

智能电表数据分析及应用综述研究

王亚东¹, 高岩¹, 金锋²

(1. 上海理工大学管理学院, 上海 200093; 2. IBM 中国研究院, 上海 201203)

摘要: 随着智能电网的快速发展, 其核心设备的智能电表吸引了相关用户、企业、政府部门的密切关注。智能电表基本能够每隔 15 分钟自动读取一次用电数据。高频率快速采集用电数据产生了海量的用电信息, 这就构成了电力行业中的大数据。通过对这些海量电表数据挖掘分析, 可以为用电客户、供电企业和社会环境提供更好的创新服务。文中综合大量智能电表相关的文献, 对智能电表部署、智能电表应用分析以及对电力用户、电力公司和社会环境等产生收益进行了系统地总结和分析。

关键词: 智能电表数据分析; 负荷预测; 需求响应; 窃电检测

中图分类号: TM93 **文献标识码:** A

Review of smart watthour meter data analysis and applications

WANG Ya-dong¹, GAO Yan¹, JIN Feng²

(1. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. IBM China Research Lab, Shanghai 201203, China)

Abstract: With the rapid development of smart grid, the core equipment smart watthour meter has attracted much attention to the relevant users, businesses and even national government. Generally, the smart watthour meter can automatically read the electricity data every 15 minutes interval. High-speed data acquisition generates vast amounts of electricity information, which constitutes the big data of power industry. By mining and analyzing these massive meter data, all the players including electricity customers, power supply enterprises and social environment can receive much better innovation service. This paper systematically summarized the research results from numerous literatures on smart watthour meter deployment, smart watthour meter data analytic with applications and also how it benefits to electricity users, power supply companies and social environment.

Key words: smart watthour meter data analysis; load forecasting; demand response; electricity theft detection

0 引言

21 世纪以来,随着经济全球化和科技的快速发展,可再生能源日益消耗以及生态环境污染加剧等问题,严重困扰了人类社会。能源是人类赖以生存的物质基础,也是国民经济发展的支撑。解决能源问题的根本途径在于提高能源利用效率,大力开发利用清洁能源和新能源。电能作为一种易于传输的高效、清洁二次能源,在人类使用的能源结构中占据非常大的比重。电能是经过化石燃料发电转化而来的,通过配电网络传输给用户使用。为了

满足经济社会发展的电力需求,适应电力发展以及电力需求的多样性,构建安全可靠、清洁环保、经济高效、友好互动的智能电网已成为当前国家战略发展的重中之重。

收稿日期: 2014-06-05

基金项目: 国家电网科技项目(8300022813);上海市一流学科(系统科学)建设项目(XTKX2012);上海市科委与地方院校能力建设项目(10550500800);美国 IBM 公司共享大学项目(SUR)

作者简介: 王亚东(1989-),男,硕士研究生,研究方向为智能电网电价定价方法研究、智能电表数据优化分析等。

智能电表作为智能电网中的一个重要基本组成部分,具有原始用电数据采集、用电信息存储、双向多费率计量、用户端控制以及双向通信等功能,是实现用电信息集成分析与优化的重要基础。智能电表的部署,供电公司每隔 15 分钟就能自动读取一次用电数据。由于高频率快速采集用电数据,产生海量的用电信息,就构成了电力行业中的大数据。通过对这些海量的智能电表数据进行分析挖掘,为用电客户、供电企业和社会环境提供更好的创新服务,这就是智能电表数据分析的价值所在。本文综合大量智能电表相关的文献,对智能电表数据分析方法、相关分析应用以及产生的收益进行深入地总结研究。

1 电表大数据分析带来的收益

(1) 用电客户受益

智能电表能为用户提供全方位的信息交换功能,实时传送用电信息和当前电价,科学合理安排用电计划,促进用户及时调整用电模式,避免集中用电带来电网难以负荷的用电高峰,节能减排,优化人们生活。可让企业用户合理安排生产经营活动,改变用电时间,降低生产成本。其中,图 1 表示智能电表在现代智能家居中的应用情况。

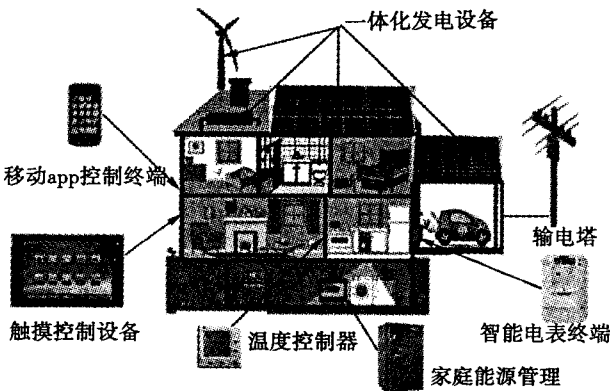


图 1 智能电表在现代智能家居中的应用

(2) 电力公司受益

通过对用电数据分析,准确获取用户的用电行为,对用户进行细分,建立缴费风险评估,针对不同用电模式下的用户,提供不同的用电服务;在用电峰谷时段制定不同电价,利用价格杠杆来平抑用电峰谷的波动幅度,实现削峰平谷,优化电力生产分配,节约能源;快速检测电网的异常故障,包括大灾难预警与处理、停电管理、窃电检测等安全检测控制。

(3) 政府部门受益

通过电能消耗数据,可以从总体判断**住房空置率**,为房地产行业调控提供决策支持;判断一个地区经济活跃程度或居民富裕程度,便于国家宏观政策的制定。

的制定。

(4) 社会环境受益

通过用电行为分析,合理的安排用电,更好地提高能源的利用效率,节能减排的同时,也大力发展风能、太阳能等清洁能源和可再生能源,减少了不可再生能源的消耗。

2 智能电表数据分析的相关应用

2.1 电力负荷预测

电力负荷预测是电力系统规划运行的重要组成部分,从根本上保证了电力系统的可靠运行。预测结果决定了一个地区未来一段时间电力的需求量及其电网的供电容量。根据预测周期不同,分长期预测、中期预测、短期预测、超短期预测,相对应的是年度预测、月度预测、日预测和小时预测。

负荷预测方法可以大体分为三类:传统预测、改进传统预测以及软件算方法^[1]。传统预测包括:回归分析法、指数平滑法、加权迭代最小二乘法。改进传统预测有:自适应预测、随机时间序列和支持向量机等。软件算方法包括:遗传算法、模糊逻辑、神经网络和专家系统等。表 1 给出了不同周期预测的对比情况。文献[2]使用人工神经网络结合天气数据和智能电表的历史数据进行日前负荷预测。针对传统负荷预测模型的缺陷,文献[3]提出了一种基于气象因素修正的灰色短期负荷预测方法,识别历史日温度序列中的异常并进行修正,提高了预测的精准度。黎祚等人^[4]应用权重标度法的思维,对电力负

表 1 几种不同期限负荷预测对比情况

时间	预测内容	用途	周期变化	影响因素	预测方法
长期预测	负荷、电量的年度数据	年度检修计划,电力公司规划管理	单调变化、无周期性规律	国民收入、人口、能源消耗、电价政策	回归分析、指数平滑、灰色预测、神经网络
中期预测	负荷、电量的月度数据	月度检修、燃料供应和机组维护计划	各年度对应月份有相似规律	生产计划、气象变化、电价政策	趋势外推、时间序列分析
短期预测	每时刻的负荷,日电量	日开停机计划和发电计划、短期维护	年月周不同期限均具有周期性	星期类型、气象变化、电价等	时间序列预测,神经网络预测
超短期预测	当前时段往后的若干小时负荷	实施安全分析和调度计划	与前几时段的变化规律类似	很少考虑,暑期时段温度变化	外推预测、时间序列、自回归、神经网络

荷进行中长期预测。文献[5]通过统计用电量时间序列之间的关系,基于机器学习技术,考虑家庭之间的关联性对用户进行短期负荷预测。长期负荷预测受能源消耗量、国民收入、人口增长率以及经济等影响因素共同决定的。文献[6]综合考虑这些因素,采用人工神经网络和人工神经模糊推理系统对土耳其地区的峰值负荷进行长期预测。文献[7]基于实时电价条件下,提出了一种遗传算法优化改进的灰色神经网络模型,对短期负荷进行预测,采用遗传算法对网络进行优化,提高了预测的精确度。

2.2 异常用电检测

非技术性损耗一直以来都是全球供电领域关注的重要问题。而窃电和非法用电等异常用电行为则是构成非技术损耗的重要组成部分。一般通过篡改电表、非法搭接等手段窃取用电,给电力公司带来了巨大的损失,增大了电力系统供电负担。

智能电表能够通过检测表箱开启、接线变动、表计软件更新等事件,及时发现窃电行为的发生。通过将总表的数据和其下所有表计数据进行比对,检测出异常用电情况。文献[8]对智能电表常见窃电方式进行归纳分类,提出了相应的防窃电技术,利用DSP微处理器设计智能电表防窃电平台。文献[9]讨论了窃电行为带来的影响,并且讨论了多种检测窃电行为的方法。文献[10]提出了AMIDS的概念,AMI入侵检测系统,一个集成的入侵解决方案,用以辨识AMI中恶意盗取用电的各种尝试。通过正常和异常的负荷曲线对比发现,AMIDS具有高精度的窃电检测性能。文献[11]提出了一种基于遗传算法的支持向量机模型来检测非法用电情况。文献[12]针对用电异常的窃电检测基于博弈论的原理,设计了一个电力公司和电力小偷之间的博弈机制模型。电力小偷的目的是窃取预定量的电力,同时最小化被检测出来的可能性;而电力公司则希望最大化检测出窃电异常的可能性和最小化导致管理这个异常检测的运营成本。

2.3 电力系统需求响应管理

电力需求响应机制是指电力用户针对市场价格调节信号或者根据电力公司的激励措施而改变其固有的习惯用电模式的市场参与行为。当前有关需求响应机制的研究主要围绕不同定价策略来进行的,用户根据电力公司发布的价格信号,包括分时电价、实时电价和尖峰电价,相应的调整用电需求,将用电时段调整到低电价时段,并在高电价时段减少用电,以此实现减少电费开销的目的。

(1) 分时电价

分时电价能够很好地反映电力公司在不同时段供电成本差异的电价机制。根据电网的负荷特性不同,按照不同时段划分电价,一般分为:季节电价和峰谷分时电价。文献[13]研究了分时电价的定价原则,建立模型运用历史电表数据进行仿真模拟。文献[14]基于用户响应和满意度,运用博弈论模型对我国分时电价定价进行研究。文献[15]提出了一种基于支持向量机的回归算法,对分时电价下用户需求响应行为进行建模研究。

(2) 实时电价

实时电价最早来源于F. C. Schweppe提出的现货电价^[16],在给定的时间段内向用户提供实时电价。实时电价是电力系统的理想定价机制,电力公司根据电力供需情况,实时制定电价,通过调整的实时价格信号引导用户参与系统的运行管理,激励用户在低谷时段用电,削减峰值负荷,达到削峰填谷的目的,实现电力系统负荷需求的理想化,节能减排的同时降低用户的电费支出。Samadi P从用户的总能耗水平出发建立能耗调度模型,以用户总效用最大和电能提供者的成本最小为目标,设计了一种分布式实时电价算法^[17]。文献[18]提出了一种自治住宅能源调度框架,基于实时定价费率下,建立用户在支付电费最小和电器等待时间最小之间取得折中的模型。

(3) 尖峰电价

虽然实时电价是最理想的定价,但是鉴于技术上和设备环境上的难度,全方位实施实时电价并不现实。尖峰电价就是在分时电价和实时电价的基础上发展起来的另一种动态电价机制,是在分时电价上叠加尖峰费率而延伸出来的,能反映短期的市场供电成本。Zhang Qin等人分析了用户如何响应尖峰电价,考虑了用电端和供电端的双方利益,通过一个价格需求弹性矩阵和一个混合电价模型来预测电价^[19]。Karen Herter等人将用户对尖峰电价响应的情况进行了分析总结:居民用户能够根据调整的价格信号进行负荷调整;并且在炎热夏天的高峰负荷时段支持使用尖峰电价电能表^[20]。

2.4 互动反馈机制管理

电力公司通过对电表数据的统计挖掘分析,对用户的用电行为展开研究,并将相应的合理建议反馈给用户,用户通过和电力公司交互式互动,可以给双方都能带来巨大的利益。何永秀等人对我国几个典型城市的居民智能用电情况进行问卷调查和数据分析,采用模糊综合评价方法对居民用电态度进行量化评分,根据居民的偏好和智能用电行为为分

析,为智能电网下居民互动机制设计提出了合理化的建议^[21]。文献[22]对美国大西洋沿岸中部电力公司的智能电表用户进行了深入采访和跟踪调查。运用行为决策研究的方法,了解有关智能电表的消费观念。并将相应的决策意见反馈给居民用户。为了能给电力用户提供类似电话清单的用电清单,帮助用户调整和规划家电的使用,文献[23]提出一种运用相似度比较,可用于家用智能电表的负荷识别方法,能够自动识别负载的类型,杜绝大功率阻性负载的使用,有效的防治大功率阻性负载的使用,减少火灾隐患。张素香等人使用智能电表历史数据,基于云计算平台的 K-means 聚类算法,针对智能小区的居民用电行为展开研究,建立了峰时耗电率、负荷率、谷电系数等时间序列特征^[24]。研究表明,能量消耗反馈工作可以有效地降低家庭能耗,文献[25]设计了以最大限度节约能源为约束条件,对用户的用电反馈的不同方法进行了系统的分析,并且向消费用户进行定性访谈,以便得到更好的反馈信息。

2.5 安全与隐私

智能电网并不是一个单独的设备、应用、系统或者网络,利用通信技术和信息技术来优化从供应者到消费者的电力传输和配电过程。在智能电网 AMI 计量体系的实现中,只能给你电表会自动的手机大量的信息并将信息传送到电力公司、消费者以及第三方服务提供商。这些数据可能包含侵害个人隐私的个人识别信息。通过对负载信息数据进行分析,就可以得知各时段电器的使用情况,图2表示设备的负载信息^[26]。

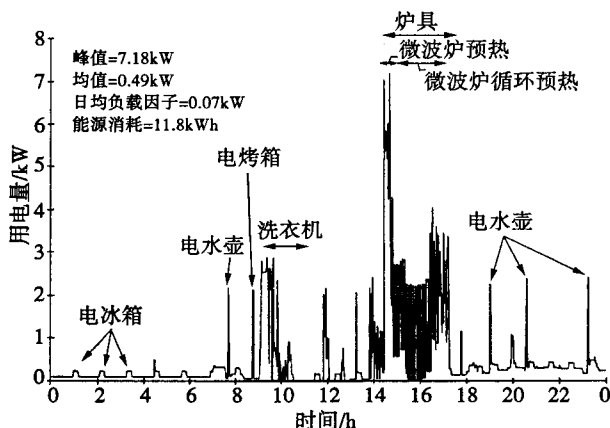


图2 设备负载信息

文献[27]介绍了一个由智能电表能够匿名安全地高频(每隔几分钟)传输电表数据的方法,数据通过一个第三方托管机构验证匿名计读数,从而用电数据信息和居民用户分离开来。此外,文献[28]

提出了一个用于电表细粒度读数一般计算的隐私保护协议,可以让被 hack 篡改的电表的使用严重受限。协议允许用户在他们自己的电表设备上执行并证明计算读表的准确性,同时也不会泄漏任何细粒度的用电数据。文献[29]针对目前已有的各种智能电表隐私保护解决方案进行分析,就方案实施的杂性,效率,稳健性和简单性等方面评判它们的优点和缺点。文献[30]通过数据分析可以得出某用户一天各个时段电器的使用情况,主要介绍智能电表的隐私问题,就五个方面阐述电表数据的用途以及面临的隐私威胁还有现存的法律政策等问题。文献[31]比较系统的讲解了智能电表所面临的一些隐私安全问题,并对可获取电表数据机构进行划分。

3 结束语

随着现代基于智能电网的智能能源管理系统的日益推进和发展,智能电表将会逐步普及到每个家庭用户当中。智能电表的好处是有目共睹的,通过对智能电表电力大数据的分析,能够帮助用户错峰用电,促进家庭用户调整用电模式,节省开支;能够帮助企业用户合理安排生产经营活动,降低生产成本。能够帮助电网公司以及政府部门,较为准确的预测未来电力负荷曲线,帮助节能减排,降低能效等。在智能电表数据带来巨大收益的同时,也应该清楚的注意到其中所面临的个人隐私等问题,这些都是要重点关注的问题,也希望在今后的发展当中,能有相应的政策机制来帮助保护大家的用电隐私。

参考文献:

- [1] Singh A K, Khatoon S, Muazzam M, et al. Load forecasting techniques and methodologies: A review [D]. Power, Control and Embedded Systems (ICPCES), 2012 2nd International Conference on. IEEE, 2012;1-10.
- [2] Asare-Bediako B, Kling W L, Ribeiro P F. Day-ahead residential load forecasting with artificial neural networks using smart meter data [C]. PowerTech (POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble. IEEE, 2013;1-6.
- [3] 焦润海, 苏辰隼, 林碧英, 等. 基于气象信息因素修正的灰色短期负荷预测模型[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 720-725.
- [4] 黎祚, 周步祥, 李君, 等. 考虑权重标度法的中长期负荷预测综合模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(5): 96-99.
- [5] Humeau S, Wijaya T K, Vasirani M, et al. Electricity load forecasting for residential customers: Exploiting aggregation and correlation between households [C]. Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT), 2013. IEEE, 2013;1-6.
- [6] Cetinkaya N. Long-term Electrical load forecasting based on economic and demographic data for Turkey [C]. Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2013 IEEE 14th International

Symposium on. IEEE,2013:219-223.

- [7] 葛少云,贾鸥莎,刘洪. 基于遗传灰色神经网络模型的实时电价条件下短期电力负荷预测[J]. 电网技术,2012,36(1):224-229.
- [8] 王伟能,王志强,杨帅. 智能电能表中窃电与防窃电技术分析[J]. 湖南电力,2013,32(5):30-31.
- [9] Depuru S S S R, Wang L, Devabhaktuni V. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft[J]. Energy Policy, 2011, 39(2):1007-1015.
- [10] McLaughlin S, Holbert B, Fawaz A, et al. A Multi-Sensor Energy Theft Detection Framework for Advanced Metering Infrastructures[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2013, 31(7):1319-1330.
- [11] Nagi J, Yap K S, Tiong S K, Ahmed, and Mohammad A M, Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines. Proc. IEEE Region 10 Conference TENCON, Hyderabad, India, Jan. 2009:1-6.
- [12] Cárdenas A A, Amin S, Schwartz G, et al. A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems[C]. Communication, Control, and Computing (Allerton), 2012 50th Annual Allerton Conference on. IEEE, 2012: 1830-1837.
- [13] Tang Y, Song H, Hu F, et al. Investigation on TOU pricing principles[C]. Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES. IEEE, 2005:1-9.
- [14] Zeng S, Li J, Ren Y. Research of time-of-use electricity pricing models in China: A survey[C]. Industrial Engineering and Engineering Management, 2008. IEEM 2008. IEEE International Conference on. IEEE, 2008:2191-2195.
- [15] 刘继东, 韩学山, 韩伟吉, 等. 分时电价下用户响应行为的模型与算法[J]. 电网技术, 2013, 37(10):2973-2978.
- [16] Schweppe F C, Tabors R D, Caraminis M C, et al. Spot pricing of electricity[M]. Kluwer Academic, 1988.
- [17] Samadi P, Mohsenian-rad A, Schober R, et al. Optimal real-time pricing algorithm based on utility maximization for smart grid[C]. 2010 first IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 2010, Gaithersburg, MD:415-420.
- [18] Mohsenian-rad A H, Leon-Garcia A. Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, 1(2):120-133.
- [19] Zhang Q, Wang X, Fu M. Optimal implementation strategies for critical peak pricing[C]. Energy Market, 2009. EEM 2009, 6th International Conference on the European. IEEE, 2009:1-6.
- [20] Herter K, McAuliffe P, Rosenfeld A. An exploratory analysis of California residential customer response to critical peak pricing of electricity[J]. Energy, 2007, 32(1):25-34.
- [21] 何永秀, 王冰, 熊威, 等. 基于模糊综合评价的居民智能用电行为分析与互动机制设计[J]. 电网技术, 2012, 36(10):247-252.
- [22] Krishnamurti T, Schwartz D, Davis A, et al. Preparing for smart grid technologies: A behavioral decision research approach to understanding consumer expectations about smart meters[J]. Energy Policy, 2012, 41:790-797.
- [23] 李静, 杨洪耕. 一种用于家用智能电表的负荷识别方法[J]. 现代电力, 2013(5):83-89.
- [24] 张素香, 刘建明, 赵丙镇, 等. 基于云计算的居民用电行为分析模型研究[J]. 电网技术, 2013, 37(6):1542-1546.
- [25] Karjalainen S. Consumer preferences for feedback on household electricity consumption[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(2):458-467.
- [26] Wood G, Newborough M. Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design[J]. Energy and Buildings, 2003, 35(8):821-841.
- [27] Efthymiou C, Kalogridis G. Smart grid privacy via anonymization of smart metering data[J]. Smart Grid Communications (Smart-GridComm), 2010 First IEEE International Conference on. IEEE, 2010:238-243.
- [28] Rial A, Danezis G. Privacy-preserving smart metering[C]. Proceedings of the 10th annual ACM workshop on Privacy in the electronic society. ACM, 2011:49-60.
- [29] Zeadally S, Pathan A S K, Alcaraz C, et al. Towards privacy protection in smart grid[Z]. Wireless personal communications, 2013, 73(1):23-50.
- [30] Quinn E L. Smart metering and privacy: Existing laws and competing policies[Z]. SSRN eLibrary, 2009.
- [31] Jawurek M, Freiling F C. Privacy threat analysis of smart metering[C]. Proceedings of the 41th Annual Conference of the Gesellschaft für Informatik eV (GI), GI - Edition. 2011:267.

责任编辑: 薛慧心

(上接第63页)

首先进入初始化,等待数据。若数据传输成功则向发送方作出应答,进行后续步骤;若数据传输失败则重新得到发送方数据。得到正确数据后,将其按指定格式显示。

4 结束语

本文设计了一种超声波测距的手机蓝牙小车,它具有如下优点:(1)适应性强:可适应各种常见工作环境,受环境变化影响小,测量精度稳定;(2)携带便捷:随取随用,可以极快地应用于新场地,使用灵活快捷;(3)检测范围广:小车由人控制在某区域内巡逻,能动态检测很大的范围。

参考文献:

- [1] 周瑛,杨盛国,黄凌云. 基于蓝牙技术遥控小车的设计与实现[J]. 福建师范大学福清分校学报, 2012(5):18-22.
- [2] 王保罗. Java 面向对象程序设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [3] 陈崇明,郝国法,钱龙. 基于 STC 单片机的雷达行车防撞测控仪设计[J]. 信息技术, 2010(10):139-142.
- [4] 刘升平,王剑,葛红. 超声波测距系统的开发与研究[J]. 计算机工程与应用, 2009(4):78-84.
- [5] 梁小流,陈炳森,梁建和. 基于 89S52 汽车防撞雷达系统设计[J]. 机电工程技术, 2011, 10(4):49-51.
- [6] 刘典文,等. 基于单片机 STC89C51 设计的超声波测距仪[J]. 中国新技术新产品, 2010(8):16-17.

责任编辑: 么丽苹