

基于非侵入式电力负荷监测系统的用电行为研究

傅伟栋,张继佳,顾 伟,蒋 翊,谢琪超

(国网浙江省电力有限公司 绍兴供电公司,绍兴 310000)

Research on electricity consumption behavior based on non-intrusive power load monitoring system

FU Weidong, ZHANG Jijia, GU Wei, JIANG Yi, XIE Qichao

(Shaoxing Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Shaoxing 310000, China)

摘要:非侵入式负荷监测系统由于所需硬件安装少,对负荷的分析较为精确,以及较好的经济性等特点成为未来负荷监测的发展趋势之一。主要介绍了非侵入式负荷监测主流分析方法和系统基本框架,总结其基本原理与主要使用的算法流程,对该非侵入式终端设备系统的各组成模块进行相关描述,设计出一套切实可行的非侵入式居民电力负荷监测终端系统。在非侵入采集的基础上,提出基于非侵入式采集数据的用电行为分析模型,为用户提供细致到单个家用电器的“千人千面”私人定制化用电优化方案,实现非侵入式终端负荷可视化以深入挖掘数据价值。

关键词:非侵入式负荷监测;终端系统;居民负荷

Abstract: Non-intrusive load monitoring (NILM) system has become one of the development trends of load monitoring in the future due to its less hardware installation, more accurate load analysis and better economy. The mainstream analysis method and system framework of non-intrusive load monitoring are introduced. Basic principle and algorithm flow are summarized. The components of the non-intrusive terminal equipment system are described. A practical non-intrusive residential power load monitoring terminal system is designed. On the basis of non-intrusive data acquisition, a power consumption behavior analysis model based on non-intrusive data acquisition is proposed, which provides users with a detailed “thousands of people, thousands of faces” customized power consumption optimization scheme for individual household appliances, and realizes the visualization of non-intrusive terminal load, so as to further explore the value of data.

Key words: non-intrusive load monitoring; terminal system; resident load

0 引言

目前采用的家用电能表只能读取用户用电总量,不能深入分析用户内部负荷成分,获取负荷信息相当有限。在智能电网飞速发展的时代,为满足电力用户多样化需求,完善用电信息采集系统和智能用电系统,必须突破这一瓶颈。在当前提出的各类监测系统中,非侵入式负荷监测系统由于所需硬件安装少,对负荷的分析较为精确,以及较好的经济性等特点越来越受到人们的关注,成为了未来负荷监测的发展趋势之一,各国都在就这一方向积极开展研究工作^[1]。

非侵入式负荷监测的应用价值和前景毋庸置疑,很多行业企业也在开展此技术的研发,但是非侵入式的软件更为复杂,同时对负荷辨识的算法也提出了更高的要求,一些关键技术仍然无法攻克。

1 非侵入式负荷监测的基本情况

1.1 非侵入式负荷监测系统简介

非侵入式负荷监测(non-intrusive load monitoring, NILM)系统,是指在电力入口处安装监测设备,通过监测该处的电压、电流等信号就可以分析得到负荷集群中单个负荷的种类和运行情况。

NILM系统在对负荷运行情况进行监测时,是利用不同负荷在开关状态变化时所引起的功率变化等信息来进行分类的。NILM系统可以根据这些信息来辨识或者估计出每个负荷的类型、运行情况及其相关参数等信息。根据系统分析的结果可以建立起更加符合实际的系统模型,以方便进行有关电网优化、负荷监控、电能管理等方面的研究。

1.2 侵入式与非侵入式负荷监测系统对比

目前的负荷监测系统大致可以分为侵入式和非侵入式2大类。

传统的侵入式负荷监测系统是将传感器安装至各个负荷处,以此实现对每个负荷运行情况的监控,通常由复杂的硬件和简单的软件组成。非侵入

式负荷监测(NILM)与传统的负荷监测方法恰恰相反,通常配置简单的硬件和复杂的分析软件。分析软件能够对采集数据进行复杂的数学分析,从而获得有用的信息。

NILM系统只需要在电力供给的入口处安装监测设备就可以对整个系统内部的负荷进行监测。相较于传统的侵入式负荷监测方法,NILM不需要大量的检测设备,同时节省了购买、安装和维护这些硬件设备所需要的费用及时间^[2]。

非侵入式负荷监测系统是未来负荷监测的一个重要发展方向,相较于传统的负荷测量方法,非侵入式负荷监测系统有如下优点:

- (1) 便于安装维护,因为NILM只需要在电力入口处安装表计即可;
- (2) 便于数据采集,因为NILM不需要侵入系统就可以方便地采集到系统内任一负荷的有用信息;
- (3) 便于数据分析,因为NILM可以在主站进行数据采集和分析。

当然,NILM还可以进行能源监测,故障监测,故障分析等多种类型的电能质量控制分析。

1.3 非侵入式负荷监测主流分析方法

非侵入式负荷监测分析方法大致可以分为2大类:一是基于负荷稳态特征的分析方法,二是基于负荷暂态特征的分析方法。

其中,稳态特征主要是指负荷的稳态基波、谐波功率等特征。暂态特征主要指那些负荷开启瞬间的电压、电流等信号的变化规律,如暂态波形及其结构等。

1.3.1 基于负荷稳态特征的分析方法

主要利用负荷的稳态特征,对监测系统的硬件水平要求较低,系统的采样频率和计算能力都较低。其基本原理是不同负荷在运行时都有其特征,例如负荷运行时的有功功率、无功功率及谐波功率等对于不同类型的负荷是不同的。被监测系统内单个负荷投入、切除时通常会使电力供给入口处系统总的有功功率、无功功率等信号发生相应的变化。根据电力供给入口处系统总的有功功率、无功功率、谐波功率等信号的变化,就可以判断系统内负荷投入或切除的变化,并可以根据功率的大小等信息判断出负荷的类型。

1.3.2 基于负荷暂态特征的分析方法

不同类型负荷在投切过程中其暂态特性是独一无二的。电阻性负荷通常在切换时没有暂态值,或者存在时间很短(低于50 Hz);以电动机来驱动的电泵等设备能产生长期暂态值;其他电动机驱动电器,如风扇、洗衣机、吸尘器等设备,它们启动时的

暂态值较小;电子类电器(电视机,录像机,计算机)的特点是有一个短但幅值较大的暂态启动值;荧光灯有着较长的二阶暂态值。运用这一概念可以通过检测负荷暂态特征值并以此得到每个负荷的运行模式。

除此之外,还有利用神经网络算法进行负荷辨识,根据测量的电力负荷谐波特性辨识负荷等分析方法。

1.4 非侵入式负荷监测系统基本框架

整个NILM系统分为数据测量、数据处理、事件检测、特征提取、负荷识别5大模块。NILM算法的主要逻辑流程如图1所示。

- (1) 数据测量目的在于获得总负荷的暂态和稳态信号。
- (2) 数据处理主要包括去噪、有功等电气量的计算和标幺化。标幺化主要目的是便于处理电能质量波动带来的干扰问题。
- (3) 事件检测根据处理后的数据,来发现用电设备运行状态的变化。事件检测根据一段时间内负荷印记的变化情况,来探测是否有新的事件发生。比如,设定两个时刻有功功率之差的阈值,如果变化大于阈值则有新的事件产生。
- (4) 特征提取即从事件发生前后的数据中提取出供负荷使用的一系列不同的负荷印记特征。为了能够识别与负荷印记相似的负荷,提取的特征应该合理有效。
- (5) 负荷识别则是利用提取到的特征与负荷库中的特征进行比对,识别出相应的用电设备。目前建立特征库的主流方法有2种:一是人工辅助下记录用电设备的负荷印记特征;二是通过算法自动分类^[3]。

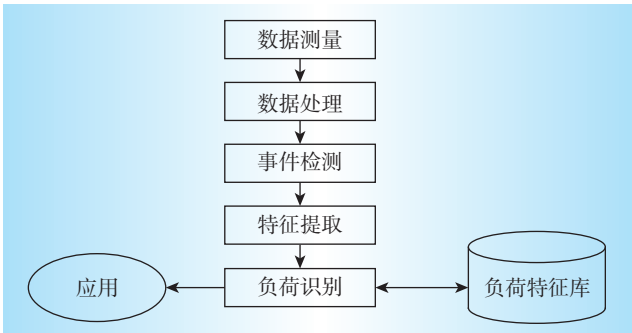


图1 NILM算法的主要逻辑流程
Fig. 1 Main logic flow of NILM algorithm

2 非侵入式电力负荷监测系统总体架构

本文基于非侵入式电力负荷监测技术,设计了

一套居民用电数据监测系统,总体采用4层体系架构,分别为设备层、量测层、网络层和主站层,如图2所示。

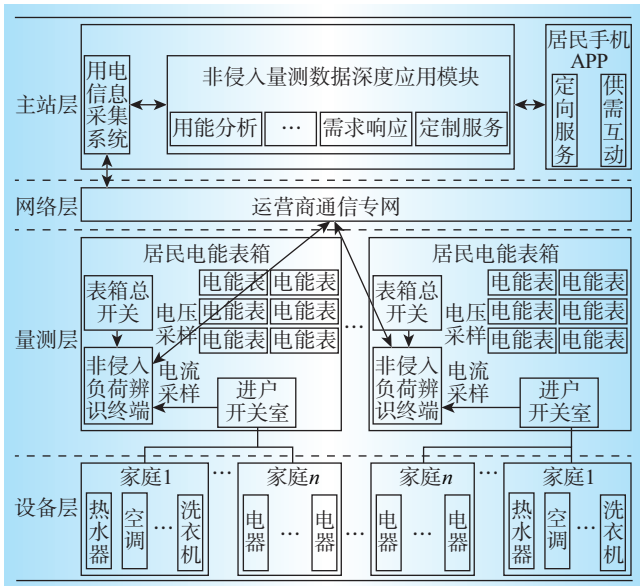


图2 基于非侵入量测终端采集系统架构

Fig. 2 Architecture of terminal acquisition system based on non-intrusive measurement

主站层:非侵入终端量测数据深度应用模块采集居民用电行为数据进行全方面深入分析数据挖掘,为后续居民用电合理化定向服务提供数据支持,用户通过APP或微信公众号接入系统。

网络层:依托移动、联通、电信主流运营商通信专网。

量测层:由非侵入量测终端和电能表组成,非侵入量测终端采集居民用电行为数据。

设备层:指居民用户的各种家用电器。

非侵入负荷监测系统具有智能化、小型化、低功耗、在线升级等技术特点,可以对居民用电行为数据采集,辨识常用居民电器负荷,提供有针对性的电能需求分析。

2.1 居民用电行为分析

用户的用电行为主要指用户的电器种类、电器容量以及相关影响因素下的用电行为,是后续对居民用电分析的技术依据。本文提出了一套基于非侵入式用电采集数据的用电行为分析模型,主体先是通过非侵入采集参数(电器类型、电器容量、分项电量、96时段电量、峰谷电量),继而利用居民的心理学、电费敏感度、互动活跃度等建立预估用电行为模型,最后提供具有“千人千面”私人定制化用电分析优化应用,为用户提供细致到单个家用电器的用电优化方案,具体模型如图3所示。

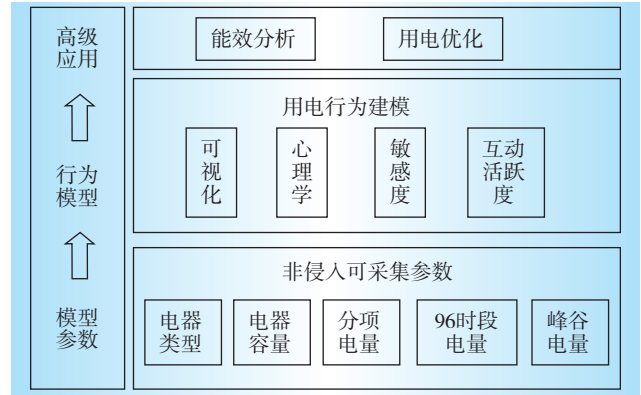


图3 基于非侵入式用电采集数据的用电行为分析模型

Fig. 3 Electricity behavior analysis model based on non-intrusive electricity acquisition data

2.2 非侵入式负荷监测系统算法原理

本文所涉及的非侵入式电力负荷量测系统采取以下2种算法。

2.2.1 基于谐波特征的负荷感知算法

各类电器运行过程中谐波特征不同,基于谐波特征的负荷感知算法模型的输入 y 为电流各次谐波归一化后的幅值和相位,选择2—11次谐波,考虑到电网偶次谐波较小,信噪比不够,采用3、5、7、9、11次奇次谐波。 H 为已知的不同设备电流的谐波特征量,其本质也是各次谐波归一化后的幅值和相位信息,输出 x 为各设备归一化后的电流含有量。该算法模型本质为一个欠定方程组,不存在唯一解,需通过最优化算法进行迭代求解,近似求解出 x ,进而得到各设备的电流消耗比例。当 x 中某个数据项 β 为0时,则说明当前某类设备未工作;当 x 中某个数据项 β 不为0时,说明该类设备处于运行状态,根据总电流及 β 值计算出电流大小。

2.2.2 基于电压-电流曲线的负荷感知算法

针对每种电器提取电压-电流曲线轨迹的形状特征即可形成该电气设备的负荷特征数据。由于电压-电流轨迹展现了不同电器负荷运行过程中瞬时电压与瞬时电流的相对变化规律,其形状特征能够在一定程度上放大不通电器负荷特性间的差异,有助于负荷感知算法更为有效的识别未知设备。

2.3 非侵入式系统负荷可视化

通过对非侵入式系统上传数据的分析、统计,以图形化最直观的方式呈现给居民用户,如图4所示。通过电量占比饼图给出各类电器耗电量占总用电量的比例,能耗重点一目了然,支持显示空调、电热水器、厨房电器、其它电热等。

2.4 大数据深化应用

大数据深化应用如图5所示,在非侵入户居民用户用电行为采集的基础上,以深入挖掘数据价

值,实现大规模居民用电行为在线分析和综合应用为总目标,实现电器成分分析、用电规律分析、负荷预估、用户分类等高级应用。从而为后续开拓具有针对性的增值新业务服务,实现对居民用户的精准定位,为相关部门进行能源减排、城区规划提供数据支撑。

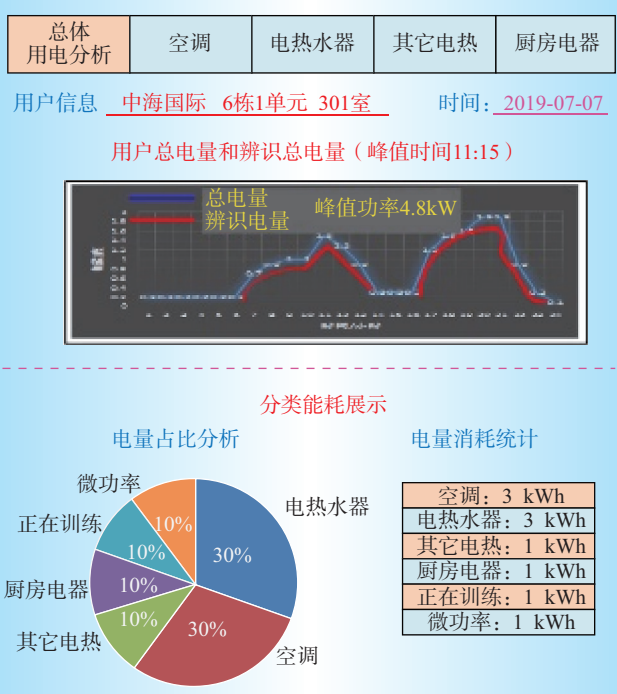


图4 总体用电示意图

Fig. 4 General electricity diagram

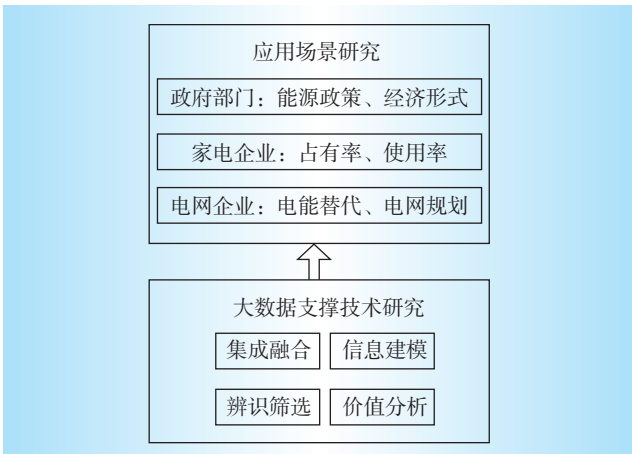


图5 大规模居民用电数据融合应用技术路线

Fig. 5 Technical route of large-scale residential electricity data fusion application

3 结束语

本文基于非侵入式负荷监测对电力发展节能减排的重要作用,首先对比了侵入式与非侵入式负荷监测系统,明确了非侵入式负荷监测对负荷的分

析较为精确,以及较好的经济性等特点成为未来负荷监测的发展趋势之一。

其次,分析了非侵入式负荷监测主流分析方法和非侵入式负荷监测系统基本框架,构思出来一种具体的非侵入式终端系统概念,对该非侵入式终端设备的各组成模块进行了相关描述,同时设计出一套切实可行的非侵入式居民电力负荷监测终端系统。

最后在非侵入采集的基础上,提出基于非侵入式采集数据的用电行为分析模型,为用户提供细致到单个家用电器的“千人千面”私人定制化用电优化方案,实现非侵入式终端负荷可视化以深入挖掘数据价值,从而为后续开拓具有针对性的增值新业务服务。

参考文献:

- [1] 汪四仙,毕忠勤.非侵入式电力负荷监测技术研究[J].上海电力学院学报,2017,33(4):357-361.
WANG Sixian, BI Zhongqin.Study on non-intrusive load monitoring technology[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2017, 33(4):357-361.
- [2] 李自文,魏平,李海非.非侵入式负荷分解方法综述[J].价值工程,2018,23(4):233-235.
LI Ziwen, WEI Ping, LI Hai. A summary of non-intrusive load monitoring methods[J]. Value Engineering, 2018, 23(4):233-235.
- [3] 刘世成,刘沅昆,武昕,等.基于大数据的非侵入式负荷分解[J].电力信息与通信技术,2016,14(12):9-14.
LIU Shicheng, LIU Yuankun, WU Xin, et al. Research on non-intrusive load decomposition technology based on big data[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2016, 14(12):9-14.

作者简介:

傅伟栋(1990),男,浙江绍兴人,学士,主要从事电力营销方面工作;

张继佳(1992),女,贵州遵义人,学士,主要从事电力营销方面工作;

顾伟(1986),男,江苏扬州人,学士,主要从事电力营销方面工作;

蒋翊(1991)男,浙江绍兴人,学士,主要从事配电运检方面工作;

谢琪超(1994),女,浙江绍兴人,学士,主要从事电力营销方面工作。

(责任编辑 李雅超 邵海雯)