

基于非侵入式负荷检测与分解的电力数据挖掘

王红梅

成都理工大学, 工程技术学院, 四川 乐山

Email: 1739731829@qq.com

收稿日期: 2021年3月19日; 录用日期: 2021年4月20日; 发布日期: 2021年4月27日

摘要

电力分项计量对优化电力系统管理、提高电力系统稳定性和可靠性、促进科学合理用电、提高电能利用效率、建设节约型社会和缓解电能压力等方面均有重要的现实意义。电力分项计量的一系列技术,是将电器识别作为物联网的一个重要研究方向,要想电器识别数据挖掘提取特征是一个不可或缺的环节,本文首先对给出的原始数据进行预处理,其次基于预处理后的数据提取出各用电设备的运行特征,然后对本文11种用电设备按照工作状态分类,在暂态环境下,分别提取用电设备的电流、电压、瞬时功率和电压噪声的特征;在稳态环境下,分别提取用电设备的有功、无功功率、电压、V-I轨迹等特征,对于建立用电设备的识别系统具有重要意义。

关键词

非侵入式, 负荷监测, 特征提取, 识别, 数据挖掘

Power Data Mining Based on Non-Intrusive Load Detection and Decomposition

Hongmei Wang

The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan Sichuan

Email: 1739731829@qq.com

Received: Mar. 19th, 2021; accepted: Apr. 20th, 2021; published: Apr. 27th, 2021

Abstract

Power sub metering has important practical significance in optimizing power system management, improving power system stability and reliability, promoting scientific and rational use of electricity, improving power utilization efficiency, building a conservation oriented society and relieving power pressure. A series of technologies of electric power sub metering takes electrical equipment identi-

文章引用: 王红梅. 基于非侵入式负荷检测与分解的电力数据挖掘[J]. 数据挖掘, 2021, 11(2): 100-111.

DOI: 10.12677/hjdm.2021.112010

fication as an important research direction of Internet of things. In order to identify electrical equipment, data mining and feature extraction is an indispensable link. Firstly, this paper preprocesses the original data, then extracts the operation characteristics of electrical equipment based on the preprocessed data, and then classifies 11 kinds of electrical equipment work according to their working conditions. In the transient environment, the features of current, voltage, instantaneous power and voltage noise are extracted respectively; in the steady-state environment, the features of active power, reactive power, voltage and V-I trajectory are extracted respectively, which is of great significance for the establishment of the identification system of electrical equipment.

Keywords

Non-Intrusive, Load Monitoring, Decomposition, Recognition, Data Mining

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

能源是人类赖以生存和社会发展的重要物质基础，人类文明的每一次重大进步都离不开能源应用技术的改进、创新和完善。能源技术的开发和利用极大地促进了世界经济和社会的发展。在当今的信息时代，能源的开发和能源的合理利用是全世界、全人类共同关心的问题，也是我国建立节约型和谐社会的重要问题。

在能源消费比重中，电能已成为我国社会生产和人类生活的重要能源消费形式。以2017年为例，全社会用电量延续平稳较快增长态势，全国全社会用电量6.3万亿千瓦时，人均用电量4538千瓦时，人均生活用电量625千瓦时。全社会用电量同比增长6.6%，增速同比提高1.6个百分点，用电量较快增长的主要原因：一是宏观经济运行稳中向好，第二产业用电平稳增长；二是服务业用电持续快速增长；三是电力消费新动能正在逐步形成，高技术制造业、战略性新兴产业等用电高速增长；四是在工业、交通、居民生活等领域推广的电能替代成效明显；五是夏季长时间极端高温天气拉动用电量快速增长。分季度看，各季度全社会用电量增速分别为6.9%、5.8%、7.8%、5.7%；其中，受夏季极端高温天气拉动，第三季度增速相对偏高。分地区看，东、中、西部和东北地区用电量增速分别为5.2%、7.3%、9.1%和4.6%；其中，西部地区受高耗能行业用电恢复性增长以及上年低基数因素影响，用电增速比上年提高5.6个百分点。2017年，华北区域电力供需平衡偏紧，华中区域电力供需基本平衡，华东和南方区域电力供需平衡有余，东北和西北区域电力供应能力富余较多[1]。

数据表明，电力是国民经济基础性产业，推动高质量发展作为根本要求。随着我国经济的发展和产业结构的优化升级，用电量还将继续增长。因此，加强电能的节约极其重要。面对用电量的快速增长，应坚持节约优先、开发与节约并重的原则、合理并有效的利用电力，避免电力浪费，做好新时代电力能源工作，更好地满足人民群众多层次多样化高质量用电需求。

区别于常规的连接在入户线上的电能表只能获得总能耗数据，电力分项计量可以对连接到入户线后的建筑物内各个用电设备所消耗的电能进行独立计量。分项计量技术目前主要分为两种：一种在总负荷内部为每个用电设备配备带有数字通信功能的传感器，通过通讯网络采集各用电设备的用电信息，这种方式称为侵入式电力负荷监测(intrusive residential load monitoring, ILM)；另一种仅在电网的用户入口处安装一个传感器，通过采集和分析用户用电总功率或总电流来监测每个或每类用电设备的用电功率和工作

状态,从而了解用户家中每个或每类用电设备的耗电情况和用电规律,这种方式称作非侵入式电力负荷监测与分解(non-intrusive load monitoring and decomposition) (non, NILMD)。NILMD 系统的目标是根据不同类型用电设备独特的负荷印记从一个能源网关设备记录的数据中检测出接入该设备的电路中各种用电设备的开关等操作,并对其用电量进行分项计量。

电力分项计量可以帮助电力公司准确预测电力负荷、科学制定电网调度方案、提高电力系统稳定性和可靠性有着重要意义;同时也可以帮助用户了解用电设备的使用情况、提高用户的节能意识、促进科学合理用电。另一方面,分项计量还可以针对能耗数据来实现设备老化、故障预警的功能,在我们的生产、生活中有非常实际的意义。电力负荷监测是开展节能工作的基础,它能帮助用电单位了解不同时段各种用电设备的用电情况,制定合理的节能方案,有针对性的选择用电设备,从而降低电力能源消耗,避免电力浪费。因此,加强电力能耗的监测与分解对提高社会电力利用率,实现电力能源的可持续发展,缓解电力能源压力和建设节约型社会具有重要的现实意义。相比 LIM 技术, NILMD 技术的用电分析计量具有简单、经济、可靠和易于迅速推广应用等优势,更加适用于商业用户、居民用户和工业用户。

非侵入式电力负荷监测与分解能将用电功率监测细化到总负荷内部每个类(主要)用电细节监测,可望为电力公司、电力用户和整个社会带来多方面效益;而且与侵入式电力负荷监测相比,非侵入式电力负荷监测具有易操作、低成本、高可靠、数据完整性好和易于迅速推广等优势,因此,非侵入式电力负荷监测与分解具有广阔的发展前景。非侵入式电力负荷监测与分解能够使得用电功率监测细化到总负荷内部,从而使电力用户在不影响正常的生产、生活的前提下,降低电能消耗,减少电费开支。由于 NILMD 具有显著的优势,所以将会成为新一代智能电表的核心技术,从而成为高级量测系统(AMI)的重要组成部分[2]-[7]。因此非侵入式电力负荷监测与分解对全社会和全人类节能减排和电力系统规划及运行都具有十分重要的现实意义。

2. 非侵入式负荷监测与分解模型

首先对各种用电设备,在进行特征提取的过程中第一步:将用电设备按照工作状态归类;第二步:对不同工作状态进行暂态和稳态的划分;第三步:对与暂态和稳态的负荷特征进行提取。具体的流程如图 1 所示。

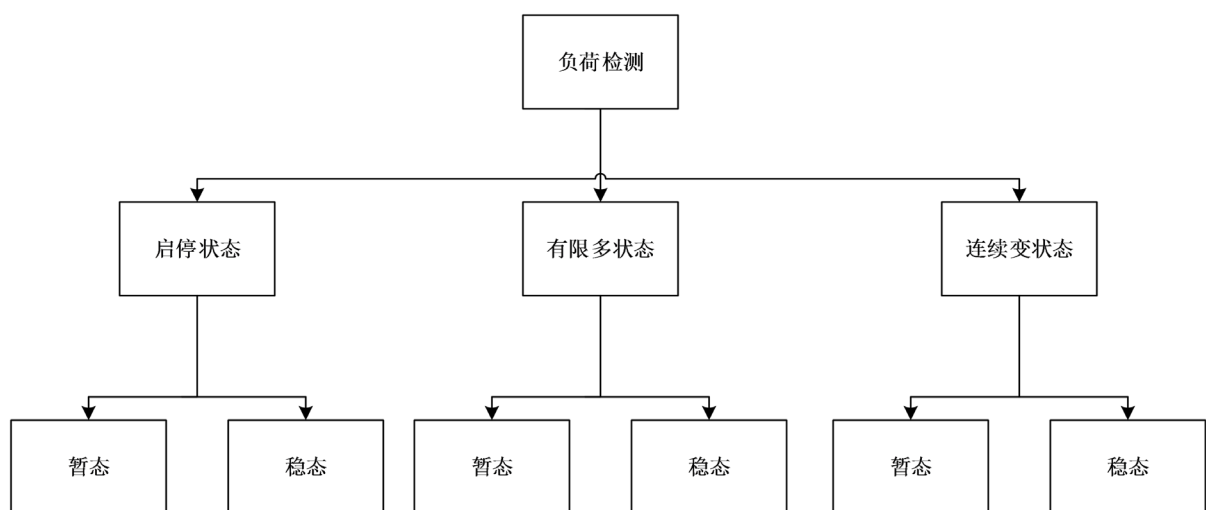


Figure 1. Feature extraction flow chart
图 1. 特征提取流程图

2.1. 用电设备状态的类型

用电设备根据用户用电设备工作状态的不同,可分为以下三种类型[4]:

1) 启/停二状态设备(ON/OFF)。这类用电设备只有运行和停机两种用电状态,如白炽灯、电热水壶等。

2) 有限多状态设备(FSM)。这类用电设备通常具有有限多个分立的工作状态,与之相对应的用电功率间是离散的,不同的功率水平即标志着不同的工作状态,如洗衣机、微波炉、电磁炉等。

3) 连续变状态设备(CVSM)。这类用电设备的稳态区段功率无恒定均值,而是在一个范围内连续变动,如变频空调、电动缝纫机等。

2.2. 负荷印记提取

不同种类和型号的用电设备在运行过程中产生的电流,电压以及谐波等时序数据中有相对稳定的特征,这些特征好比该用电设备的指纹一样,可以用来识别用电设备。根据问题 1 中所给的数据,本文将从稳态和暂态两个方面,对电流、电压、有功功率、无功功率、周波、谐波进行分析和特征提取。暂态负荷特征名称、提取方法以及优点见表 1;稳态负荷特征名称、提取方法以及优点见表 2。

Table 1. Common transient load characteristics and extraction methods

表 1. 常见暂态负荷特征及提取方法

特征名称	提取方法	优点
电流	峰值、均值、均方差等指标计算	指标计算速度快、简单
电压	快速傅里叶变换(FFT)	量测简单
瞬时功率	FFT、功率谱包络估计	鲁棒性强、设备区分性好
电压噪声	频谱分析	能区分相似用电设备

Table 2. Common steady-state load characteristics and extraction methods

表 2. 常见稳态负荷特征及提取方法

特征名称	提取方法	优点
有功、无功功率	差值计算	简单直观
有功、无功功率谐波	回归分析	可识别功率近似负荷
电压、电流轨迹	轨迹形状特征	区分性好
电压和电流波形	峰值、均值、均方差等指标计算	容易区分不同负荷类别
电流谐波	频谱分析	量测简单

3. 实例仿真求解

3.1. 问题描述

本文提供了 11 种用电设备的单一态数据,要求分析并给出各用电设备的运行特征,并估计各用电设备的实时用电量。

3.2. 问题求解

3.2.1. 数据预处理

由于不同种类和型号的用电设备在运行过程中产生的电压、电流以及谐波等时序数据中也有相对稳

定的较为显著的特征,称之为用电设备的负荷印记(LS)。据此可将LS分为稳态和暂态两类,其中稳态与暂态两类LS取决于设备内部的元器件特征;运行模式类LS则由设备的运行控制策略决定[8]。LS的各种特征具有重现性,故基于LS特征可识别负荷类型及其使用状况,此即NILMD的实现原理[9]。

在获取数据的数据量方面,由于其庞大的信息量,导致在收集数据的过程中一些数据不可避免的出现问题,给定的原始数字信号(电压、电流、周波、谐波和功率等)中存在一些缺失数据、异常值和噪声,如果不处理这些数据,那么对最终的结果会产生很大的影响。因此,需要在使用之前对他们进行一定的处理,首先对数据进行预处理,即对原始数字信号做预处理,包括抗缺失数据填充、波形去噪和异常值处理等预处理操作。通过对信号的缺失填充、降噪和异常值校正或剔除来保证负荷事件检测的可靠性和准确性。还需要通过电流相位校正保证相位信息准确等等,而采取数据预处理方法应该以能够准确可靠地获取所需的LS为准。

1) 缺失数据的处理

从原始数据表中可以看出,由于多种原因存在数据缺失,有多个数据连续缺失情况。对于多个连续数据缺失的情况,也相当于一个简单的预测过程,可以根据缺失时刻的前面若干个时刻的正常负荷值来预测缺失数据的数值。文中采用一种加权平均的方法对缺失数据进行补齐。可用下式进行加权处理[10]:

$$x(d,t) = x(d,t-1) + \frac{27(x(d,t-1) - x(d,t-2)) + 8(x(d,t-2) - x(d,t-3)) + (x(d,t-3) - x(d,t-4))}{36} \quad (1)$$

其中,

$x(d,t)$ 表示处理后的第 d 分钟第 t 秒的负荷值;

$x(d,t-1)$ 表示逆序向前的第一个正常的负荷值;

$x(d,t-2)$ 表示逆序向前的第二个正常的负荷值;

$x(d,t-3)$ 表示逆序向前的第三个正常的负荷值;

$x(d,t-4)$ 表示逆序向前的第四个正常的负荷值。

通过这种简单的预测方法,对缺失数据进行处理,可以使负荷序列趋于平稳,使负荷序列数据保持完整。

2) 异常数据的处理

从原始数据表中很明显可以看到存在一些异常数据,根据电力负荷的特性,前后时刻的负荷数据不会发生突变(即负荷黏性原理),也就是说相邻两个时刻的电力负荷值变化不是很大。所以我们可以设置一个阈值(阈值的设定通过散点图可视化来确定),作为相邻两点负荷的最大变化范围,当相邻两点负荷差值的绝对值超过设置的阈值时,就认为是异常数据。即当

$$|x(d,t) - x(d,t-1)| > \alpha_i \quad (i=1,2,\dots,11) \quad (2)$$

$$|x(d,t) - x(d,t+1)| > \alpha_i \quad (i=1,2,\dots,11) \quad (3)$$

时, $x(d,t)$ 当作异常数据,判断出异常数据后,再根据5.1中的缺失数据的处理方法进行处理。

其中, $\alpha_i (i=1,2,\dots,11)$ 指的是分别在11种不同用电设备工作状态下设定的相应阈值。

3.2.2. 用电设备状态分类

用户用电设备的工作状态可以分为启停状态、有限多状态和连续变状态。根据这三种状态的工作特征,将11种用电设备进行划分,具体的分类情况如表3所示:

从表3中可以看出有4种用电设备处于启停状态,有6种用电设备是有限多状态,有1种用电设备是连续变状态。

Table 3. Working status of 11 kinds of electrical equipment
表 3. 11 种用电设备的工作状态

状态	设备类型
启停状态	九阳热水壶(YD3); 白炽灯(YD5); 节能灯(YD6); 创维电视机(YD11)
有限多状态	奥克斯风扇(YD1); 美的微波炉(YD2); ThinkPad 笔记本电脑(YD4); FUJI 激光打印机(YD7); 饮水机(YD8); 奔腾电吹风(YD10)
连续变状态	挂式空调(YD9)

3.2.3. 负荷印记提取

对附件 1 中设备数据、周波数据、谐波数据进行预处理后。分别从暂态和稳态两个角度来分析电流、电压和有功功率。本文从以下 2 个方面提取用电设备运行特征：

1) 从设备数据中提取电流、电压、有功功率和无功率的峰值、均值和均方根；2) 从设备数据中提取各用电设备的 V-I 轨迹特征。

1) 提取数字特征

本文从用电设备数据中提出了各类用电设备在暂态和稳态下的不同工作状态的电流、电压、有功功率和无功率的峰值、均值和均方根，具体结果见表 4~6。同时也提取了各用电设备电流、电压、有功功率和无功率的最大值和最小值，具体结果见表 7~10。

Table 4. Feature extraction of YD1
表 4. YD1 的特征提取

	IC	UC	PC	QC	
暂态	一档峰值	0.153	222.70	31.1	13.9
	一档均值	0.142	222.63	27.05	12.65
	一档均方根	0.143	222.63	27.79	12.81
	二档的峰值	0.17	223.00	34.50	14.90
	二档的均值	0.16	222.50	32.78	13.52
	二档的均方根	0.16	222.50	32.85	13.53
	关闭峰值	0.18	222.80	38.00	8.10
	关闭均值	0.06	222.70	12.90	2.70
	关闭均方根	0.10	222.70	21.94	4.68
稳态	关闭的峰值	222.90	38.11	8.09	0.10
	关闭均值	0.01	222.47	0.29	0.00
	关闭均方根	0.01	222.47	0.30	0.01
	一档峰值	0.15	223.10	29.90	15.00
	一档均值	0.14	222.45	28.46	14.73
	一档均方根	0.14	222.45	28.46	14.73
	二档峰值	0.18	223.50	38.30	8.20
	二档均值	0.17	222.90	38.11	8.09
	三档峰值	0.18	223.55	38.41	8.1
	三档均方根	0.175	223.35	38.32	8.1
	三档均方根	0.175	223.32	38.31	8.1

Table 5. Feature extraction of YD2
表 5. YD2 的特征提取

	IC	UC	PC	QC
低火启动状态峰值	5.98	224.40	1145.50	821.90
低火启动状态均值	1.83	223.10	304.27	130.35
低火启动状态均方根	3.06	223.10	547.97	245.39
中低火状态峰值	5.90	224.40	1137.10	818.70
中低火状态均值	2.31	222.61	393.96	143.55
中低火状态均方根	3.47	222.61	628.27	245.51
中火状态峰值	5.82	224.40	1127.90	818.20
中火状态均值	3.45	221.95	614.25	187.48
中火状态均方根	4.33	221.95	805.97	269.23
关闭状态的峰值	0.01	224.40	0.30	0.10
关闭状态的均值	0.01	223.83	0.28	0.01
关闭状态的均方根	0.01	223.83	0.29	0.04
中高火状态峰值	5.70	224.00	1109.50	812.80
中高火状态均值	4.17	221.41	757.26	206.18
中高火状态均方根	4.79	221.41	898.22	279.21
高火状态峰值	5.61	224.20	1096.90	818.50
高火状态均值	5.03	221.30	979.84	190.19
高火状态均方根	4.74	221.39	907.37	237.93

Table 6. Feature extraction of YD3
表 6. YD3 的特征提取

		IC	UC	PC	QC
暂态	启动峰值	7.92	221.90	1726.80	6.50
	启动均值	6.62	218.88	1344.38	3.00
	启动均方根	6.99	218.88	1496.46	3.62
	关闭峰值	7.28	222.60	1482.90	3.80
	关闭均值	1.05	221.94	212.10	0.54
	关闭均方根	2.75	221.95	560.48	1.44
稳态	关闭峰值	0.01	222.60	0.40	0.10
	关闭均值	0.01	222.35	0.30	0.00
	关闭均方根	0.01	222.35	0.30	0.02
	启动峰值	7.90	218.40	1721.60	2.20
	启动均值	7.81	218.12	1703.74	2.03
	启动均方根	7.81	218.12	1703.75	2.03

Table 7. YD1's IC, UC, PC and QC maximum values
表 7. YD1 的 IC、UC、PC 和 QC 的最值

	IC	UC	PC	QC
最大值	0.176	223.5	38.3	15
最小值	0.009	221.2	0.2	0

Table 8. YD2's IC, UC, PC and QC maximum values
表 8. YD2 的 IC、UC、PC 和 QC 的最值

	IC	UC	PC	QC
最大值	5.976	224.7	1145.5	821.9
最小值	0.009	219.8	0.2	0

Table 9. YD3's IC, UC, PC and QC maximum values
表 9. YD3 的 IC、UC、PC 和 QC 的最值

	IC	UC	PC	QC
最大值	7.92	222.60	1726.80	6.50
最小值	0.01	217.80	0.20	0.00

Table 10. The highest value of IC, UC, PC and QC of YD4
表 10. YD4 的 IC、UC、PC 和 QC 的最值

	IC	UC	PC	QC
最大值	0.362	221.7	38.9	7.9
最小值	0.032	218.9	0.8	6.2

从表中可以清楚的知道各类用电设备在不同工作状态下电流、电压、有功功率和无功功率的均值，均方根。从表中可以看出电流、电压、有功功率和无工功率的变化范围。不同的用电设备的最大值和最小值是不一样的，同一种用电设备在不同工作状态下的峰值、均值和均方根也是不一样的，所以上特征可以作为负荷印记之一。

2) 用电设备的 V-I 轨迹特征

本文从周波数据中提取了各用电设备的 V-I 轨迹特征,该特征是各类用电设备的一个重要特征之一。本文量化了 4 个电压 - 电流轨迹特征,描述了轨迹形状和负荷特征,分别为: 1) 电流跨度; 2) 区域(面积); 3) 区域循环方向; 4) 瞬时导纳的变化。具体量化过程如下[11]:

(1) 电流跨度

电流跨度与用电设备的有功功率大小有关, 电流跨度记为 itc :

$$itc = \max(I') - \min(I') \quad (4)$$

其中, I' 是设备的电流波形。

为了避免当前的和电压对轨迹特征的影响, 在计算 itc 后, 根据下式对电压 - 电流轨迹归一化计算其余特征, 增加对轨迹的识别。

$$V_g = V'_g / \max(V') \quad g \in (1, 2, \dots, NT) \quad (5)$$

$$I_g = I'_g / \max(I') \quad g \in (1, 2, \dots, NT) \quad (6)$$

其中, V' 和 I' 分别是原始电压和电流波形, V 和 I 分别是归一化后的电压和电流波形, NT 指的是数据点的数量。

经过归一化后, 根据电压的最大点和最小点, 将轨迹分为两部分, 分别命名为 A 和 B , 使得 $v \max(V \max, I \max)$ 和 $v \min(V \min, I \min)$, 由于相移过程, $v \min$ 是轨迹的第一个点。

$$A = \{(V_q, I_q) | q \in 1, 2, \dots, v \min\} \quad (7)$$

$$B = \{(V_q, I_q) | q \in v \min + 1, \dots, NT\} \quad (8)$$

(2) 区域(面积)

区域特征表示由轨迹包围的区域, 它与当前设备的电压之间的相位差异有重要的关系, 区域(面积)被记为 ar 。

$$ar = \sum_i \Delta ar_i = \sum_i \frac{1}{2} |V_j - V_i| (|I_{i'} - I_i| + |I_{j'} - I_j|) \quad i \in [1, \dots, v \min - 1] \quad (9)$$

其中, i' 和 j' 分别表示 B 部分中电压为最近的两个连续点 i 和 j 。它们的计算过程如下所示:

$$\arg \min_{i'} |V_{i'} - V_i| \quad i' \in (v \min + 1, \dots, NT) \quad (10)$$

$$\arg \min_{j'} |V_{j'} - V_j| \quad j' \in (v \min + 1, \dots, NT) \quad (11)$$

(3) 区域循环方向

区域循环方向记为 lpa , 如果 lpa 是正的, 那么表明环的方向是顺时针方向, 则该装置的电流相位引导电压相位。相反, 如果 lpa 是负的, 那么表明环的方向是逆时针方向, 则电流相位滞后于电压相位。

$$lpa = \sum_u \Delta lpa_u = \sum_u \frac{1}{2} (V_{u+1} - V_u)(I_{u+1} - I_u) \quad u \in [1, \dots, NT - 1] \quad (12)$$

lpa 表示轨迹积分量, 然而 ar 表示轨迹面积。

(4) 瞬时导纳的变化

这个特征按标准瞬时导纳变化对电阻性和非电阻性设备进行标记, 因为准入电阻设备的值几乎是常数, 电阻设备的特征值将远远小于无阻设备的。

$$s_i = \frac{I_i}{V_i} \quad (13)$$

$$D = std(s) \quad i \in (1, 2, \dots, NT) \cap |V_i| > vl \quad (14)$$

其中 s_i 是 i 点的瞬时导纳, 是将零点附近的点排除在外的电压阈值电压。

通过上述方法分别求出 11 种用电设备的 itc 、 ar 、 lpa 和 std 值, 见表 11。

Table 11. The values of itc , ar , lpa and std of 11 kinds of electrical equipment

表 11. 11 种用电设备的 itc 、 ar 、 lpa 和 std 值

	itc	ar	lpa	std
YD1	2052541	4279.977	1.92794E+11	0.571714
YD2	1830463	217326.3	-45175143698	0.630317
YD3	1774905	739283	1.69646E+11	0.417641

Continued

YD4	1713671	790155.8	-18436868355	0.913427
YD5	2436264	4407166	2.89251E+12	0.725539
YD6	2470176	1785143	-2.24663E+11	0.542875
YD7	2794459	622575.9	-2.36727E+12	1.70684
YD8	1410816	347254	-1.65082E+11	0.415829
YD9	3228615	6825844	-2.2618E+12	4.715121
YD10	2485459	3479024	-3.73664E+11	1.446873
YD11	2893889	2583346	1.73844E+11	1.058772

下面给出附件 1 中的 11 种用电设备的电压 - 电流轨迹图，部分见图 2~5。

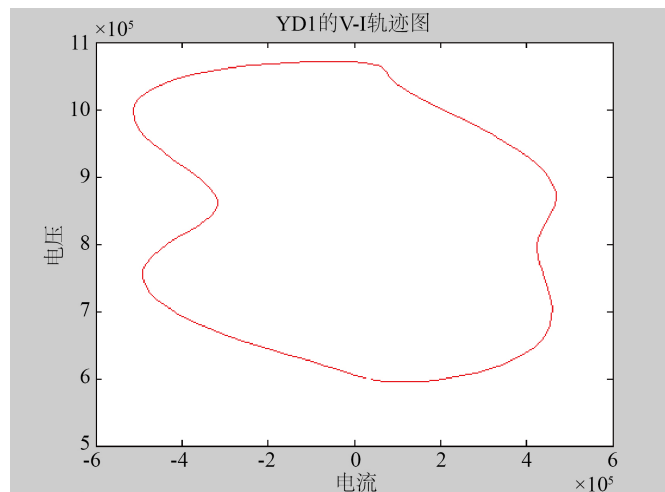


Figure 2. The voltage-current trace of YD1

图 2. YD1 的电压-电流轨迹图

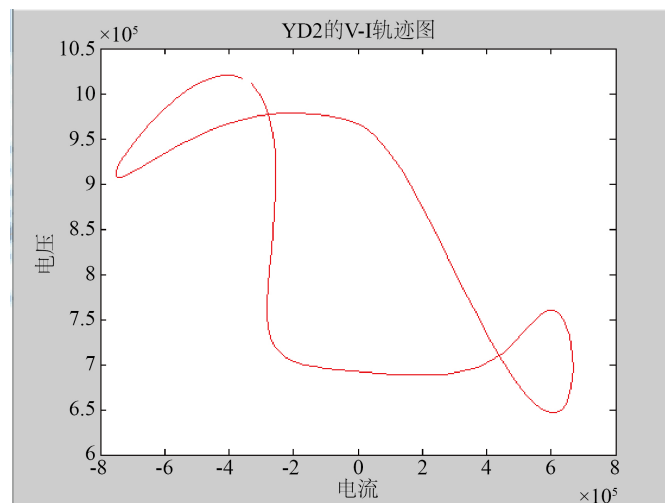


Figure 3. The voltage-current trace of YD2

图 3. YD2 的电压-电流轨迹图

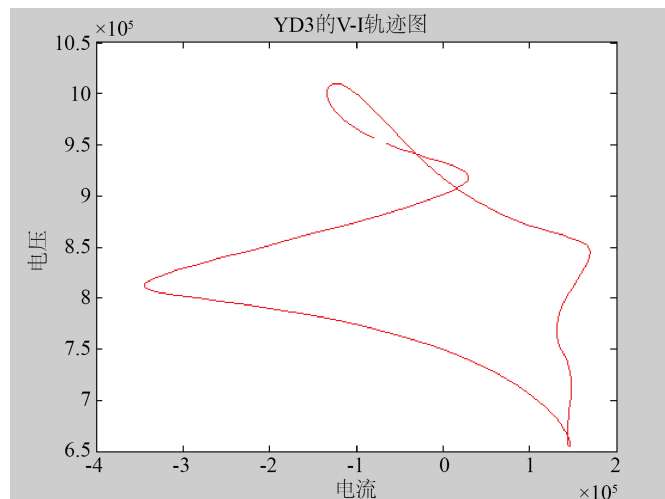


Figure 4. The voltage-current trace of YD3

图 4. YD3 的电压-电流轨迹图

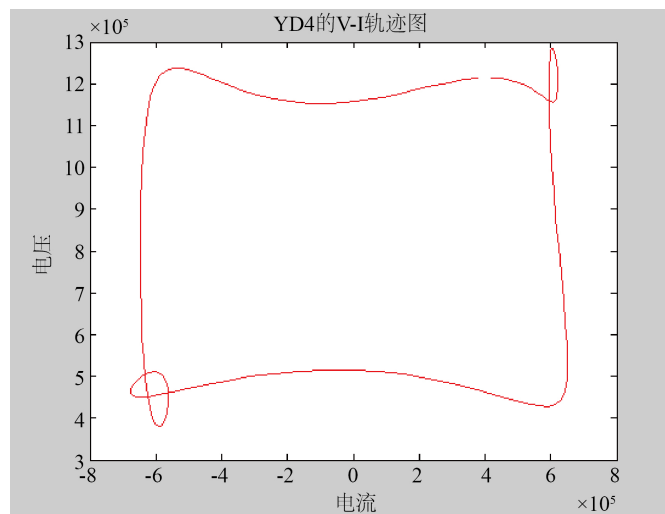


Figure 5. YD4's voltage-current trajectory diagram

图 5. YD4 的电压-电流轨迹图

不同的用电设备的电压和电流轨迹图是不一样的，所以以上特征可以作为负荷印记之一。

4. 结论

随着我国经济的发展和产业结构的优化升级，用电量还将继续增长。因此，面对用电量的快速增长，加强电能的节约极其重要。基于非侵入式负荷检测与分解的电力数据研究是一个庞大而且具有重要意义的系统工程，必须针对用电设备的运行特征进行分析，才能实现最佳科学用电效果。

由于用电设备的数据庞大而且杂乱，所以必须对数据进行预处理，基于预处理后的数据，本文从暂态和稳态两个方面对各用电设备提取运行特征，采用了快速傅里叶变换、频域分析、最优化等数学方法，提取了电流、电压、功率峰值、均值和均方根，提取了 V-I 轨迹特征，得到了有价值的挖掘结果，能够自动识别各用电设备，并确定出各用电设备的状态、操作和操作时间，最后估计出了各用电设备的实时用电量。

电力分项计能够解决传统电力计量的缺点，为电力公司、电力用户和整个社会带来多方面效益，同时对优化电力系统管理、提高电力系统稳定性和可靠性、促进科学合理用电、提高电能利用效率、建设节约型社会和缓解电能压力等方面均有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 2017-2018 年度全国电力供需形势分析预测报告[J]. 电气牵引, 2018(1): 41-44.
- [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, 3(2): 1-5.
- [3] 栾文鹏. 高级量测体系[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2): 6-10.
- [4] Hart, G.W. (1992) Nonintrusive Appliance Load Monitoring. *Proceedings of IEEE*, **80**, 1870-1891. <https://doi.org/10.1109/5.192069>
- [5] Pihala, H. (1998) Non-Intrusive Appliance Load Monitoring System Based on a Modern kWh-meter. ESPOO: Technical Research Center of Finland.
- [6] 黎鹏. 非侵入式电力负荷分解与监测[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2009: 1-88.
- [7] 黎鹏, 余贻鑫. 非侵入式电力负荷在线分解[J]. 天津大学学报, 2009, 42(4): 303-308.
- [8] Lee, W.K., Fung, G., *et al.* (2004) Exploration on Load Signatures. *International Conference on Electrical Engineering*, Higher Education Forum, Japan, 690-694.
- [9] Leeb, S.B., Shaw, S.R. and Kirtley Jr., J.L. (1995) Transient Event Detection in Spectral Envelope Estimates for non-intrusive Load Monitoring. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **10**, 1200-1210. <https://doi.org/10.1109/61.400897>
- [10] 龙立波. 基于负荷特性分析的短期负荷预测的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2007: 5-7.
- [11] Wang, L.J. and Chen, X.M. (2018) Non-Intrusive Load Monitoring Algorithm Based on Features of V-I Trajectory. *Electric Power Systems Research*, **157**, 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.12.012>