校正,基本可以满足;对于第1类毫秒级以内的实时性要求则不能满足。

4.4 受控情况

移动互联网应用与传统电力系统应用最大的不同是受控情况不同。传统电力系统应用全部在电力系统内部,通信部分也全部落在电力调度数据网和综合通信网内(国内情况),所有过程全部可控。但是移动互联网应用中有一部分在公网上,虽然可以采用VPN等业务,但不是完全可控的。

这一问题导致安全性和可靠性隐患,解决的途径在于与电信部门深入合作,在电信行业提供的安全和可靠保障的基础上,提高终端、网络和业务开放性,在电信运营商能够接受的范围内提高用户对电力移动互联网应用的监控能力。

4.5 成本因素

对于电力移动互联网应用,究竟是自己架设无线网络,还是租用电信资源,除了从技术、安全可靠性等方面考虑,还需要从成本角度考虑。根据全寿命周期成本分析方法^[19]有下式成立:

$$C_{MLCC} = I_C + O_C + M_C + F_C + D_C \quad (2)$$

式中, C_{MLCC} 表示移动应用全寿命周期成本; I_C 表示设备和系统投入,其中应用方案中公网投资方面是由电信部门承担的; O_C 表示运行成本,随着移动技术和应用的发展,可以看到电信部门的业务资费在不断降低,同时租用电信资源有按使用计费的弹性优势; M_C 表示维护成本; F_C 表示故障成本; D_C 表示报废成本。与 I_C 一样,这几个成本量中都有一

部分由电信部门承担。

从全寿命周期角度看,面对同样的需求和环境,移动互联网应用原则上应该综合效益更高,才能得到应用。即有式(3)成立:

$$C_{FLCC}-C_{MLCC}+\Delta P>0 \quad (3)$$

式中, C_{FLCC} 表示传统应用全寿命周期成本, ΔP 表示移动互联网应用产生效益相比于传统应用差值。

4.6 与云计算的结合

移动终端是天然的云终端,如能使用户随时随地通过移动互联网以按需、易扩展的方式获得所需的服务,将是未来一种理想的业务模式。目前云计算技术已经在电力系统中引起广泛的重视和研究,并陆续有试点应用。未来电力系统中移动互联网和云计算的结合将是一个重要发展方向。

4.7 有关标准的建立

目前国内外的智能电网技术标准已得到广泛研究,并形成了相关体系。移动互联网应用的逐步加入和普及,为智能电网标准建设加入了新的元素。如何结合电力系统安全设计的各类要求,充分应用有关国际标准组织 IETF(互联网工程任务组)、ITU-T、3GPP(第三代合作伙伴计划)颁布的众多移动互联网标准,通过规范化和标准化,巩固和推广移动互联网在电力系统中的应用,是一项重大工作。

5 结语

移动互联网作为近年来通信技术和应用最重大的发展方向,可以补充和加强电力系统通信支撑能力,也使我们摆脱了“画地为牢”的固定应用模式,从根本上改进和完善电力系统生产、运营和管理方式。可以预见,移动互联网在电力系统中有广阔的应用前景。但同时面临着安全性、可靠性、成本、实时性等多方面的挑战,这些关键问题的解决决定了移动互联网在电力系统中应用的方式、范围以及进度。后续研究建议统筹布局、稳步推进,分别对这些关键挑战深入开展研究。

参考文献:

- [1] 黄新波,刘家兵,王向利,等.基于GPRS网络的输电线路绝缘子污秽在线监测系统[J].电力系统自动化,2004,28(21):92-95.
HUANG Xin-bo, LIU Jia-bing, WANG Xiang-li, et al. On-line remote-monitoring system for transmission line insulator

contamination based on the GPRS net[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(21): 92-95.

- [2] 韩伟. GPRS无线通信在电力系统监控中的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(S2): 276-279.
HAN Wei. The GPRS wireless communication system applies to the field of operational monitoring of electric power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(S2): 276-279.
- [3] 苏永智,潘贞存,刘志清,等.基于无线CDMA通信的馈线纵联保护研究[J]. 电网技术, 2006, 30(14): 88-92.
SU Yong-zhi, PAN Zhen-cun, LIU Zhi-qing, et al. Feeder's pilot protection based on wireless CDMA communication[J]. Power System Technology, 2006, 30(14): 88-92.
- [4] 陈军. 3G移动通信技术在智能电网中的应用[J]. 高科技和产业化, 2009(12): 84-86.
- [5] 中国互联网络信息中心(CNNIC). 第32次中国互联网络发展状况统计报告[DB/OL]. [2013-7-17]. http://www.cnnic.cn/hlwfzyj/hlwzxbg/hlwtjbg/201307/t20130717_40664.htm.
- [6] 何达,瞿玮,周华春. 移动互联网技术综述[J]. 电信快报, 2007(11): 16-19.
- [7] 谷和启. 移动互联网应用与发展[J]. 当代通信, 2003(9): 22-27.
- [8] 徐青山,唐国庆. 移动电力系统架构的技术实现[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 53-55.
XU Qing-shan, TANG Guo-qing. Technical implementation of mobile-power-system establishment[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 53-55.
- [9] 李煜,高峰,李洋. 移动互联网在智能电网中的应用[J]. 科技与企业, 2011(14): 51-52.
- [10] 王阳光,尹项根,游大海,等. 基于无线传感器网络的电力设施冰灾实时监测与预警系统[J]. 电网技术, 2009, 33(7): 14-19.
WANG Yang-guang, YIN Xiang-gen, YOU Da-hai, et al. A real-time monitoring and warning system for electric power facilities icing disaster based on wireless sensor network[J]. Power System Technology, 2009, 33(7): 14-19.
- [11] 王坤林,尤亚戈,张亚群,等. 海岛可再生独立能源电站能量管理系统[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(14): 13-17.
WANG Kun-lin, YOU Ya-ge, ZHANG Ya-qun, et al. Energy management system of renewable stand-alone energy power generation system in an island[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(14): 13-17.
- [12] 张占龙,李冰,杨霁,等. 微波感应式电力线防盗在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(22): 93-95.
ZHANG Zhan-long, LI Bing, YANG Ji, et al. On-line monitoring system of electric power line guard against theft by microwave induction[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,

- 30(22): 93-95.
- [13] 李惠宇, 罗小莉, 于盛林. 一种基于GPRS的配电自动化系统方案[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(24): 63-65.
LI Hui-yu, LUO Xiao-li, YU Sheng-lin. A GPRS based distribution automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(24): 63-65.
- [14] 姜世芬, 汤霖. 一种基于自组网络的无线抄表系统研制[J]. 现代电子技术, 2012, 35(1): 61-64.
JIANG Shi-fen, TANG Lin. Development of wireless meter reading system based on Ad-hoc network[J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(1): 61-64.
- [15] 段伟希, 周智, 张晨, 等. 移动互联网安全威胁分析与防护策略[J]. 电信工程技术与标准化, 2010(2): 1-3.
DUAN Wei-xi, ZHOU Zhi, ZHANG Chen, et al. Analysis and prevention policy of security threats of mobile net[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2010(2): 1-3.
- [16] 余勇, 林为民. 移动互联网在电力系统的应用及基于等级保护的安全防护研究[J]. 信息网络安全, 2012(10): 1-4.
YU Yong, LIN Wei-min. Study on applications and information security based on classified protection of mobile internet in electric power system[J]. Netinfo Security, 2012(10): 1-4.
- [17] 徐震, 刘韧, 于爱民, 等. 智能电网中的移动应用安全技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(16): 82-87.
XU Zhen, LIU Ren, YU Ai-min, et al. Mobile application security technology for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(16): 82-87.
- [18] 秦超, 张涛, 林为民. 电力移动作业PDA安全接入系统设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(11): 82-85.
QIN Chao, ZHANG Tao, LIN Wei-min. Design and implementation of safe access system for electric mobile operation based on PDA[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(11): 82-85.
- [19] 张勇, 魏盼. 电网企业开展资产全寿命周期管理的思考[J]. 电力技术经济, 2008, 20(41): 62-65.
ZHANG Yong, WEI Bin. Reflections on implementing assets life cycle management in power grid corporations[J]. Electric Power Technologic Economics, 2008, 20(41): 62-65.
- [20] 何剑, 程林, 孙元章. 电力系统运行可靠性成本价值评估[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 5-9.
HE Jian, CHENG Lin, SUN Yuan-zhang. Power system operational reliability cost/worth evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(2): 5-9.

编辑 张京娜

收稿日期: 2014-02-14

作者简介:

高志远(1972-),男,安徽亳州人,高级工程师,从事智能电网宏观战略、厂站自动化系统的应用研究工作;

曹阳(1978-),男,安徽马鞍山人,高级工程师,从事智能电网、智能调度等方面的研究工作;

严春华(1983-),女,江苏盐城人,工程师,从事智能电网、智能调度等方面的研究工作;

鄢蜜昉(1987-),女,湖北黄冈人,工程师,从事智能电网、智能调度等方面的研究工作;

姚建国(1963-),男,江苏南通人,高级工程师(教授级),从事智能电网、智能调度等方面的研究工作;

杨胜春(1973-),男,湖北武汉人,高级工程师(教授级),从事智能电网、智能调度等方面的研究工作。

Discussion on Application of Mobile Internet in Smart Grid

GAO Zhi-yuan, CAO Yang, YAN Chun-hua, YAN Mi-fang, YAO Jian-guo, YANG Sheng-chun
(China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: Mobile Internet has a great significance to the development of power systems. However, applications of mobile Internet in the construction of smart grid are still in its initial stage. This paper briefly describes the situations, key technologies and main characteristics of mobile Internet, and summaries the existing applications of mobile Internet in power systems and four possible and typical application modes in the future. From several aspects of security, reliability, real-time performance, controllability, cost, integration with cloud computing and standardization, possible critical challenges faced by applications of mobile Internet in smart grid are discussed.

Key words: smart grid; mobile Internet; SWOT; wireless sensor network (WSN); 3G (3rd-generation) mobile communication technology